



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Elaboración del programa DZAIS 1.0 para el diseño de
zapatas aisladas rectangulares sometidas a flexión uniaxial
y biaxial**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Andres Miranda Chumacero
Jhunion Fabriciano Huertas Chumacero**

**Asesor(es):
Mgtr. Ing. Arturo Iván Martínez Ramírez**

Piura, noviembre de 2022

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS - MIRANDA & HUERTAS.docx

RECuento DE PALABRAS

39145 Words

RECuento DE CARACTERES

165091 Characters

RECuento DE PÁGINAS

212 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.1MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 24, 2022 4:22 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 24, 2022 4:26 PM GMT-5

● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref



Tesista Andres Miranda Chumacero

DNI 74450808


Email: andresmirandachuma@gmail.com



Tesista Jhunion Fabriciano Huertas C.

DNI 73510915

Email: jhunion.huertas@alum.udep.edu.pe



Mgtr. Arturo Iván Martínez Ramírez

Asesor

Dedicatoria

Hubiera yo desmayado, si no creyese que veré la bondad de Jehová. Salmo 27:13

Dedico esta tesis a Jehová mi Dios.

A mis padres Andrés y Celia.

A mis abuelos Cesar y Julia, Andrés y Elena.

A mis queridos Judit, Joyce y Yaneisy.

Andres Miranda Chumacero

Por su amor sincero:

A Kelly y Laysha, mis amigas canina y felina.

A Florinda y Eduardo, mis padres.

Jhuniór Fabriciano Huertas Chumacero





Agradecimientos

A Dios Padre, por su gracia y perdón, y darnos la iluminación para poder profundizar en su multiforme sabiduría.

A Jesucristo, el Rey del cielo y la tierra, que en su soberana voluntad podemos disfrutar del bien y de su creación.

A nuestros padres y abuelos, que, con amor, esfuerzo y sacrificio nos han instruidos por buen camino.

A nuestros hermanos y familiares, por alentarnos continuamente a alcanzar nuestros objetivos.

A Nuestra alma mater, la universidad de Piura, por su instrucción académica y moral, para poder desarrollarnos profesionalmente dentro del mundo de la ingeniería civil.

A nuestros maestros que con paciencia nos han instruido con sus conocimientos y experiencias.

A nuestro asesor, el Mgtr. Ing. Arturo Iván Martínez que con paciencia y dedicación nos acompañó en este propósito.



Resumen

El objetivo de la presente tesis es el desarrollo de un programa para el diseño de zapatas aisladas rectangulares sometidas a flexión uniaxial y biaxial, utilizando el lenguaje de programación de Visual Basic 6.0, de acuerdo con la NTE 060 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El desarrollo de la presente tesis ha sido a través de la recopilación de información de diversos autores, tales como Meyerhof, F. Irles y R. Irles, Calavera, etc., con la finalidad de generar una base conceptual y metodológica para el desarrollo de fórmulas para el diseño de zapatas aisladas rectangulares, que evalúan el cálculo de la capacidad portante por corte y asentamiento, las verificaciones de las presiones, las verificaciones por aplastamiento y corte y el diseño de acero por flexión.

Luego, se han desarrollado los códigos de programación en Visual Basic 6.0 y un marco intuitivo para la utilización del programa, al cual se le ha llamado DZAIS 1.0. Asimismo, se han desarrollado hojas de Excel que permiten la observación de los resultados, permitiendo corroborar la precisión de los resultados.

Para finalizar, se han comparado los resultados obtenidos del programa DZAIS 1.0 con los programas Geo5 y SAFE, constatando de esta manera, la similitud de los resultados y comprobando la confiabilidad de este software para el diseño de zapatas aisladas.



Tabla de contenido

Introducción	19
Justificación	21
Objetivos	23
Objetivos generales	23
Objetivos específicos	23
Capítulo 1	25
Marco teórico	25
1.1 Antecedentes.....	25
1.2 Bases teóricas	27
1.2.1 Generalidades de las cimentaciones.....	27
1.2.2 Tipo de zapatas aisladas.....	27
1.2.3 Distribución de presiones.....	30
1.2.4 Forma de la columna	31
1.2.5 Modos de falla del suelo de una cimentación.....	31
1.2.6 Capacidad portante del suelo	32
1.2.7 Formas de analizar una zapata.....	41
1.2.8 Materiales que conforman una zapata aislada	49
1.2.9 Elementos de cálculo para el diseño de zapatas	50
Capítulo 2	59
Metodología	59
Capítulo 3	61
Consideraciones para el desarrollo del software.....	61

3.1 Variables de entrada.....	61
3.1.1 Seleccionar el tipo de zapata	61
3.1.2 Ingresar solicitudes de carga.....	61
3.1.3 Ingresar datos de la zapata	62
3.1.4 Ingresar datos de la columna.....	63
3.1.5 Ingresar datos del suelo.....	64
3.1.6 Ingresar otros datos.....	65
3.2 Procedimiento para condiciones en servicio.....	65
3.2.1 Cálculo del peralte efectivo de la zapata	65
3.2.2 Cálculo del centro geométrico de la columna.....	66
3.2.3 Cálculo del desfase del centro geométrico de la columna	67
3.2.4 Cálculo de los voladizos de zapata.....	68
3.2.5 Cálculo de las cargas en servicio.....	69
3.2.6 Cálculo de las excentricidades en servicio	69
3.2.7 Cálculo de la capacidad portante admisible	70
3.2.8 Cálculo de la capacidad portante última por el método de Meyerhof.....	71
3.2.9 Cálculo de la capacidad portante admisible por corte	72
3.2.10 Cálculo de la capacidad portante por asentamiento.....	72
3.2.11 Cálculo del asentamiento.....	73
3.2.12 Cálculo de la capacidad portante neta	74
3.2.13 Cálculo de las presiones en servicio	74
3.3 Procedimiento para condiciones últimas de diseño	81
3.3.1 Cálculo de las cargas últimas	81
3.3.2 Cálculo de las presiones últimas	81
3.3.3 Cálculos para verificación del punzonamiento	81
3.3.4 Cálculos para verificación de resistencia al aplastamiento	82
3.3.5 Cálculos para verificación de resistencia al corte	83
3.3.6 Cálculos para el diseño por flexión	84
Capítulo 4	89
Validación del software.....	89

4.1 Algunas consideraciones de los programas utilizados	89
4.1.1 Consideraciones del programa Geo5	89
4.1.2 Consideraciones del programa SAFE.....	91
4.2 Ejemplo 1: Zapata concéntrica con columna rectangular, análisis biaxial	93
4.2.1 Datos de entrada.	93
4.2.2 Diseño con el software Geo5	94
4.2.3 Diseño con el software SAFE	96
4.2.4 Diseño con el software DZAIS 1.0.....	100
4.2.5 Comparaciones y verificaciones	102
4.2.6 Discusión de resultados.....	102
4.3 Ejemplo 2: Zapata excéntrica con columna rectangular, análisis biaxial	103
4.3.1 Datos de entrada	103
4.3.2 Diseño con el software Geo 5.....	104
4.3.3 Diseño con el software SAFE	106
4.3.4 Diseño con el software DZAIS 1.0.....	110
4.3.5 Comparaciones y verificaciones	112
4.3.6 Discusión de resultados.....	112
4.4 Ejemplo 3: Zapata medianera con columna T, análisis biaxial	113
4.4.1 Datos de entrada	113
4.4.2 Diseño con el software Geo5	114
4.4.3 Diseño con el software SAFE	116
4.4.4 Diseño con el software DZAIS 1.0.....	120
4.4.5 Comparaciones y verificaciones	122
4.4.6 Discusión de resultados.....	122
4.5 Ejemplo 4: Zapata medianera con columna rectangular y viga aérea, análisis uniaxial.....	123
4.5.1 Datos de entrada	123
4.5.2 Diseño con el software Geo5	124
4.5.3 Diseño con el software DZAIS 1.0.....	126
4.5.4 Comparaciones y verificaciones	128

4.5.5 Discusión de resultados.....	128
Conclusiones.....	129
Recomendaciones	131
Referencias bibliográficas	133
Apéndices	135
Apéndice A.....	136
Nomenclaturas	136
Apéndice B.....	143
Formulario	143
<i>Procedimiento para condiciones en servicio.....</i>	<i>143</i>
<i>Fórmulas para el cálculo de las excentricidades en servicio.....</i>	<i>145</i>
<i>Procedimiento para condiciones últimas.....</i>	<i>146</i>
<i>Fórmulas para el cálculo de excentricidades totales últimas</i>	<i>148</i>
<i>Fórmulas para el cálculo y verificación del punzonamiento.....</i>	<i>149</i>
Apéndice C.....	152
Diagramas de flujo del software.....	152
Apéndice D.....	157
Manual del usuario	157
Apéndice E	163
Códigos del software	163
Apéndice F	196
Verificación del software con hojas de cálculo	196

Lista de figuras

Figura 1.	Zapata aislada concéntrica. (a) vista en perfil, (b) vista en planta	28
Figura 2.	Zapata aislada excéntrica. (a) vista en perfil, (b) vista en planta	28
Figura 3.	Zapata aislada medianera. (a) vista en perfil, (b) vista en planta.....	29
Figura 4.	Zapata aislada esquinera. (a) vista en perfil, (b) vista en planta	29
Figura 5.	Distribución de presiones en zapatas	30
Figura 6.	Tipos de columna por su forma	31
Figura 7.	Naturaleza de la falla de carga en suelo a) falla por corte general, b) falla corte local, c) falla por punzonamiento	31
Figura 8.	Análisis de una cimentación con excentricidad biaxial, (a) vista de perfil de la zapata, (b) vista en planta de una zapata sometida a flexión uniaxial, (c) vista en planta de una zapata sometida a flexión biaxial, (d) excentricidades en ambas direcciones	33
Figura 9.	Áreas efectivas por influencia de la excentricidad: (a) para análisis uniaxial, (b) para análisis biaxial.....	34
Figura 10.	Influencia del nivel freático.....	35
Figura 11.	Procedimiento de Mayne y Poulos para el cálculo de asentamiento.....	36
Figura 12.	Variación del factor I_g en función de β y H/Be	38
Figura 13.	Bulbo de presiones vs variación del esfuerzo con la profundidad	40
Figura 14.	Zapata sometida a flexión uniaxial.....	41
Figura 15.	Distribución de presiones debido a flexión uniaxial	42
Figura 16.	Redistribución de presiones en flexión uniaxial.....	43
Figura 17.	Zapata sometida a flexión biaxial.....	43
Figura 18.	Zonas de análisis de excentricidades de F. Irles y R. Irles	44

Figura 19.	Zona CN de F. Irles y R. Irles	45
Figura 20.	Zona S-R-T de F. Irles y R. Irles	45
Figura 21.	Zona S-R de F. Irles y R. Irles.....	46
Figura 22.	Zona R-T de F. Irles y R. Irles.....	46
Figura 23.	Zona R de F. Irles y R. Irles.....	47
Figura 24.	Distribución uniforme de presiones y reacción mediante viga aérea, (a) vista de perfil, (b) vista en planta.....	48
Figura 25.	(a) Zapata medianera y (b) esquinera, con viga aérea.....	49
Figura 26.	Punzonamiento en zapatas aisladas, (a) efecto de falla por superficie piramidal, (b) simplificación de la sección crítica a una distancia $d/2$ de la cara de la columna	52
Figura 27.	Aplastamiento en zapatas aisladas (a) modelo geométrico, (b) modelo estructural de la verificación del aplastamiento.....	53
Figura 28.	Cortante unidireccional en zapatas aisladas, (a) vista en 3d de la sección crítica, (b) vista en perfil, (c) vista en planta	53
Figura 29.	Área Crítica para el cálculo de momento en zapatas aisladas, a) vista en 3d de la sección crítica, (b) vista en perfil, (c) vista en planta	54
Figura 30.	Sección transversal de una viga sometida a flexión, análisis del cálculo del acero	54
Figura 31.	Variación del parámetro β_1	56
Figura 32.	Vista de perfil de los diferentes tipos de zapatas aisladas, (a) zapata aislada concéntrica, (b) zapata aislada excéntrica, (c) zapata aislada medianera y esquinera	61
Figura 33.	Orientación de los momentos.....	62
Figura 34.	Datos de entrada de la zapata	63
Figura 35.	Tipos de columnas según su forma, (a) columna cuadrada, (b) columna rectangular, (c) columna circular, (d) columna T, (e) columna L	64
Figura 36.	Datos de entrada del suelo	65
Figura 37.	Zapata medianera con columna T.....	66
Figura 38.	Presiones de contacto para el análisis uniaxial.....	74
Figura 39.	Presiones de contacto redistribuidas para el análisis uniaxial.....	75
Figura 40.	Área de acero para ambas direcciones	87

Figura 41.	Áreas críticas para el cálculo del punzonamiento.....	91
Figura 42.	Resultados en condiciones de servicio.....	94
Figura 43.	Resultados de asentamiento en condiciones de servicio	94
Figura 44.	Resultados en condiciones últimas	94
Figura 45.	Resultados del cálculo en condiciones últimas.....	95
Figura 46.	Vista 3D de la zapata del ejemplo 1	96
Figura 47.	Distribución de presiones en servicio	97
Figura 48.	Distribución de presiones últimas.....	97
Figura 49.	Resultados del cálculo de punzonamiento	98
Figura 50.	Diagramas de distribución de corte.....	98
Figura 51.	Diagramas de distribución de flexión.....	99
Figura 52.	Diagramas de distribución del acero.....	99
Figura 53.	Resultados en condiciones en servicio.....	100
Figura 54.	Resultados en condiciones últimas.....	101
Figura 55.	Resultados en condiciones de servicio.....	104
Figura 56.	Resultados de asentamiento en condiciones de servicio	104
Figura 57.	Resultados en condiciones últimas.....	104
Figura 58.	Resultados del cálculo en condiciones últimas.....	105
Figura 59.	Vista 3D de la zapata del ejemplo 2	106
Figura 60.	Distribución de presiones de servicio	107
Figura 61.	Distribución de presiones últimas.....	107
Figura 62.	Resultados del cálculo de punzonamient	108
Figura 63.	Diagramas de distribución de corte	108
Figura 64.	Diagramas de distribución de flexión.....	109
Figura 65.	Diagramas de distribución del acero.....	109
Figura 66.	Resultados en condiciones de servicio.....	110
Figura 67.	Resultados en condiciones últimas	111
Figura 68.	Resultados en condiciones de servicio.....	114
Figura 69.	Resultados de asentamiento en condiciones de servicio.	114
Figura 70.	Resultados en condiciones últimas	114

Figura 71.	Resultados del cálculo en condiciones últimas.....	115
Figura 72.	Vista 3D de la zapata del ejemplo 3	116
Figura 73.	Distribución de presiones de servicio	117
Figura 74.	Distribución de presiones última	117
Figura 75.	Resultados del cálculo de punzonamiento	118
Figura 76.	Diagramas de distribución de corte	118
Figura 77.	Diagramas de distribución de flexión.....	119
Figura 78.	Diagramas de distribución del acero.....	119
Figura 79.	Resultados en condiciones de servicio.....	120
Figura 80.	Resultados en condiciones últimas	121
Figura 81.	Resultados en condiciones de servicio.....	124
Figura 82.	Resultados de asentamiento en condiciones de servicio	124
Figura 83.	Resultados en condiciones últimas	124
Figura 84.	Resultados del cálculo en condiciones últimas.....	125
Figura 85.	Vista 3D de la zapata del ejemplo 4	126
Figura 86.	Resultados en condiciones de servicio.....	126
Figura 87.	Resultados en condiciones últimas	127

Lista de tablas

Tabla 1.	Datos de entrada. Solicitaciones de carga	62
Tabla 2.	Datos de entrada. Dimensiones de la columna	63
Tabla 3.	Fórmulas para el cálculo del centro geométrico de la columna.....	66
Tabla 4.	Fórmulas para simplificar las dimensiones de la columna	67
Tabla 5.	Coordenadas (e_x' , e_y') del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata	67
Tabla 6.	Fórmulas para el cálculo de voladizos	68
Tabla 7.	Fórmulas para cálculo de los factores carga	71
Tabla 8.	Fórmulas para cálculo de factores de forma.....	71
Tabla 9.	Fórmulas para cálculo de los factores de la inclinación de carga.....	72
Tabla 10.	Fórmulas para cálculo de los factores de profundidad	72
Tabla 11.	Fórmulas para áreas para cálculo de aplastamiento	82
Tabla 12.	Fórmulas para el cálculo del acero en cada dirección.....	86
Tabla 13.	Fórmulas para el cálculo del espaciamiento del acero en cada dirección	87
Tabla 14.	Datos de entrada del ejemplo 1.....	93
Tabla 15.	Comparación de resultados del ejemplo 1	102
Tabla 16.	Datos de entrada del ejemplo 2.....	103
Tabla 17.	Comparación de resultados del ejemplo 2	112
Tabla 18.	Datos de entrada del ejemplo 3.....	113
Tabla 19.	Comparación de resultados del ejemplo 3	122
Tabla 20.	Datos de entrada del ejemplo 4.....	123

Tabla 21.	Comparación de resultados del ejemplo 4	128
------------------	--	------------



Introducción

La cimentación es el sistema estructural que transmite las cargas de toda la edificación al suelo. Por lo que, en la ingeniería civil es muy importante elaborar un adecuado diseño que permita que las cargas de la estructura sean transferidas al suelo de manera efectiva.

Desde tiempos remotos se han presentado diferentes modelos de cimentación con diferentes tipos de materiales, sin embargo, con el desarrollo gradual de la ciencia, los modelos y los conceptos ingenieriles han hecho posible su mejora y optimización, considerando ciertas características de estética, seguridad y economía.

Todo ingeniero ha de enfrentarse a una gran variedad de retos que se han de presentar en su trayectoria profesional, teniendo la necesidad de buscar o crear herramientas que le permitan realizar un trabajo de calidad de manera eficaz. Por esta razón, tiene el llamado inherente de diseñar, mejorar e innovar sus propios recursos.

El planteamiento de esta presente tesis se basa en esta problemática, la continua innovación, por lo que, este presente trabajo de investigación busca presentar la elaboración de un software que permita diseñar diferentes tipos de cimentaciones superficiales por métodos propuestos en la ingeniería civil actual. Asimismo, los diseños que se han realizado se enfocan en zapatas aisladas rectangulares con secciones típicas de columnas.

La finalidad del software DZAIS 1.0 es la optimización para el diseño de zapatas aisladas unificando las distintas teorías de cálculos geotécnicos y estructurales. Asimismo, los cálculos se han realizado de acuerdo con la Norma Técnica De Edificación (NTE): Norma E0.20 Cargas, Norma E0.30 Diseño Sismo resistente, Norma E.050 suelos y cimentaciones y Norma E0.60 Concreto Armado.



Justificación

En la actualidad existe una gran variedad de programas internacionales especializados en el diseño estructural de cimentaciones que han sido desarrollados con criterios propios de cada país. Asimismo, existen programas nacionales que han sido elaborados con normativas no actualizadas. Por esta razón, en la presente tesis se ha desarrollado un programa que satisface los criterios establecidos de acuerdo con la normativa peruana vigente.

Debido a que, muchos de los programas demandan cursos previos para su utilización, por la complejidad de su interfaz, se espera que este programa sea de fácil manejo, por lo cual, se ha diseñado de manera que su interfaz sea intuitiva y cómoda a la hora de ingresar datos y de obtener resultados. Además, es un programa que no demanda muchos requerimientos y que presenta poco almacenamiento.

El diseño de zapatas es un proceso iterativo que puede ser realizado por medio de una secuencia de algoritmos repetitivos, por lo que se ha empleado el software Visual Basic para su desarrollo, debido a que, es una plataforma con un lenguaje de programación e instrucciones sencillas para la realización de programas.

Asimismo, el presente software que se ha desarrollado está orientado al diseño de zapatas aisladas rectangulares, abarcando gran variedad de casos, por lo que, es de suma importancia que se desarrollen los códigos de manera minuciosa. Por esta razón, se han desarrollado hojas programadas en Excel que permitirán observar los resultados de forma detallada y así poder corroborar resultados.

Debido a que el diseño de zapatas aisladas es objeto de estudio de las diferentes ramas de la ingeniería civil, es decir, estructuras y geotecnia, la práctica común es diseñar la zapata haciendo cálculos por separado en cada rama. Por lo que se suele emplear un valor de capacidad portante del suelo y, en base a las cargas actuantes, dimensionar la zapata. Sin embargo, la capacidad portante depende de las características resistentes del suelo y de las dimensiones de la zapata. Por esta razón, el presente software se ha diseñado considerando ambas ramas de la ingeniería civil, siendo congruentes en este cálculo.

Ante la necesidad de hacer un diseño rápido y eficiente para zapatas aisladas, se ha profundizado en las normas peruanas vigentes y en los conocimientos ingenieriles, de manera

que se han rescatado información de diferentes fuentes para hacer realidad este propósito creando un programa que esté acorde a estas normas, aprovechando el avance de la tecnología en el sistema computadorizado e implementarlo como beneficio en la ingeniería civil.



Objetivos

Objetivos generales

✓ Desarrollo de un programa para el diseño de zapatas aisladas rectangulares sometidas a flexión uniaxial y biaxial, utilizando el lenguaje de programación de Visual Basic 6.0, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Objetivos específicos

✓ Desarrollar los códigos de programación en Visual Basic 6.0 para la elaboración del software DZAIS 1.0 que permita el diseño de zapatas aisladas, basado en el desarrollo manual de las fórmulas.

✓ Desarrollar un marco intuitivo tanto en los datos de entrada como datos de salida. Asimismo, mostrar resultados inmediatos para zapatas centradas, excéntricas, medianeras y esquineras con secciones típicas de columnas.

✓ Constatar que los resultados obtenidos del programa son confiables para el diseño de zapatas aisladas comparando los resultados con los programas Geo5 y SAFE.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Antecedentes

Como antecedentes para la presente tesis se han rescatado los siguientes proyectos de investigación nacional e internacional:

Bocanegra, C. (2005) publicó su investigación titulada “DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS RECTANGULARES POR FLEXIÓN BIAXIAL” en la Universidad De Piura, en la ciudad de Piura, Perú y cuyo objetivo fue la elaboración de un software que permita el diseño para zapatas rectangulares controladas por flexión biaxial.

La metodología que sigue es presentar las bases para comprender la solución analítica de los diferentes casos de distribución de esfuerzos para flexión biaxial. Asimismo, presentar los cálculos que realiza el software, y el manual de usuario. Finalmente, mostrar la comparación del software con ejemplos de libros referenciados. Se concluye que los resultados del programa DIZA 1.0 tiene diferencias pequeñas al compararse con los resultados de los ejemplos referenciados permitiendo un diseño confiable en zapatas rectangulares controladas por flexión biaxial.

Este antecedente sirvió para conocer la distribución de esfuerzos debajo de la zapata por flexión biaxial según el método de R. Irles y F. Irles.

Merino, L. Y Ruiz, G. (2015) publicaron su investigación titulada “DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES ISOSTÁTICAS SOPORTADAS POR PROGRAMA DE SIMULACIÓN COMPUTARIZADO” en la Universidad Privada Antenor Orrego, en la ciudad de Trujillo, Perú y cuyo objetivo general fue la elaboración de un programa computarizado para la simulación de diseños de cimentaciones superficiales isostáticas de acuerdo con las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La metodología que presenta es la recolección de datos para así establecer el tipo de cimentación que se ajuste con los datos, seguidamente hacer un análisis comparativo entre el diseño analítico y la programación del software, finalmente validar los resultados. Se concluye que el software FONDAZIONI 1.0 permite de forma automática el análisis y diseño de

cimentaciones superficiales como son las zapatas centrales, esquinadas, excéntricas, combinadas, conectadas con viga rígida y pilotes con cabezales rígidos.

Este antecedente sirvió para tener en cuenta la geometría de la columna en el diseño de zapatas aisladas.

Rodríguez, A. (2015) publicó su investigación titulada “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS Y COMBINADAS RECTANGULARES POR FLEXIÓN UNIAXIAL Y BIAXIAL CON PROGRAMA COMPUTACIONAL ELABORADO Y SAFE” en la Universidad Nacional De Cajamarca, en la ciudad de Cajamarca, Perú. El objetivo general fue realizar una comparación del diseño de zapatas aisladas y combinadas rectangulares por flexión uniaxial y biaxial utilizando el software SAFE y el programa elaborado por el autor, llamado DIZEI V.1.0.

El método utilizado que sigue es dimensionar la zapata, verificando que toda la parte de la zapata esté en compresión y que no sobrepase ninguna presión del suelo a la carga admisible neta. De acuerdo con los requerimientos dados en la norma se verifica el cortante unidireccional y bidireccional (punzonamiento). Luego se obtiene el momento y el acero de refuerzo. Finalmente se hace una comparación de los datos obtenidos del programa DIZEI con el programa SAFE. La investigación concluye que el programa DIZEI V.1.0 presenta resultados que difieren en un cinco por ciento comparado con el programa conocido SAFE.

Este antecedente sirvió como complemento teórico del análisis y diseño por flexión uniaxial y biaxial de zapatas rectangulares.

Calavera, J. (2000) publicó la cuarta edición de su libro titulado “CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN” en la ciudad de Madrid, España, el cual tiene el objetivo de mostrar una variedad de soluciones para el desarrollo de estructuras de cimentación.

Debido a que el diseño de las zapatas medianeras y esquineras presentan una problemática específica y variable apreciadas en el capítulo cuatro y cinco de dicho libro, el autor dispone de métodos de cálculo no normalizados para posibles soluciones.

Este antecedente sirvió para tomar en consideración una de las soluciones la cual permite diseñar una zapata excéntrica con distribución uniforme de presiones y reacción en la estructura del piso superior.

Das, B. y Sivakugan, S. (2019) publicaron la novena edición del libro titulado “PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING”, en Massachusetts, Estados Unidos. El cual tiene como objetivo Presentar los Principios de la mecánica de suelos y de la ingeniería de cimentaciones que se han desarrollado rápidamente durante los últimos setenta años proveyendo así una gran variedad de conceptos y métodos que pueden ser utilizados para el diseño de zapatas aisladas.

A través de su estudio en los capítulos seis y nueve presentan metodologías para la determinación de la capacidad portante última y el asentamiento de cimentaciones superficiales respectivamente.

Este antecedente sirvió para considerar la metodología para calcular la presión admisible por corte, utilizando la ecuación de capacidad de carga general; y la presión admisible por asentamiento, utilizando la ecuación mejorada para asentamiento elástico.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Generalidades de las cimentaciones

Cimentación. De acuerdo con Calavera (2000), la cimentación es la parte de una estructura encargada de transmitir las cargas que actúan en la construcción hacia el terreno.

Los tipos de cimentación pueden ser superficiales y profundas, su elección dependerá de las características aptas del terreno desde el punto técnico y económico.

Cimentaciones superficiales. Según la NTE E0.50 en el artículo 23, una cimentación superficial es aquella que cumple con la relación profundidad/ancho menor o igual a cinco.

Como cimentaciones superficiales más comunes se encuentran la zapata aislada, conectada, combinada, continua y losa de cimentación.

Además, aquellas cimentaciones que no son rectangulares pueden ser transformadas a otras con forma rectangular conservando la misma área y el mismo momento de inercia respecto al eje de momento resultante.

Zapatas aisladas. De acuerdo con Calavera (2000), es aquella sobre la que carga una sola columna, también es aquella sobre la que carga dos columnas separadas por una junta de dilatación.

La funcionalidad de este tipo de zapatas es compleja y los cálculos se realizan con métodos simplificados.

Además, según Garza (2000), las zapatas aisladas se plantean como solución en casos sencillos, de suelos de poca compresibilidad, suelos duros, y con cargas de la estructura moderadas, es decir, aproximadamente edificios hasta de 7 pisos.

Existen diferentes tipos de zapata aisladas que pueden ser clasificadas según la ubicación de la columna.

1.2.2 Tipo de zapatas aisladas

De acuerdo con Garza (2000), una zapata aislada, puede ser concéntrica, medianera o esquinera y esta se caracteriza por soportar y trasladar al suelo la carga de un apoyo individual.

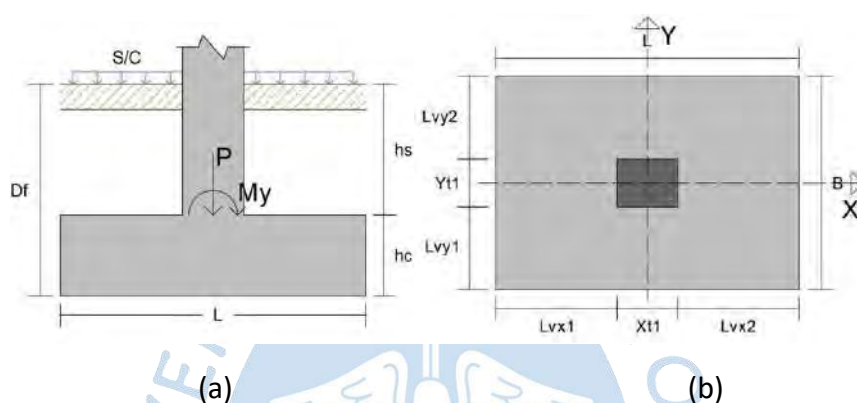
El desfase entre el eje de la columna y el centroide geométrico de la zapata puede generar ciertas dificultades en el diseño, por lo que, en el presente trabajo considera el cálculo

para cada caso y sus respectivas soluciones. Además, en la presente tesis se considerará un tipo de zapata cuyo eje de columna se encuentra en algún punto del área de la zapata, conformando una zapata excéntrica.

Zapata aislada concéntrica. El eje de la columna se encuentra posicionada en el centroide geométrico de la zapata.

La distribución de las presiones debajo de la zapata, por simplificación, dependerá solo de la excentricidad de la carga.

Figura 1. Zapata aislada concéntrica. (a) vista en perfil, (b) vista en planta



Donde:

$Xt1, Yt1$: Dimensiones de la columna.

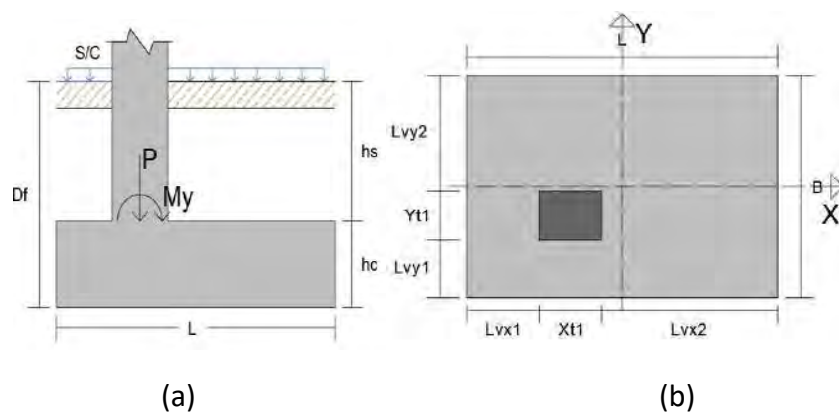
$Lvx1, Lvx2$: Voladizos de la zapata en el eje x.

$Lvy1, Lvy2$: Voladizos de la zapata en el eje y.

Zapata aislada excéntrica. El eje de la columna se encuentra desfasada con el centroide de la zapata, por lo que, los voladizos para cada dirección suelen ser diferentes.

La distribución de las presiones debajo de la zapata dependerá de la excentricidad total, producida por el desfase de la columna y las cargas excéntricas. Y así, como en la zapata aislada concéntrica, no suele tener dificultades en el diseño.

Figura 2. Zapata aislada excéntrica. (a) vista en perfil, (b) vista en planta



Donde:

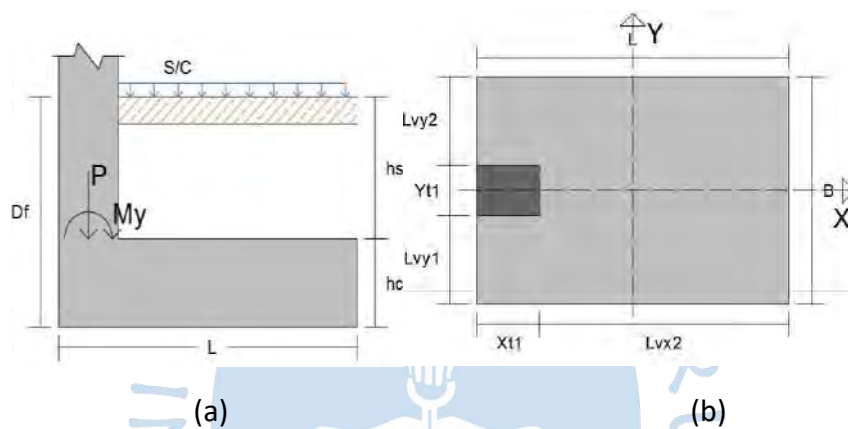
X_{t1} , Y_{t1} : Dimensiones de la columna.

L_{vx1} , L_{vx2} : Voladizos de la zapata en el eje x.

L_{vy1} , L_{vy2} : Voladizos de la zapata en el eje y.

Zapata aislada medianera. De acuerdo con Garza (2000), las zapatas medianeras son aquellas que soportan una columna posicionada de tal forma que una de sus caras coincida con uno de los bordes de la zapata. Su uso es muy frecuente, debido, a que suele construirse en colindancia con edificaciones adyacentes.

Figura 3. Zapata aislada medianera. (a) vista en perfil, (b) vista en planta



Donde:

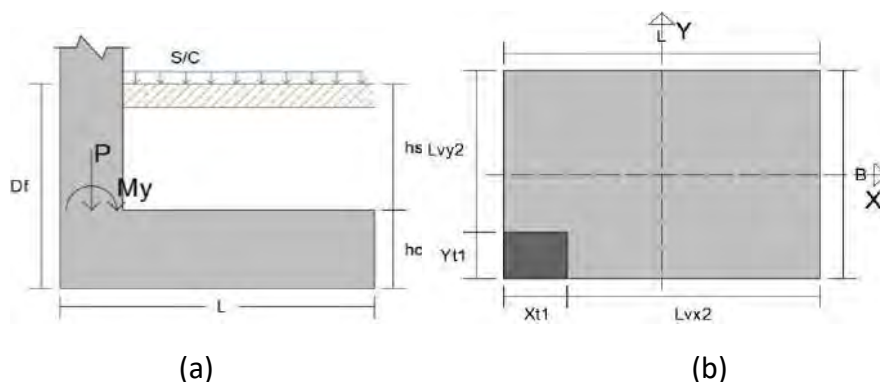
X_{t1} , Y_{t1} : Dimensiones de la columna.

L_{vx2} : Voladizos de la zapata en el eje x.

L_{vy1} , L_{vy2} : Voladizos de la zapata en el eje y.

Zapata aislada esquinera. Las zapatas esquineras son aquellas que soportan una columna posicionada en la esquina de la zapata de modo que las caras de la columna coincidan con ambos bordes de la zapata. Su uso es muy frecuente, debido, a que suele construirse en colindancia con edificaciones adyacentes.

Figura 4. Zapata aislada esquinera. (a) vista en perfil, (b) vista en planta



Donde:

X_{t1} , Y_{t1} : Dimensiones de la columna.

L_{vx2} : Voladizos de la zapata en el eje x.

L_{vy2} : Voladizos de la zapata en el eje y.

Tanto, la zapata medianera, como la esquinera pueden presentar problemas de presiones elevadas debajo de la zapata y/o volcamiento, debido al aumento de excentricidad, lo cual complica su diseño. Sin embargo, existen soluciones de varios autores que permiten que el cálculo sea relativamente sencillo.

Según Calavera (2000), se puede solucionar estos problemas diseñando la viga del piso superior para que absorba los momentos, de modo que la presión debajo de la zapata se distribuya de manera uniforme o linealmente variable.

Sin embargo, para el presente trabajo, se ha considerado desarrollar la solución de distribución uniforme propuesto por Calavera.

1.2.3 Distribución de presiones

De acuerdo con Calavera (2000), La reacción del suelo y la forma en cómo se distribuye, constituye un tema complejo y que depende muchas variables, como son alguna de ellas: la rigidez de la zapata y las características presión-deformación del suelo.

Como un resumen de la forma en cómo se distribuyen las presiones, Calavera (2000) indica la siguiente tabla:

Figura 5. Distribución de presiones en zapatas

TIPO DE SUELO	TIPO DE ZAPATA	
	RÍGIDA	FLEXIBLE
COHESIVO		
GRANULAR		
ROCA		

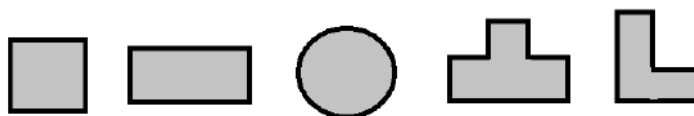
Nota. Adaptado de Cálculo de estructuras de cimentación, J. Calavera (2000).

Sin embargo, para zapatas aisladas y cimentaciones corridas, con voladizos usualmente empleados, la práctica universal es asumir una distribución uniforme.

1.2.4 Forma de la columna

Existen diferentes formas de columnas que recaen sobre la zapata, entre las más usadas son: columna rectangular, cuadrada, circular, L y T. Cada una de ellas tendrá su respectivo cálculo en el diseño.

Figura 6. Tipos de columna por su forma



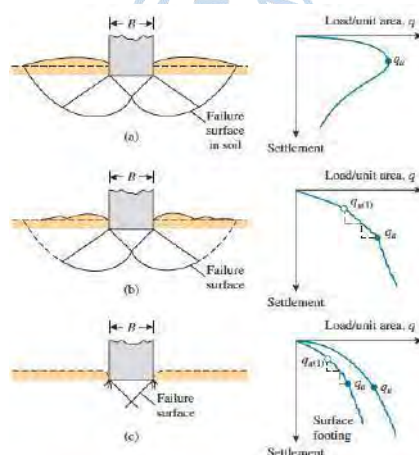
1.2.5 Modos de falla del suelo de una cimentación

Se produce cuando el suelo alcanza su máxima capacidad de soporte o también conocida como capacidad portante última. Esta falla se presenta generando un deslizamiento debajo la cimentación hacia uno o ambos lados y puede estar acompañada de una inclinación drástica que ocasione el colapso de la estructura hacia un lado.

Das y Sivakugan (2019) expone las 3 principales formas de falla que ocurren en el suelo de las cimentaciones:

- Falla por corte general: puede presentarse en arenas densas y arcillas rígidas.
- Falla por corte local: puede presentarse en arenas o arcillas de compactación media.
- Falla por punzonamiento: puede presentarse en arenas bastante sueltas o arcillas blandas.

Figura 7. Naturaleza de la falla de carga en suelo a) falla por corte general, b) falla corte local, c) falla por punzonamiento



Nota. Adaptado de Principles of foundation engineering, B. Das y S. Sivakugan (2019).

1.2.6 Capacidad portante del suelo

De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), para que una zapata aislada tenga un buen desempeño es necesario que cumpla con 2 requisitos:

- Tiene que ser segura ante la falla general por corte del suelo en el que se soporta.
- No tiene que experimentar un desplazamiento o asentamiento excesivo.

Capacidad portante última del suelo. Es la mayor presión unitaria que el suelo puede resistir antes de llegar al estado plástico. Cuando ocurre este tipo de falla se denomina falla general por corte.

Existen varias teorías propuestas para determinar la capacidad de carga de un suelo como: Prandtl, Hill, Terzaghi, Sentón, Meyerhof, etc.

De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), Terzaghi fue el primero en presentar una teoría global en 1943, la cual evalúa la capacidad portante última en cimentaciones poco profundas, sin embargo, Meyerhof en 1963 introduce más factores presentando una fórmula general.

Teoría de capacidad portante de Meyerhof. Das y Sivakugan (2019), presenta una ecuación general para encontrar la capacidad portante última del terreno basada en Meyerhof en el año 1963.

La fórmula propuesta es la siguiente:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5 \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

q_u : Capacidad portante última por corte.

c' : Cohesión.

q : Carga efectiva al nivel del fondo de la zapata.

γ : Peso específico del suelo.

B : Ancho efectivo de la zapata, resultado de la influencia por excentricidad (m).

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga (adimensionales).

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: Factores de forma (adimensionales).

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: Factores de profundidad (adimensionales).

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: Factores de inclinación de carga (adimensionales).

Además, Meyerhof también toma en cuenta la influencia de la excentricidad y napa freática en el cálculo de la capacidad portante.

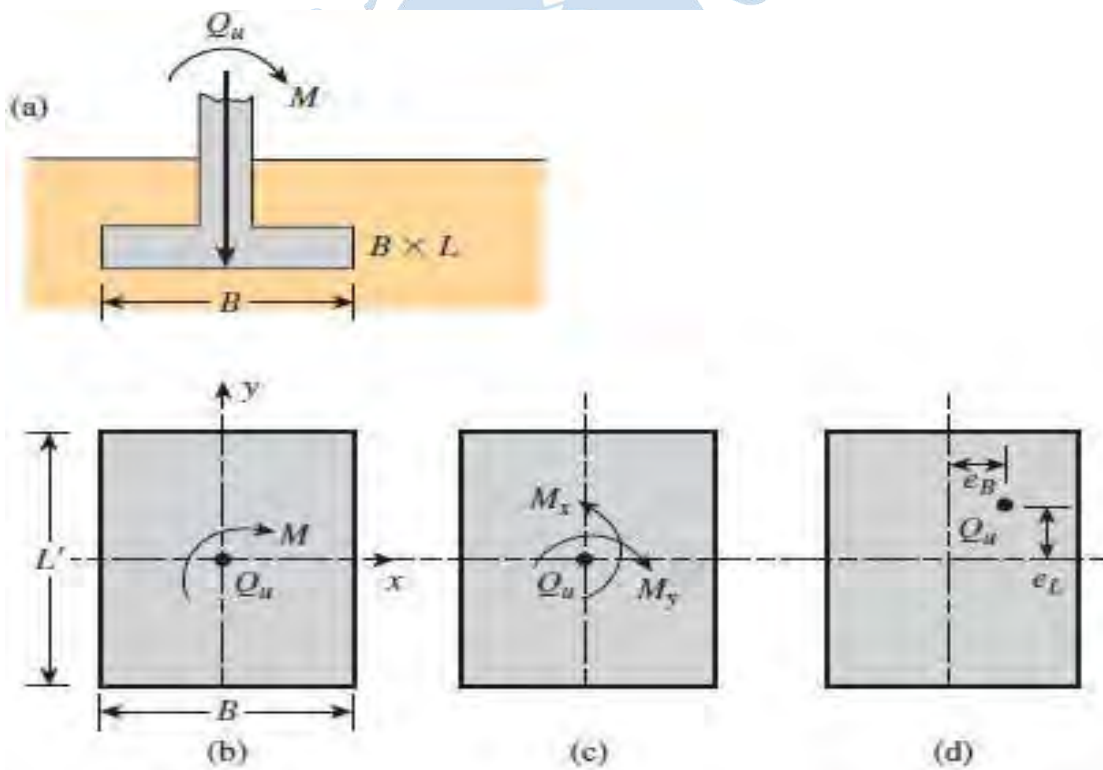
Influencia de la excentricidad. Al desarrollar la capacidad portante del suelo es importante considerar como se transfieren las cargas al suelo debido a la existencia de la excentricidad. Por esta razón, es necesario considerar la excentricidad generada por las cargas y el desfase existente entre el eje de la columna y el centroide geométrico de la zapata.

La zapata puede estar sometida a flexión uniaxial o biaxial, por lo que es necesario analizar cada caso pertinente.

Se considera un análisis a flexión uniaxial cuando existe excentricidad en una sola dirección de análisis.

Cuando existen excentricidades en ambas direcciones, se considera un análisis en flexión biaxial.

Figura 8. Análisis de una cimentación con excentricidad biaxial, (a) vista de perfil de la zapata, (b) vista en planta de una zapata sometida a flexión uniaxial, (c) vista en planta de una zapata sometida a flexión biaxial, (d) excentricidades en ambas direcciones



Nota. Adaptado de Principles of foundation engineering, B. Das y S. Sivakugan (2019).

Cuando existe excentricidad en una sola dirección de análisis, el ancho en esta dirección se reduce, mientras que en la otra dirección permanece igual. Sin embargo, cuando existe excentricidad en ambas direcciones de análisis, ambas dimensiones se reducen.

Las nuevas dimensiones efectivas para el análisis uniaxial:

$$L' = L - 2e_x$$

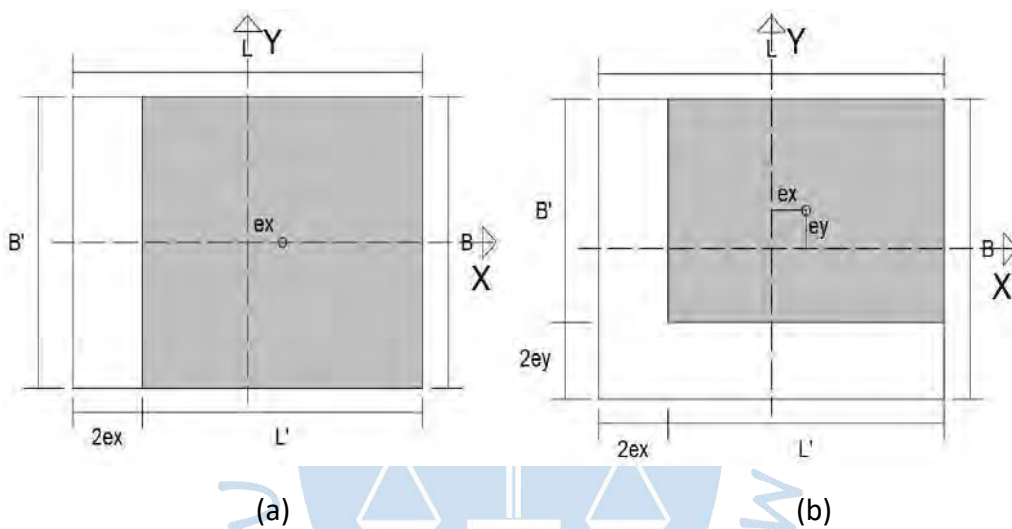
$$B' = B$$

Para el análisis biaxial:

$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_y$$

Figura 9. Áreas efectivas por influencia de la excentricidad: (a) para análisis uniaxial, (b) para análisis biaxial



Donde:

e_x , e_y : Excentricidad en dirección x, excentricidad en dirección y, respectivamente.

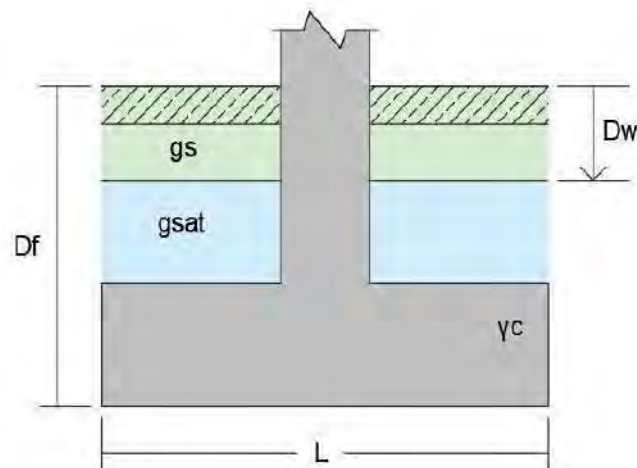
L , B : Dimensiones de la zapata.

L' , B' : Dimensiones efectivas de la zapata.

De esta manera la carga de la columna recae en el centroide de la nueva área generada por las dimensiones efectivas.

Influencia del nivel freático. La presencia de agua en el suelo es un factor importante que se debe considerar a la hora de calcular la capacidad portante del suelo. Debido a que esta producirá una reducción de la resistencia al cortante del suelo. Si el nivel freático se encuentra cercano a la base, el peso unitario del suelo se reduce, por lo que la ecuación de capacidad portante se ve influenciada.

Figura 10. Influencia del nivel freático



Donde:

g_s : Peso específico del suelo.

g_{sat} : Peso específico saturado del suelo.

D_w : Profundidad de la napa freática.

γ_c : Peso específico del concreto.

D_f : Profundidad del fondo de Zapata.

Capacidad portante máxima admisible. Es el valor de la presión de contacto entre el suelo y la zapata, que tiene un riesgo mínimo para fallar por corte. También se puede definir como la capacidad portante última dividida por un factor de seguridad adecuado.

Factor de seguridad. El termino factor de seguridad fue introducido por Rankine en 1858 y está asociado usualmente a resolver una falla que podría darse en el diseño, por esta razón, este factor o valor numérico permite un margen de seguridad ante simplificaciones y los peligros, de modo se pueda obtener un diseño óptimo.

Para hallar la capacidad portante admisible, es necesario influenciar la capacidad portante última obtenida por este factor de seguridad, donde:

$$q_{adm} = q_u / F_s$$

La norma E 0.50, el artículo 21, sugiere factores de seguridad mínimos que deben tener las cimentaciones:

- Situación para cargas estáticas el FS es de 3.
- Situación para solicitaciones de sismo o viento el FS es de 2,5.

Asentamiento. El asentamiento de un suelo de cimentación es el resultado de la acomodación de las partículas, por la reducción de los espacios intersticiales (entre las partículas de suelo), esto produce que el suelo se compacte, reduciendo su volumen. Esta deformación vertical que se genera proviene de la aplicación de cargas o peso propio de la estructura.

Tipos de asentamiento. De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), el proceso de asentamiento es diferentes en suelos cohesivos y granulares, por lo que, se pueden diferenciar dos tipos de asentamientos:

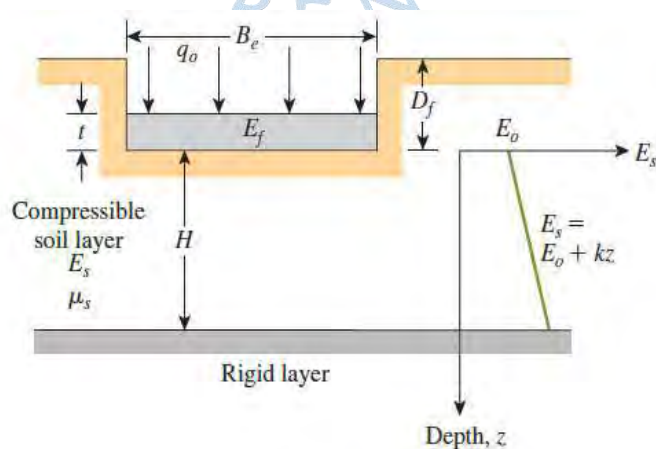
Asentamiento inmediato. También conocido como asentamiento elástico, ocurre inmediatamente después de que el suelo es cargado o inmediatamente después de la construcción de la estructura. Predomina en suelos no cohesivos (arenas) y en suelos cohesivos insaturados.

Asentamiento por consolidación. Ocurre cuando en un depósito de suelo se somete a un exceso de presión intersticial y esta se disipa expulsando un flujo de agua hacia el exterior. Esto produce una reducción del volumen de poros y por tanto a una reducción del volumen de la masa del suelo, por lo que, esto se manifestará como un asentamiento de la superficie del terreno, por consiguiente, de la estructura.

Este proceso se da en todos los suelos, sin embargo, en la práctica solo se considera cuando se trata de una estructura cimentada en un depósito de arcilla.

Asentamiento elástico de Mayne y Poulos. De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), Mayne y Poulos realizaron en 1999 un análisis basado en la teoría de la elasticidad para zapatas en suelo granular, proveyendo una fórmula mejorada para el cálculo del asentamiento elástico en zapatas.

Figura 11. Procedimiento de Mayne y Poulos para el cálculo de asentamiento



Nota. Adaptado de Principles of foundation engineering, B. Das y S. Sivakugan (2019).

La fórmula propuesta por Mayne y Poulos para el cálculo del asentamiento en el centro de la zapata es:

$$S_e = \frac{q_0}{E_0} B_e I_G I_R I_E (1 - \mu_s^2)$$

Donde:

S_e : Asentamiento producido por la presión neta.

I_G : Factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo E_s .

I_R : Factor de corrección de rigidez de la zapata.

I_E : Factor de corrección de empotramiento de zapata.

μ_s : Módulo de Poisson del suelo.

B_e : Diámetro equivalente de la zapata (m).

q_0 : Presión neta aplicada sobre la cimentación ton/m^2 .

La Figura 11 muestra una zapata con un diámetro equivalente B_e y un peralte t , localizada a una profundidad D_f debajo de la superficie del terreno. Debido a que el método toma en cuenta la rigidez de la zapata y del suelo, se considera el módulo de elasticidad del concreto E_f , el módulo de elasticidad del suelo E_0 y el espesor H desde el fondo de la cimentación hasta donde se encuentra el suelo rígido.

El diámetro equivalente B_e se puede calcular de la siguiente manera:

$$B_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}}$$

Dónde:

B es el ancho y L el largo de la zapata.

El módulo de elasticidad del concreto de la zapata se puede calcular en función de la resistencia del concreto:

$$E_f = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{f'c} \quad \text{ton}/\text{m}^2 \quad (f'c \text{ en } \text{ton}/\text{m}^2)$$

El módulo de elasticidad varía a lo largo de la profundidad por lo que se puede expresar como:

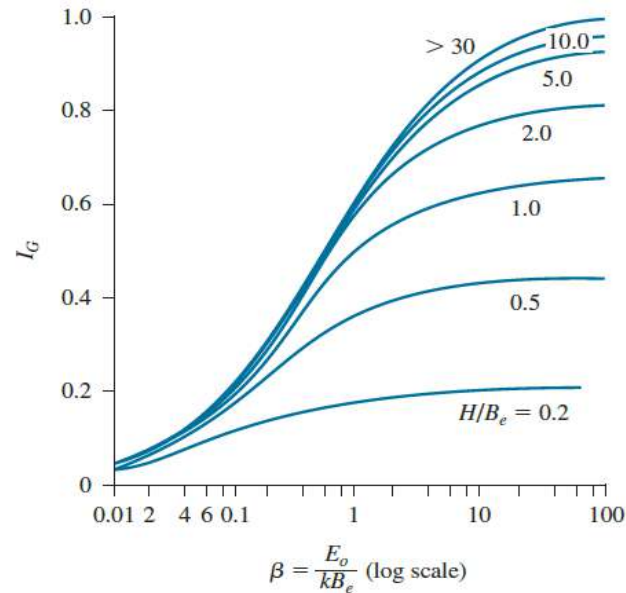
$$E_s = E_0 + Kz$$

Dónde:

Kz es la variación del módulo de elasticidad con la profundidad.

Para hallar el valor de I_G , Das y Sivakugan (2019) utilizan el siguiente gráfico:

Figura 12. Variación del factor I_G en función de β y H/B_e



Nota. Adaptado de Principles of foundation engineering, B. Das y S. Sivakugan (2019).

Sin embargo, Lukić (2017) proporciona la siguiente fórmula para el cálculo de I_G :

$$I_G = \frac{1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right)}{\left[1 + \frac{0.6}{\beta^{0.8}} \right] \left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]}$$

Donde:

$$\beta_G = \frac{E_0}{K_z B_e}$$

β_G : Parámetro utilizado en el cálculo del factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo I_G .

El factor de corrección de rigidez de la zapata puede expresarse como:

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_0 + 0.5 B_e K_z} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3}$$

El factor de corrección de empotramiento de zapata:

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22\mu_s - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)}$$

De acuerdo con Das (2017), debido a que, es práctica común trabajar con el módulo de elasticidad promedio del suelo dentro de la zona 3B a 4B debajo de la zapata, de acuerdo con el autor, el valor de K_z puede asumirse cero.

Si se asume el valor $K_z = 0$, entonces, $\beta = \infty$.

Por lo que, los factores I_G y I_R se pueden expresar como:

$$I_G = \frac{1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right)}{\left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]}$$

Además,

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_0} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3}$$

Capacidad portante admisible por asentamiento. La fórmula de Mayne y Poulos para el asentamiento elástico se puede despejar, proveyendo una fórmula para la capacidad portante admisible:

$$q_{adm} = \frac{S_{max} E_{prom}}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu_s^2)} \quad \text{ton} / \text{m}^2$$

Donde:

S_{max} : Asentamiento máximo admisible.

E_{prom} : Módulo de elasticidad promedio del suelo.

I_G : Factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo E_s .

I_R : Factor de corrección de rigidez de la zapata.

I_E : Factor de corrección de empotramiento de zapata.

μ_s : Módulo de Poisson del suelo.

B_e : Diámetro equivalente de la zapata (m).

De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), en muchos casos en una cimentación superficial, el asentamiento admisible puede controlar el diseño, por lo que esta condición también debe ser incluida en el cálculo de la capacidad portante admisible, escogiendo la menor de entre la capacidad portante por corte y por asentamiento.

Asentamiento máximo permisible. De acuerdo con Das y Sivakugan (2019), en 1956, Skempton y McDonald propusieron algunos valores límites para el asentamiento máximo:

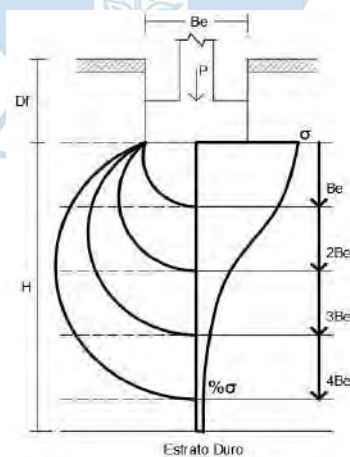
- Para cimentaciones en arcillas 65mm.
- Para cimentaciones en arena 40mm.

Terzaghi y Peck en 1948 sugirieron un valor límite de asentamiento permisible de 25 mm para cimentaciones aisladas, sin embargo, el valor del asentamiento permisible puede estar dado por los reglamentos locales.

Profundidad de la influencia del esfuerzo. Los esfuerzos que transmite una cimentación al terreno disminuyen progresivamente en profundidad hasta hacerse irrelevantes. Las curvas que unen los puntos del suelo de igual presión llamadas isóbaras adoptan la forma de bulbo.

Para efectos de cálculo, se considera el límite del bulbo de presiones la menor distancia entre el espesor del estrato de suelo por debajo del fondo de la cimentación, y cuatro veces el ancho equivalente. Superior a esto, los efectos del incremento de presión se consideran despreciables.

Figura 13. Bulbo de presiones vs variación del esfuerzo con la profundidad



Donde:

B_e : Diámetro equivalente de la zapata (m).

D_f : Profundidad del fondo de Zapata (m).

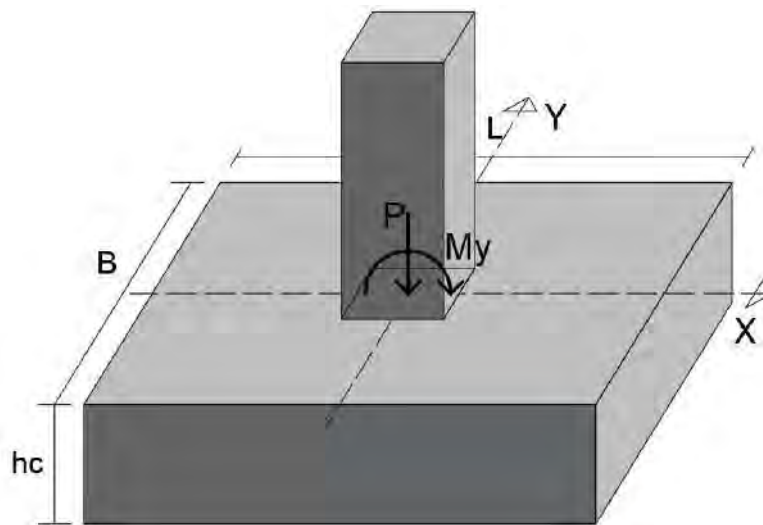
σ : Presión de contacto entre la zapata y el suelo.

1.2.7 Formas de analizar una zapata

Una zapata aislada está sometida a las cargas que provienen de la superestructura, las cuales pueden producir en ella efectos de compresión y flexión uniaxial o biaxial.

Zapata aislada sometida a flexión uniaxial. Es aquella que se encuentra sometida a cargas verticales y flexión en una dirección de análisis. A veces, la columna tiene flexo-compresión biaxial, pero uno de sus momentos es pequeño comparado con la otra dirección, de tal manera que puede despreciarse para finalmente diseñar la zapata con flexión en una sola dirección.

Figura 14. Zapata sometida a flexión uniaxial



Distribución de presiones linealmente uniforme por flexión uniaxial. Las presiones debajo de la zapata se consideran uniformes o linealmente variables debido a la rigidez de la zapata.

Las presiones se pueden calcular por flexo-compresión:

$$\sigma = \frac{P}{A_{zap}} + \frac{M \cdot c_n}{I}$$

Donde:

σ : Presión de contacto entre la zapata y el suelo.

P: Carga vertical aplicada en la base de la columna.

A_{zap} : Área de la zapata.

M: Momento flector aplicado en la base de la columna.

c_n : Distancia desde el eje de la columna al punto donde se quiere hallar la presión.

I: Momento de inercia respecto al eje donde se aplica el momento.

Para zapatas rectangulares, y con carga centrada se reemplazan los siguientes valores:

$$I = \frac{BL^3}{12}$$

$$c_n = \pm \frac{L}{2}$$

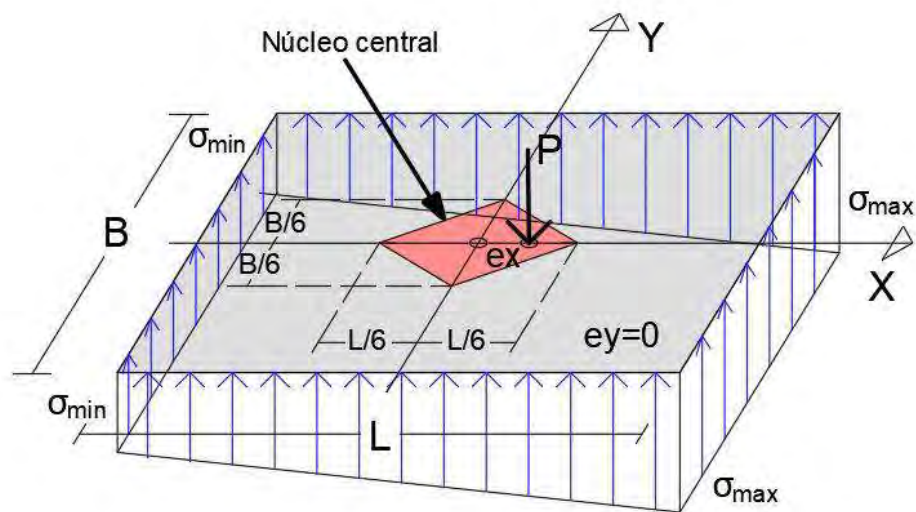
$$M = e \cdot P$$

Si la excentricidad es menor que la sexta parte de la longitud mayor de la zapata, es decir, $0 \leq e_x \leq \frac{L}{6}$ se obtiene:

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A_{zap}} \left(1 - \frac{6e_x}{L} \right)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A_{zap}} \left(1 + \frac{6e_x}{L} \right)$$

Figura 15. Distribución de presiones debido a flexión uniaxial



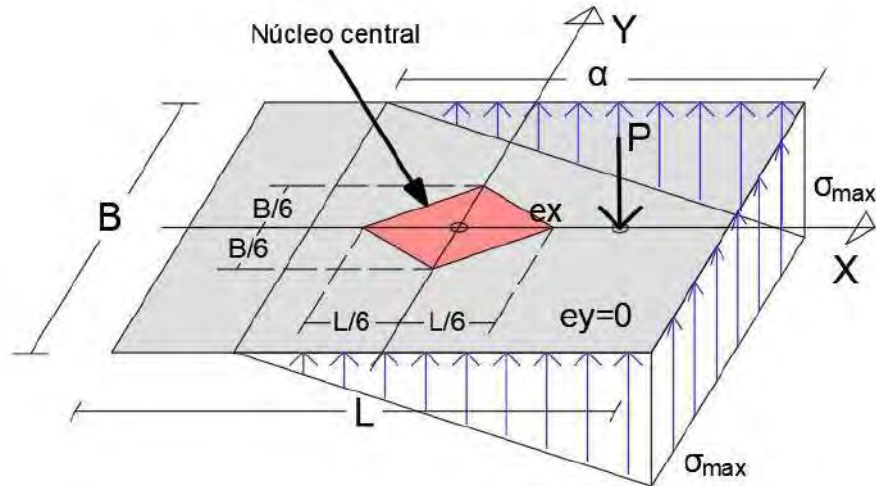
Redistribución de presiones por flexión uniaxial. Si al aplicarse la fórmula de flexo-compresión, la excentricidad total sobrepasa el valor de la sexta parte de la longitud mayor de la zapata, se obtienen presiones negativas, lo cual supone que la zapata se despegue del suelo, por lo que, las presiones se redistribuyen en la zona de contacto.

Es decir, si $\frac{L}{6} < e_x < \frac{L}{2}$

$$\alpha = 3 \left(\frac{L}{2} - e_x \right)$$

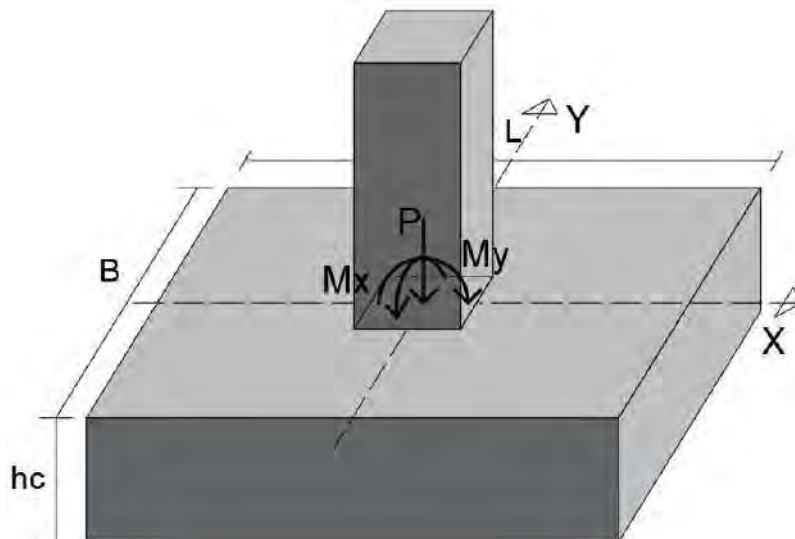
$$\sigma_{\max} = \frac{2P}{3B\left(\frac{L}{2} - e_x\right)}$$

Figura 16. Redistribución de presiones en flexión uniaxial



Zapata aislada sometida a flexión biaxial. Es aquella que está sometida a cargas axiales y momentos en ambas direcciones de análisis y analiza la influencia de ambas direcciones en conjunto.

Figura 17. Zapata sometida a flexión biaxial



Las presiones debajo de la zapata se distribuyen en ambas direcciones de manera uniforme o linealmente uniforme.

La solución de desarrollo para flexión biaxial que se ha considerado es el método propuesto por R. Irles y F. Irles (1992).

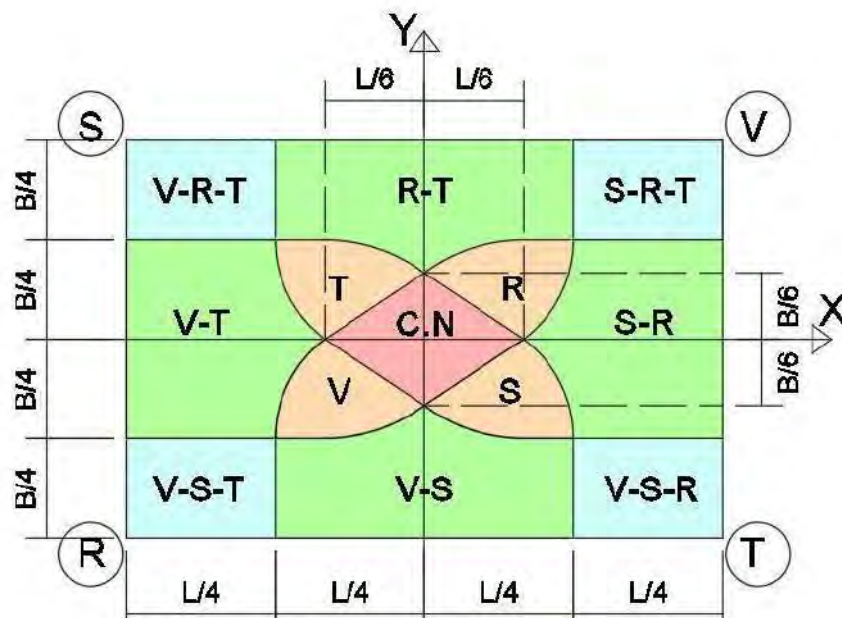
Distribución de presiones solución analítica propuesta por F. Irles y R. Irles. El cálculo de las presiones debajo de las zapatas rectangulares con flexión biaxial se realiza desarrollando un sistema de ecuaciones que equilibra los esfuerzos del suelo en función de la carga y la excentricidad. Se puede diferenciar zonas, de acuerdo con la figura 18, las que están en función de la ubicación de la fuerza resultante.

Se asume que la distribución debajo de la zapata se desarrolla en forma de volúmenes planos, cuando las excentricidades caen dentro de la zona CN (núcleo central), el área está toda a compresión, el sistema mencionado es lineal y su solución es sencilla. Sin embargo, al incrementar las excentricidades, una esquina puede desprenderse del suelo, el sistema empieza a ser no lineal y aumenta la dificultad en su desarrollo.

Como un resumen del método, es importante mencionar que cada zona se ha designado en función de la identificación de las esquinas de la zapata. Además, estas denotan que, si las excentricidades caen en tal zona, las esquinas mencionadas en aquella zona están levantadas, es decir, si las excentricidades caen en la zona S-R-T, significa que la única esquina que tiene presiones es la esquina V, y que las esquinas S, R y T están levantadas o sin presiones.

Además, es importante denotar que, se ha de asumir las excentricidades en valor absoluto, y de esta manera se simplifica el desarrollo, de modo que solo habrá 5 zonas de análisis, estas son: zona CN (o núcleo central), zona S-R-T, zona S-R, zona R-T y zona R.

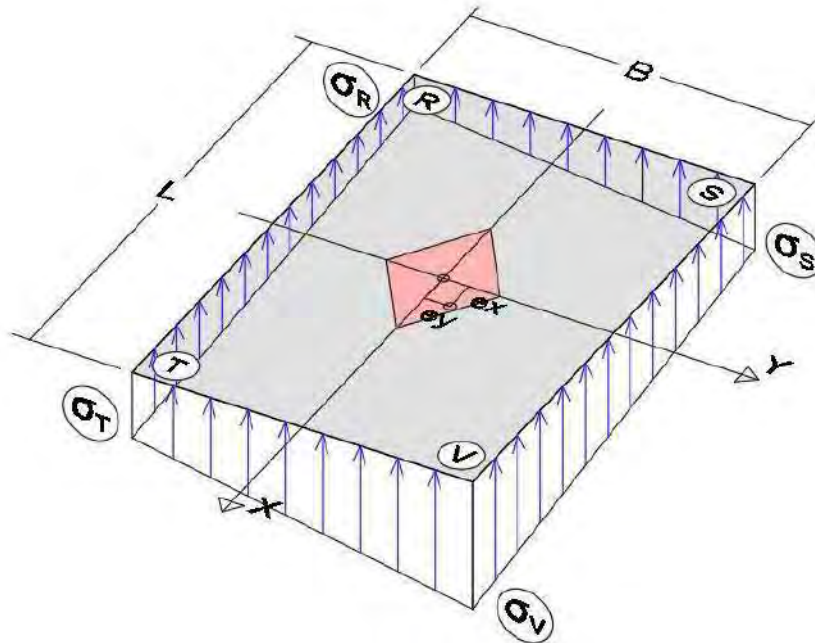
Figura 18. Zonas de análisis de excentricidades de F. Irles y R. Irles



A continuación, se presenta cada zona de análisis, que permitirá obtener las soluciones específicas para esos esfuerzos y la ubicación del eje en el que las presiones se hacen cero.

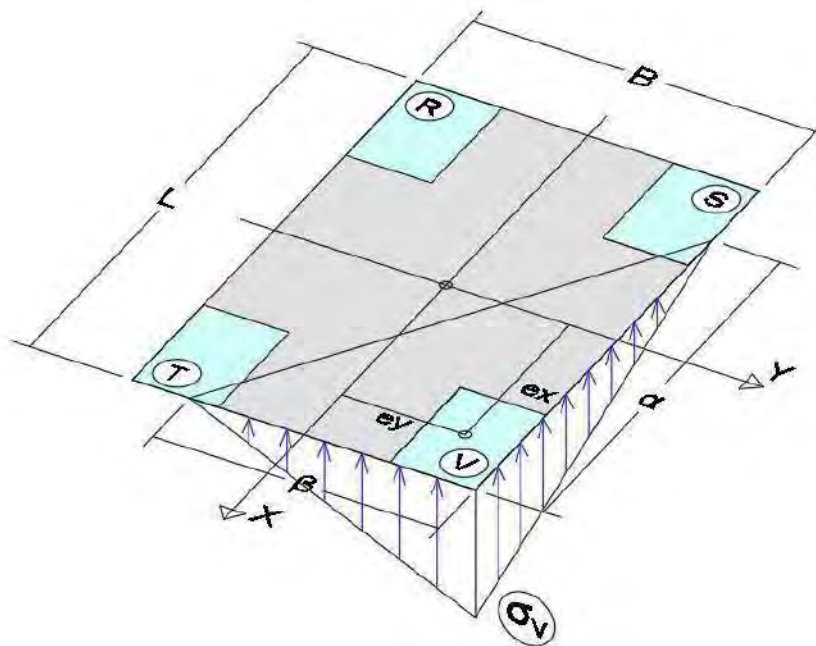
Zona CN (Núcleo Central). Los esfuerzos debajo de la zapata están distribuidos a lo largo de toda el área de zapata, por lo tanto, es la única zona del método, en la que, si las excentricidades caen, no hay redistribución de esfuerzos.

Figura 19. Zona CN de F. Irles y R. Irles



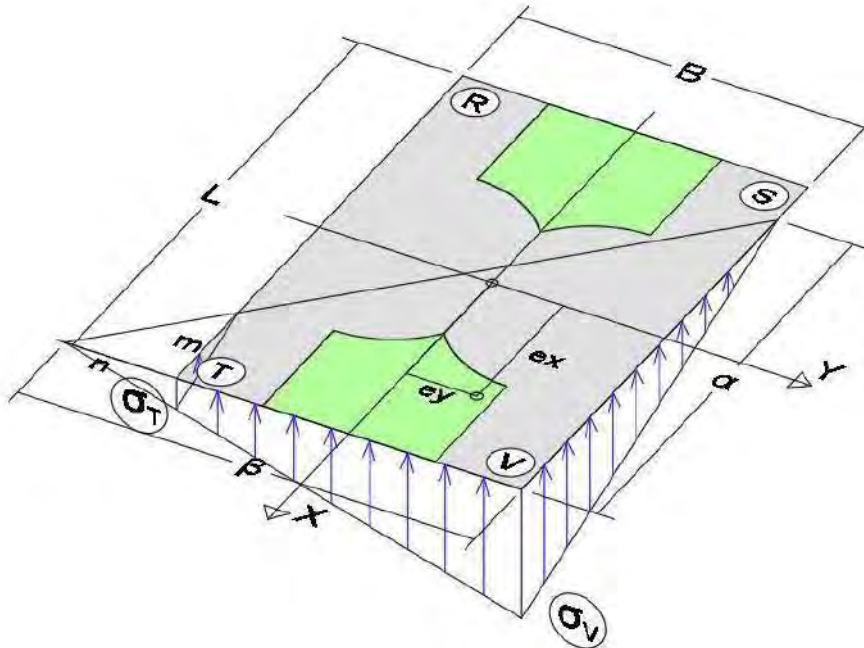
Zona S-R-T. Los esfuerzos se encuentran redistribuidos en la esquina V, además la distribución de las presiones toma forma de un volumen piramidal en aquella esquina.

Figura 20. Zona S-R-T de F. Irles y R. Irles



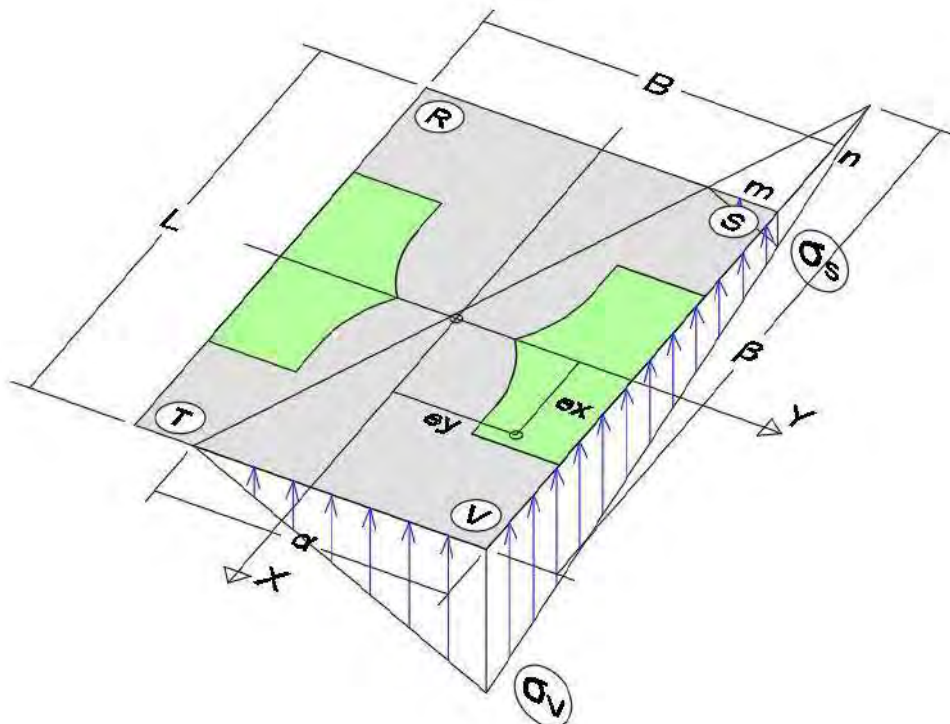
Zona S-R. Los esfuerzos se encuentran redistribuidos en un área trapezoidal, en las esquinas T y V.

Figura 21. Zona S-R de F. Irles y R. Irles



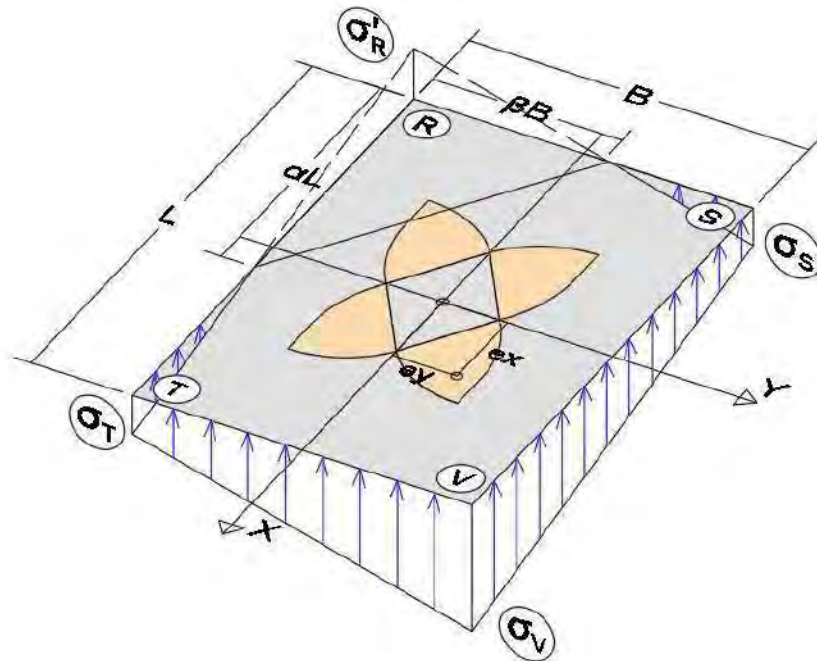
Zona R-T. Los esfuerzos se encuentran redistribuidos en un área trapezoidal, en las esquinas V y S.

Figura 22. Zona R-T de F. Irles y R. Irles



Zona R. Los esfuerzos se encuentran redistribuidos en un área pentagonal irregular, en las esquinas S, R y T.

Figura 23. Zona R de F. Irles y R. Irles



En caso de excentricidades altas, la solución anteriormente planteada para las zapatas ubicadas en los límites de propiedad resulta en soluciones antieconómicas. En estos casos se puede aplicar el método propuesto por Calavera (2000).

Distribución uniforme de presiones y reacción mediante viga aérea. El método propuesto por Calavera (2000), busca centrar la resultante debajo de la zapata, haciendo un equilibrio de fuerzas, considerando la tensión T en la viga aérea superior, es decir, se halla una tensión, tal que, evite el volcamiento y absorba los momentos, de modo que la excentricidad caiga en el centroide de la zapata.

De acuerdo con la figura 24, se realiza el equilibrio de fuerzas:

$$\Sigma F_z = 0$$

$$P = R$$

Además, el equilibrio de momentos:

$$\Sigma M_{o'} = 0$$

$$P(0.5L - Cgx) - M_y - T \cdot c = 0$$

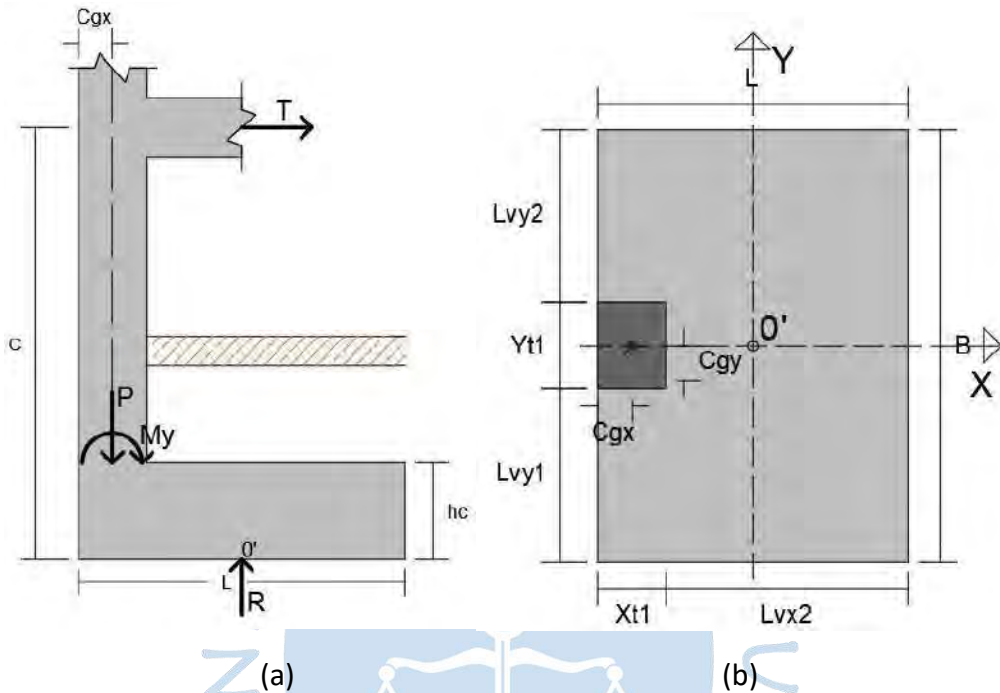
Se obtiene la tensión de la viga área del piso superior:

$$T = \frac{P\left(\frac{L}{2} - Cgx\right) - M_y}{c}$$

La presión del suelo será:

$$\sigma = \frac{P}{BL}$$

Figura 24. Distribución uniforme de presiones y reacción mediante viga aérea, (a) vista de perfil, (b) vista en planta

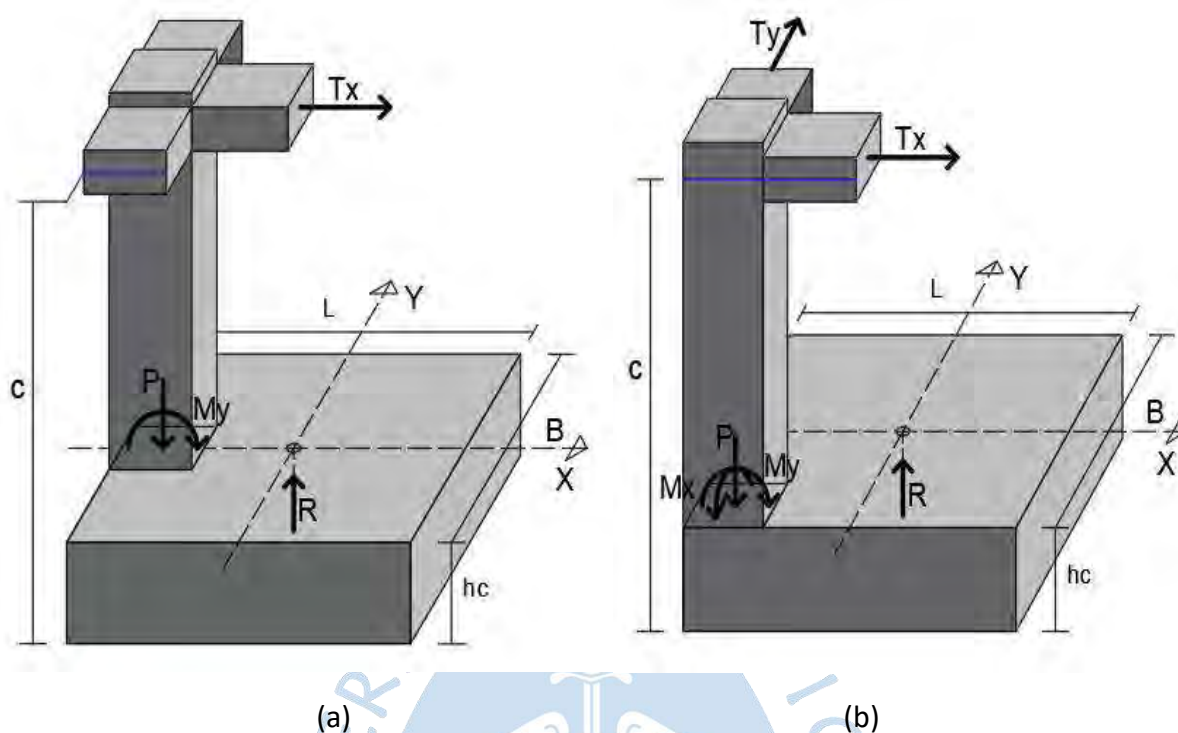


Aplicando este método de la viga aérea, se hace que las excentricidades sean nulas.

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta son:

- La tensión T de la viga del piso superior deberá ser absorbida por una cantidad de acero A_s adicional a la ya existente, la cual se calcula como: $A_s = T / f_y$.
- Debido a que en el software no se considera la fuerza de rozamiento, de acuerdo con Calavera (2000), se puede disminuir el largo L o aumentar el peralte d , para así reducir la tensión T .
- De acuerdo con Calavera (2000), la columna deberá ser diseñada para soportar el momento flector $M = T(c - h_c)$, además de los momentos a los que está sometido la estructura.
- Además, de acuerdo con Calavera (2000), el método obliga a un incremento del ancho de la columna.
- En la zapata medianera, solo se considerará la tensión perpendicular al borde colindante, las otras tensiones, se anulan para la zapata debido a que actúan solamente en las vigas.

Figura 25. (a) Zapata medianera y (b) esquinera, con viga aérea



1.2.8 Materiales que conforman una zapata aislada

Concreto. Según Ottazzi (2015) el concreto es un compuesto elaborado por material cementante, agua y agregado. El cemento generalmente tipo Portland, una vez hidratado produce adherencia química entre los componentes.

El concreto posee una alta resistencia en compresión, pero su resistencia en tracción es baja, de manera que en los cálculos de concreto armado, se suele despreciar el aporte del concreto en tracción.

Acero. Según Ottazzi (2015), debido a que el concreto es un material débil a esfuerzos de tracción, se añade acero de refuerzo que le otorgue la resistencia necesaria a la tracción. Además, se coloca acero de refuerzo para soportar la compresión y la cortante.

Para que exista un correcto funcionamiento del acero es necesario que exista una fuerte adherencia entre el concreto y el acero.

Concreto armado. El concreto armado es el material de construcción que hoy en día predomina en casi todo el mundo.

Los elementos que se utilizan para su fabricación son grava, arena, cemento, agua y barras de refuerzo.

Ventajas del concreto armado. De acuerdo con Ottazzi (2015) existe una gran variedad de ventajas al utilizar concreto armado, por lo que se puede señalar alguna de ellas:

- Es un material muy utilizado y con aceptación universal.

- Es relativamente fácil conseguir los materiales necesarios para su fabricación.
- No se necesita ser un especialista o tener mucha habilidad para su fabricación y utilización. Por lo tanto, No es necesario contar con mano de obra altamente calificada.
- Es económico en comparación con otros materiales. Por lo que este es un factor muy importante cuando se escoge el material de construcción predominante en una obra.
- Puede ser utilizado en la mayoría de los sistemas estructurales, es decir, su uso no está limitado a un tipo o forma estructural particular.
- Tiene buena durabilidad y un costo relativamente bajo de mantenimiento.
- Tiene buena resistencia al fuego. Una estructura de concreto armado sin detalles especiales, tiene una resistencia al fuego entre 1 a 3 horas.
- Puede cumplir funciones estructurales y arquitectónicas de manera apropiada. Es posible obtener diversas texturas y acabados.
- Las estructuras de concreto armado poseen monolitismo e hiperestaticidad.
- Las estructuras de concreto armado poseen masa y rigidez, que permiten que sean menos susceptibles a vibraciones laterales y verticales.

1.2.9 Elementos de cálculo para el diseño de zapatas

Predimensionamiento.

Área de la zapata. De acuerdo con la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.2.2. El área de la base de la zapata debe determinarse a partir de las fuerzas y de los momentos en servicio transmitidos al suelo a través de la zapata, y considerando la resistencia admisible del suelo o la capacidad admisible de los pilotes, establecida en el Estudio de Mecánica de Suelos.

Debido a que, en el diseño de zapatas aisladas se suele hacer ciertas suposiciones en geotecnia y estructuras por separado, este programa tiene la intención de unificar el cálculo de capacidad portante del suelo y el diseño estructural.

La práctica común es:

- Escoger un ancho B y L, y por los métodos de suelos hallar una capacidad portante admisible q_{adm} del suelo para tales dimensiones.
- Luego, por los métodos estructurales, se realiza el cálculo de las dimensiones considerando las cargas y el q_{adm} hallado.

- Luego se realiza una verificación comparando las presiones de contacto del suelo-zapata con la capacidad portante neta.
- Esto genera una incongruencia en el cálculo, debido a que los anchos B y L supuestos inicialmente puede ser distintos a los anchos B y L finales resultado de los cálculos estructurales.

Por esta razón, en el presente software, esta incongruencia se ha resuelto de la siguiente manera:

- El usuario introducirá inicialmente los valores de los anchos B y L de la zapata, sugeridos por el EMS.
- Luego el programa calculará la capacidad portante q_{adm} para tales dimensiones.
- Asimismo, el software calculará las presiones para las mismas dimensiones introducidas y se verificará si tales dimensiones cumplen.
- Si las dimensiones no cumplen, se vuelve a introducir las nuevas dimensiones y el proceso se vuelve repetir hasta que el resultado sea satisfactorio.

Altura de la zapata. De acuerdo con la Norma E060, en el capítulo 15.7, el peralte mínimo de la zapata sobre el refuerzo inferior no debe ser menor de 300 mm para zapatas apoyadas en el suelo. Además, debe cumplir con los requerimientos del capítulo 12 de dicha norma, la cual proporciona los conceptos de la longitud de desarrollo del acero. Por lo que también el acero de la columna embebida en la zapata debe ser verificado.

Sin embargo, para el dimensionamiento del peralte de la zapata:

- Se ha considerado ingresar este valor como un dato de entrada.
- Luego el programa realizará las verificaciones respectivas para punzonamiento y corte.
- Luego, el usuario procederá a introducir el nuevo valor hasta que el resultado de las verificaciones sea satisfactorio.

Cargas y combinaciones. Las cargas que se aplican al diseño de la zapata son aquellas cargas provenientes de la superestructura que son transmitidas a la cimentación por medio de la columna. Estas cargas pueden ser cargas gravitacionales como la carga viva y carga muerta, o por influencia de sismo o viento.

Los tipos de cargas pueden ser de:

- Cargas verticales.
- Cargas de momento Flexionante.

El diseño de la zapata se trabaja en 2 partes:

- Para la verificación de las dimensiones y presiones de contacto se realizan con las cargas en servicio.
- Para las verificaciones de punzonamiento, aplastamiento, corte y cálculo del acero se realizan con las cargas últimas.

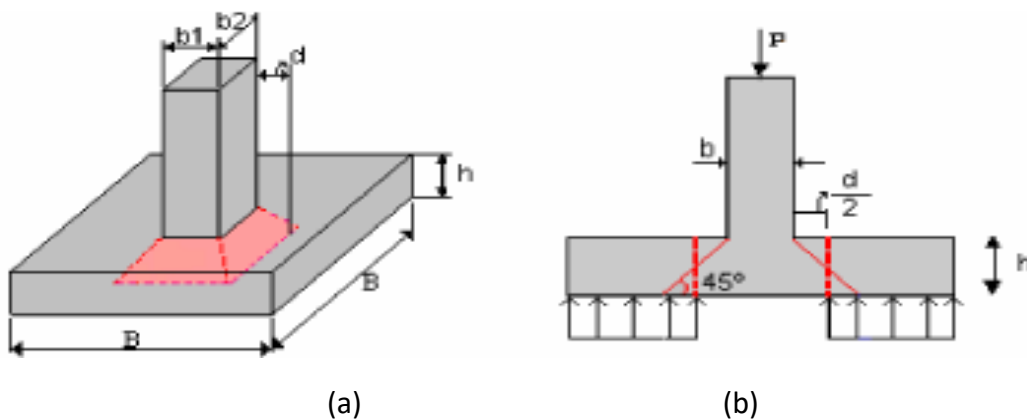
Cargas en servicio. De acuerdo con Ottazzi (2015) las cargas en servicio son aquellas garantizan que ningún punto de la estructura se encuentre sometido a un esfuerzo mayor que el admisible, de manera que la estructura permanece en el rango elástico.

Cargas últimas. De acuerdo con Ottazzi (2015) las cargas últimas son aquellas que garantizan una baja probabilidad de ser excedidas durante el periodo de vida de la estructura, por lo que han sido alteradas por factores de amplificación o mayoración.

Punzonamiento. Según Garza (2000), es el efecto en la zapata que puede llevar a una falla de forma piramidal debido a la aplicación de una carga vertical que se transfiere en la columna o pedestal.

Se hace una simplificación del problema, trabajando con una superficie de falla o área crítica, la cual es perpendicular al plano de la zapata y se encuentra localizada a una distancia $d/2$ de la cara de la columna, pedestal o muro, de este modo se genera una traza en planta, la cual se le denomina perímetro mínimo bo.

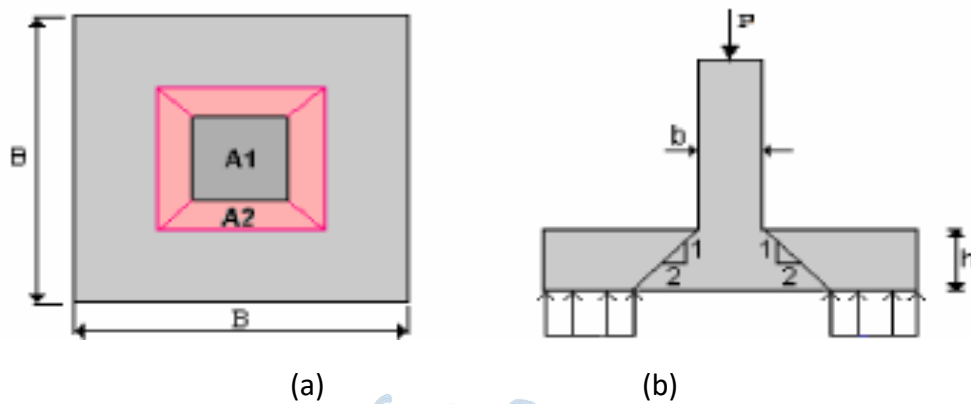
Figura 26. Punzonamiento en zapatas aisladas, (a) efecto de falla por superficie piramidal, (b) simplificación de la sección crítica a una distancia $d/2$ de la cara de la columna



Nota. Adaptado de Diseño de estructuras de cimentación, L.V. Garza. (2000).

Aplastamiento. Según la Norma E060, en el capítulo 15.8.1.1. y el 15.8.1.2. El esfuerzo de aplastamiento ubicado en la superficie de contacto entre la columna y la zapata no debe exceder la resistencia al aplastamiento del concreto. Si esto sucede, se ha reforzar prolongando barras de la columna o añadiendo pasadores mecánicos (Dowels).

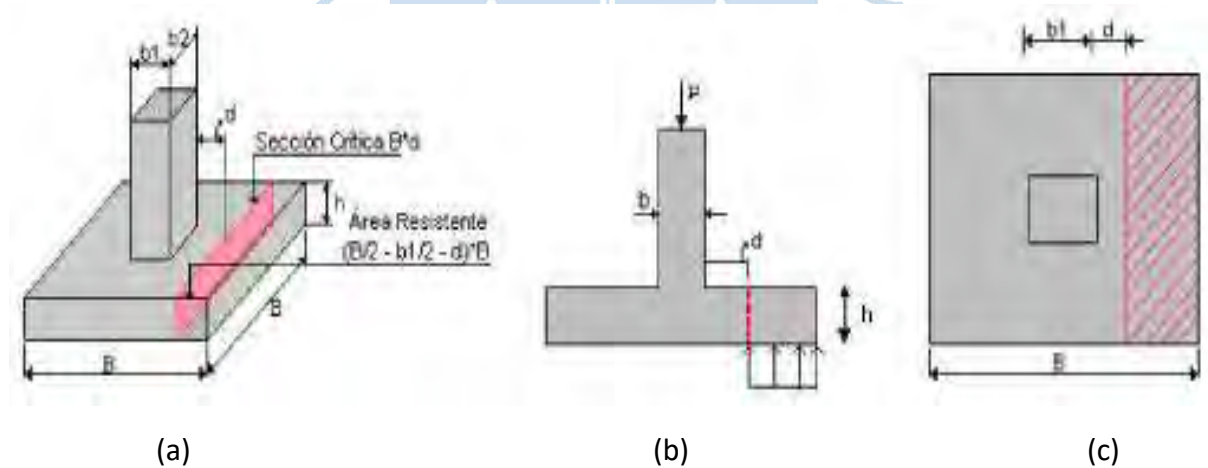
Figura 27. Aplastamiento en zapatas aisladas (a) modelo geométrico, (b) modelo estructural de la verificación del aplastamiento



Nota. Adaptado de Diseño de estructuras de cimentación, L.V. Garza. (2000).

Corte. Según Garza (2000) este efecto en la zapata se comporta similarmente al de una viga, generando una sección crítica que se extiende en un plano a través del ancho total y se encuentra ubicado a una distancia d de la cara de la columna o muro.

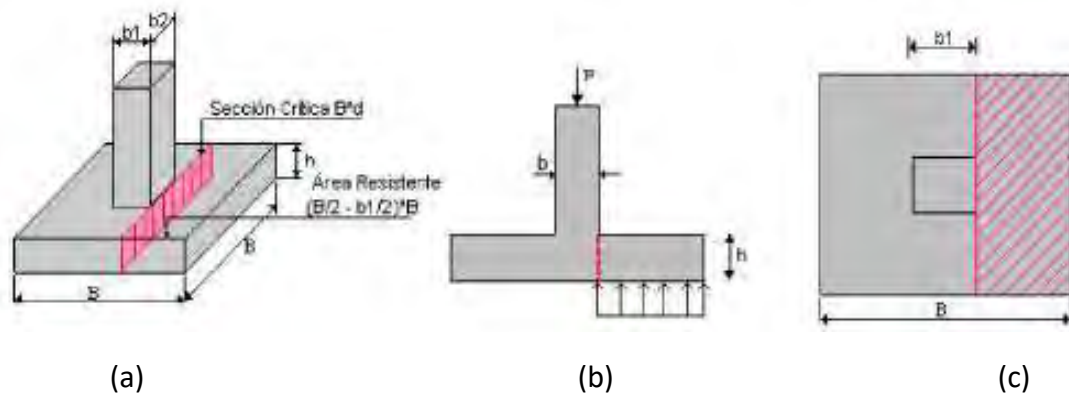
Figura 28. Cortante unidireccional en zapatas aisladas, (a) vista en 3d de la sección crítica, (b) vista en perfil, (c) vista en planta



Nota. Adaptado de Diseño de estructuras de cimentación, L.V. Garza. (2000).

Flexión. Según Garza (2000) este efecto en la zapata se comporta similarmente al de una viga, generando una sección crítica que se extiende en un plano a través del ancho total y se encuentra ubicado justo a la cara de la columna o muro.

Figura 29. Área Crítica para el cálculo de momento en zapatas aisladas, a) vista en 3d de la sección crítica, (b) vista en perfil, (c) vista en planta



Nota. Adaptado de Diseño de estructuras de cimentación, L.V. Garza. (2000).

Cálculo del acero. De acuerdo con Ottazzi (2015) se puede utilizar la siguiente fórmula para calcular el área de acero en el diseño:

$$M_u \leq \phi M_n = \phi \cdot f'_c \cdot B \cdot d^2 \cdot W(1 - 0.59W)$$

La incógnita que debe hallarse es W , los demás datos son conocidos.

Donde:

M_u : Momento último.

M_n : Momento nominal.

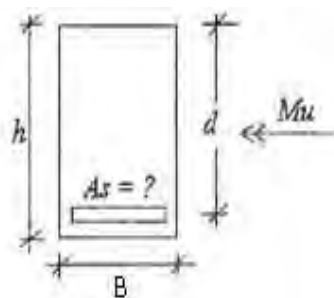
ϕ : Factor de reducción de resistencia, para flexión = 0.9.

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto.

B : Ancho del elemento estructural.

d : Peralte efectivo del elemento estructural.

Figura 30. Sección transversal de una viga sometida a flexión, análisis del cálculo del acero



Nota. Adaptado de Apuntes del curso de concreto armado, G. Ottazzi. (2015).

La fórmula puede acomodarse como una ecuación cuadrática de la siguiente forma:

$$0 = \varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2 \cdot W - 0.59\varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2 \cdot W^2 - Mu$$

$$0.59\varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2 \cdot W^2 - \varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2 \cdot W + Mu = 0$$

De tal manera que:

$$0 = aW^2 + bW + c$$

Donde:

$$a = 0.59\varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2$$

$$b = -\varphi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2$$

$$c = Mu$$

Por lo tanto, aplicando la formula general de ecuaciones de segundo grado se puede hallar la incógnita W de la siguiente manera:

$$W = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Luego, la cuantía de acero puede hallarse mediante:

$$\rho = W \cdot f'c / Fy$$

Asimismo, el área de acero:

$$As = \rho \cdot B \cdot d$$

Donde:

W : Índice de refuerzo, parámetro adimensional.

A_s : Área de Acero longitudinal.

ρ : Cuantía de acero de refuerzo.

$f'c$: Resistencia a la compresión del concreto.

Fy : Límite de fluencia del acero.

Acero mínimo. De acuerdo con Ottazzi (2015), el acero mínimo permite una mejor transición entre el estado agrietado y el no agrietado del concreto en una sección.

La norma E.060 especifica que el área de acero mínimo no será inferior a:

$$A_{smin} = 0.0018B \cdot h_c$$

Donde:

A_{smin} : Área de Acero mínimo.

h_c : Peralte de la zapata.

B: Ancho de la zapata.

Acero máximo. Debido a que sobre reforzar una sección de concreto lleva a una falla frágil, es necesario diseñar la zapata de modo que la cantidad de acero no sobrepase ese límite.

De acuerdo con Ottazzi (2015), el límite de acero para que la falla aun sea dúctil se puede conocer estudiando la falla balanceada, la cual se da cuando el concreto alcanza la deformación de agotamiento en el mismo instante que alcanza la fluencia del acero.

$$A_{sb} = 0.85(0.588\beta_1 \cdot d) \cdot B \cdot \frac{f'_c}{F_y}$$

Donde:

A_{sb} : Área de Acero balanceado.

β_1 : Parámetro del bloque equivalente de presiones o rectángulo de Whitney.

Sin embargo, de acuerdo con la norma E060, en el capítulo 10.3.4, para los elementos sometidos a flexión el acero de refuerzo no deberá exceder de $0.75A_{sb}$, donde A_{sb} es la cantidad de acero en tracción que genera la falla balanceada en tal sección.

Por lo tanto, el área de acero máximo será:

$$A_{smax} = 0.75A_{sb}$$

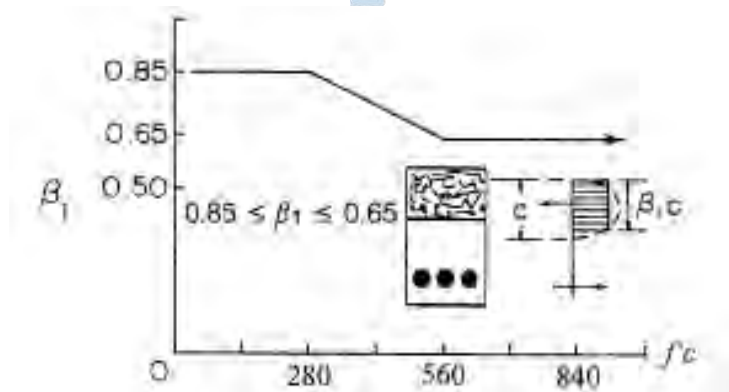
Donde:

$$\beta_1 = 0.85 \rightarrow f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.65 \rightarrow f'_c \geq 560 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 1.05 - 0.714 \frac{f'_c}{1000} \rightarrow 280 < f'_c < 560 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 31. Variación del parámetro β_1



Nota. Adaptado de Apuntes del curso de concreto armado, G. Ottazzi. (2015).

Donde:

A_{smax} : Área de Acero máximo.

β_1 : Parámetro del bloque equivalente de presiones o rectángulo de Whitney.

Momento máximo. Puede darse el caso donde el momento último sea muy grande que al ser introducido en la fórmula $W = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ genere que el discriminante sea negativo, por lo tanto, produzca error en el cálculo. Por esta razón, se ha de verificar un momento máximo en función del acero máximo, despejando las fórmulas anteriormente mostradas de la siguiente manera:

$$A_{smax} = 0.75A_{sb}$$

Luego:

$$\rho_{max} = \frac{0.75A_{sb}}{B \cdot d}$$

Además:

$$A_{sb} = 0.85(0.588\beta_1 \cdot d) \cdot B \cdot \frac{f'_c}{F_y}$$

Reemplazando en:

$$W_{max} = \rho_{max} \cdot \frac{F_y}{f'_c}$$

Se obtiene:

$$W_{max} = 0.75(0.85)(0.588\beta_1)$$

Simplificando:

$$W_{max} = 0.3748\beta_1$$

Entonces el momento máximo resistente será:

$$\phi Mn_{max} = \phi \cdot f'_c \cdot B \cdot d^2 \cdot W_{max} \cdot (1 - 0.59 \cdot W_{max}^2)$$

Donde:

W_{max} : Índice de refuerzo máximo, parámetro adimensional.

ϕMn_{max} : Momento máximo resistente de diseño.



Capítulo 2

Metodología

Para el desarrollo de la tesis, se han evaluado los diferentes métodos existentes para el diseño de zapatas, y se ha escogido un diseño de zapatas aisladas acorde con las diferentes normas peruanas y con las soluciones presentadas anteriormente para caso propuesto.

Inicialmente se han presentado las nomenclaturas de los datos de entrada, luego se han desarrollado todas las fórmulas manuales para el diseño de zapatas aisladas con secciones típicas de columna siguiendo todo el proceso:

- Cálculo de la capacidad portante del suelo por corte y por asentamiento.
- Verificación de presiones (para cargas en servicio con y sin sismo).
- Diseño (para cargas de diseño con y sin sismo) por punzonamiento, corte, aplastamiento y flexión.

Luego se ha desarrollado los códigos en Visual Basic 6.0 para la creación del programa DZAIS 1.0. Asimismo, se han mostrado los códigos utilizados para que el usuario pueda ver paso a paso como se llega desde la pantalla inicial donde se colocarán los datos de entrada hasta los datos de salida.

El programa sigue el siguiente proceso:

- De acuerdo con las solicitudes de entrada, datos ingresados del estudio de mecánica de suelos y las dimensiones iniciales supuestas, se determinará la capacidad portante del suelo y el asentamiento.
- Luego se han de verificar las excentricidades, y queda a criterio del usuario, el redistribuir presiones, aumentar dimensiones o utilizar viga aérea (para el caso de zapata medianera y esquinera).
- Luego se han de verificar las presiones en servicio, si cumple la verificación se procede al diseño, si no cumple la verificación, se aumentan dimensiones.

- Para el diseño, se calcula la presión ultima máxima, con la cual, se verifica el peralte de la zapata para punzonamiento, corte, y aplastamiento. Queda a criterio del usuario aumentar el peralte, las dimensiones o reforzar con Dowels, dependiendo de la verificación.
- Luego de que se han hecho todas las verificaciones, y se han ingresado los nuevos datos o correcciones, el programa dará como resultado el diseño por flexión, es decir, la cantidad de acero requerido para cada dirección de análisis.

Finalmente se han corroborado los resultados obtenidos del programa DZAIS 1.0 comparándolos con los resultados dados por los softwares Geo5 y SAFE dando conformidad que el programa entrega resultados confiables e inmediatos.



Capítulo 3

Consideraciones para el desarrollo del software

3.1 Variables de entrada

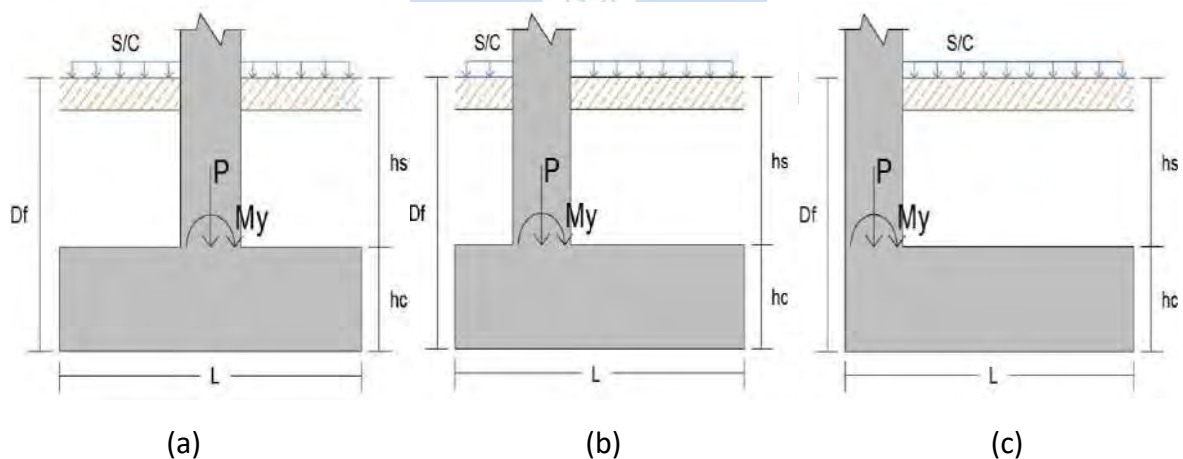
El software pedirá los siguientes datos de entrada:

3.1.1 Seleccionar el tipo de zapata

Se podrá seleccionar el tipo de zapata:

- Zapata aislada concéntrica.
- Zapata aislada excéntrica.
- Zapata aislada medianera.
- Zapata aislada esquinera.

Figura 32. Vista de perfil de los diferentes tipos de zapatas aisladas, (a) zapata aislada concéntrica, (b) zapata aislada excéntrica, (c) zapata aislada medianera y esquinera



3.1.2 Ingresar solicitaciones de carga

Las solicitaciones de carga se ingresarán en las siguientes unidades:

- Cargas axiales en toneladas (ton).
- Momentos en toneladas x metros (ton-m).

La carga viva se ha de multiplicar por un factor de reducción de carga viva, el cual es un valor adimensional, por lo tanto, será un dato que el software pedirá:

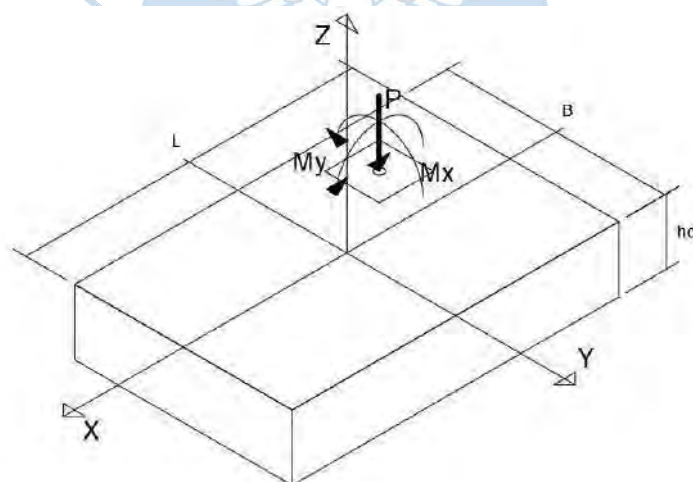
- f_{red} : Factor de reducción de Carga Viva.

Tabla 1. Datos de entrada. Solicitaciones de carga

Solicitaciones de carga	Cargas verticales	Momentos eje X	Momentos eje Y
Carga muerta	PCM	MCMX	MCMY
Carga viva	PCV	MCVX	MCVY
Carga de sismo X	PEQX	-	MEQY
Carga de sismo Y	PEQY	MEQX	-

El sentido de los momentos se tomará positivo de acuerdo con la siguiente imagen:

Figura 33. Orientación de los momentos



3.1.3 Ingresar datos de la zapata

Se ingresa las dimensiones:

- B: Ancho de la zapata (m).
- L: Largo de la zapata (m).
- h_c : Altura o peralte de la zapata (m).

La posición de la columna cuando se trata de zapata excéntrica:

- Lvx1: Voladizo 1 en dirección x (m).

- L_{vy1} : Voladizo 1 en dirección y (m).

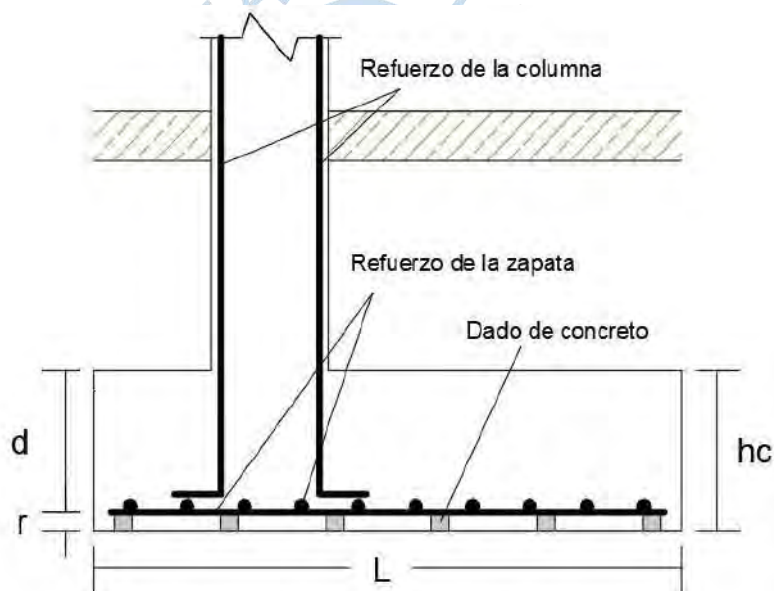
Profundidad a la que se encuentra el fondo de la zapata desde la superficie del terreno:

- D_f : Profundidad del fondo de Zapata (m).

Ingresar datos de los materiales de la zapata:

- f'_c : Resistencia a compresión del concreto (kg/cm^2).
- γ_c : Peso específico del concreto (ton/m^3).
- Φ_z : Diámetro del acero de zapata (m).
- f_y : Límite de fluencia del acero (kg/cm^2).

Figura 34. Datos de entrada de la zapata



3.1.4 Ingresar datos de la columna

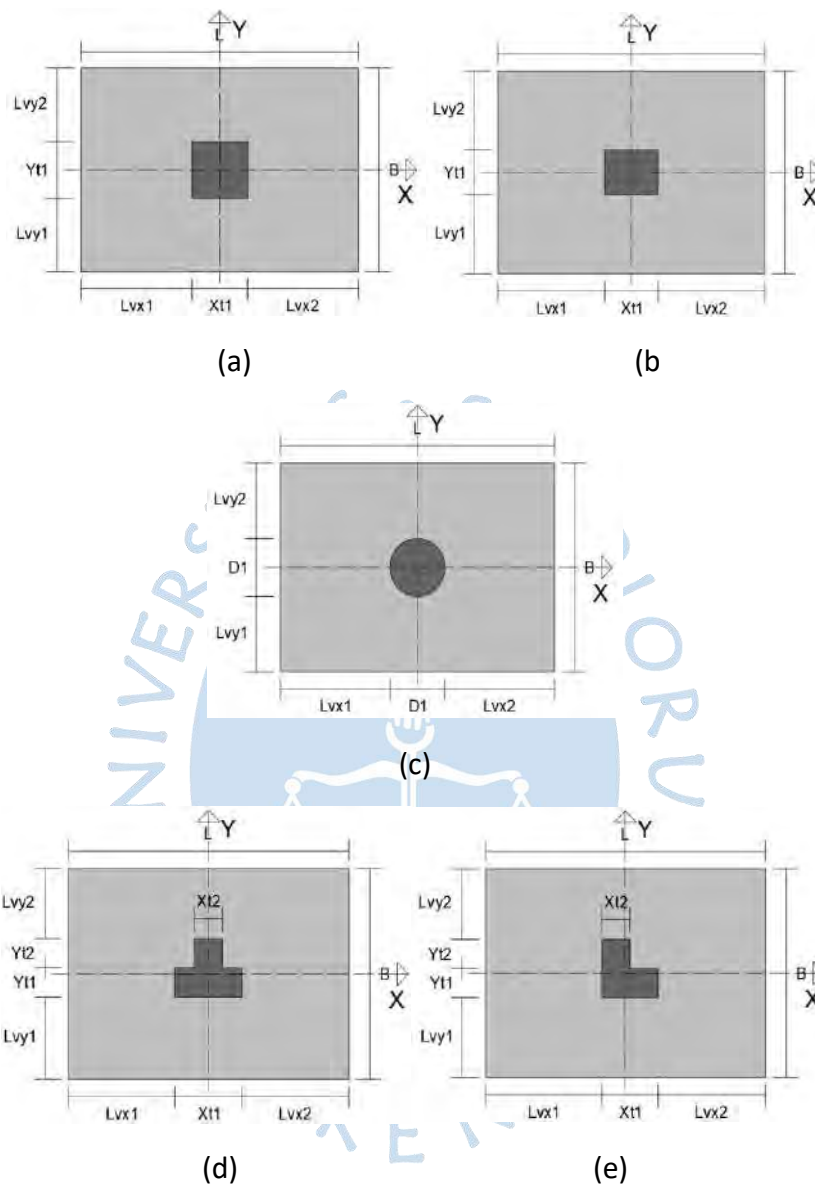
Habiendo seleccionado el tipo de columna, se ingresa las dimensiones de la columna. Ver tabla 2 y figura 35, para cada caso respectivamente:

Tabla 2. Datos de entrada. Dimensiones de la columna

Cuadrada y rectangular	Circular:	T y L
<p>Xt1: Espesor dirección x</p> <p>Yt1: Espesor dirección y</p>	<p>D1: Diámetro de la columna</p>	<p>Xt1: Espesor 1 en dirección x</p> <p>Xt2: Espesor 2 en dirección x</p> <p>Yt1: Espesor 1 en dirección y</p> <p>Yt2: Espesor 2 en dirección y</p>

Los datos de entrada van de acuerdo con la siguiente posición de las columnas:

Figura 35. Tipos de columnas según su forma, (a) columna cuadrada, (b) columna rectangular, (c) columna circular, (d) columna T, (e) columna L



La única excepción es para la columna T de la zapata medianera que tendrá la orientación de acuerdo con la Figura 37.

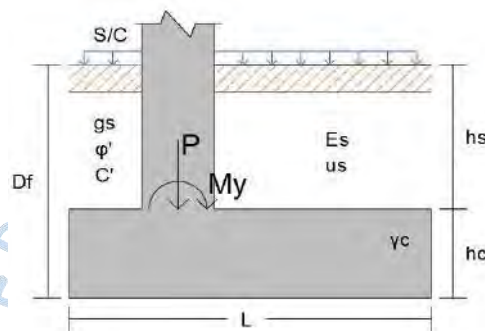
3.1.5 Ingresar datos del suelo

Se deben ingresar los siguientes datos del suelo:

- g_s : Peso específico del suelo (ton / m^3).
- g_{sat} : Peso específico saturado del suelo (ton / m^3).
- ϕ' : Ángulo de fricción del suelo ($^\circ$).

- c' : Cohesión del suelo (ton / m^2).
- μ_s : Módulo de Poisson del suelo.
- E_{prom} : Módulo de elasticidad promedio del suelo (ton / m^2).
- D_w : Profundidad de la napa freática (m).
- H: Altura del estrato desde el fondo de la zapata al suelo rígido (m).
- S_{max} : Asentamiento máximo admisible (cm).

Figura 36. Datos de entrada del suelo



3.1.6 Ingresar otros datos

- S/c: Sobrecarga (ton / m^2).
- Fsg: Factor de seguridad para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo para cargas gravitacionales.
- Fss: Factor de seguridad para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo para cargas con sismo.
- c: Altura desde el fondo de la zapata hasta el eje de la viga aérea del primer piso.

3.2 Procedimiento para condiciones en servicio

El procedimiento que el software realiza sigue la siguiente secuencia:

3.2.1 Cálculo del peralte efectivo de la zapata

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.7, el peralte efectivo no debe ser menor de 300mm para zapatas apoyadas en el suelo.

$$d = h_c - \Phi_z - 0.075$$

Donde:

0.075: Recubrimiento de la zapata.

Φ_z : Diámetro del acero de zapata.

d : Peralte efectivo de la zapata.

3.2.2 Cálculo del centro geométrico de la columna

Debido a que las cargas axiales caen sobre el centroide geométrico de la columna, es necesario este cálculo debido a los diferentes tipos de columna.

Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del centro geométrico de la columna

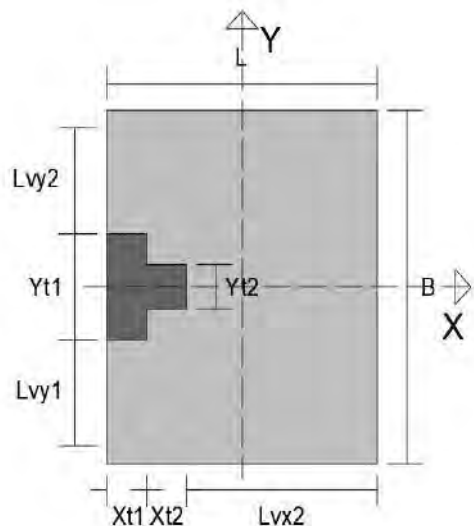
Cuadrada y rectangular	Circular	T	L
$Cgx = 0.5Xt1$ $Cgy = 0.5Yt1$	$Cgx = 0.5D1$ $Cgy = 0.5D1$	$A_1 = Xt1 \cdot Yt1$ $A_2 = Xt2 \cdot Yt2$ $Cgx = 0.5Xt1$ $Cgy = \frac{0.5A_1Yt1 + A_2(Yt1 + 0.5Yt2)}{A_1 + A_2}$ (*)	$A_1 = Xt1 \cdot Yt1$ $A_2 = Xt2 \cdot Yt2$ $Cgx = \frac{0.5A_1 \cdot Xt1 + 0.5A_2Xt2}{A_1 + A_2}$ $Cgy = \frac{0.5A_1Yt1 + A_2(Yt1 + 0.5Yt2)}{A_1 + A_2}$

(*) Para medianera: Todos los diferentes tipos de columnas se han posicionado de acuerdo con la figura 35, la única excepción es para la columna T, que tendrá la siguiente dirección:

$$Cgx = \frac{0.5A_1Xt1 + A_2(Xt1 + 0.5Xt2)}{A_1 + A_2}$$

$$Cgy = 0.5Yt1$$

Figura 37. Zapata medianera con columna T



Donde:

Cgx : Centro geométrico de la columna en la dirección x.

Cgy : Centro geométrico de la columna en la dirección y.

Debido a que se trabajará con diferentes formas de columnas, se ha simplificado las dimensiones de la columna de la siguiente manera:

Tabla 4. Fórmulas para simplificar las dimensiones de la columna

Cuadrada y rectangular	Circular	T y L
$X_t = X_{t1}$ $Y_t = Y_{t1}$	$X_t = D1$ $Y_t = D1$	$X_t = X_{t1}$ $Y_t = Y_{t1} + Y_{t2}$ (*)

(*) Para medianera, cambia la dirección de la columna:

$$X_t = X_{t1} + X_{t2}$$

$$Y_t = Y_{t1}$$

Donde:

X_t : Simplificación de las dimensiones de la columna en la dirección x.

X_{t1} , Y_{t1} , X_{t2} , Y_{t2} : Dimensiones de la columna.

Y_t : Simplificación de las dimensiones de la columna en la dirección y.

3.2.3 Cálculo del desfase del centro geométrico de la columna

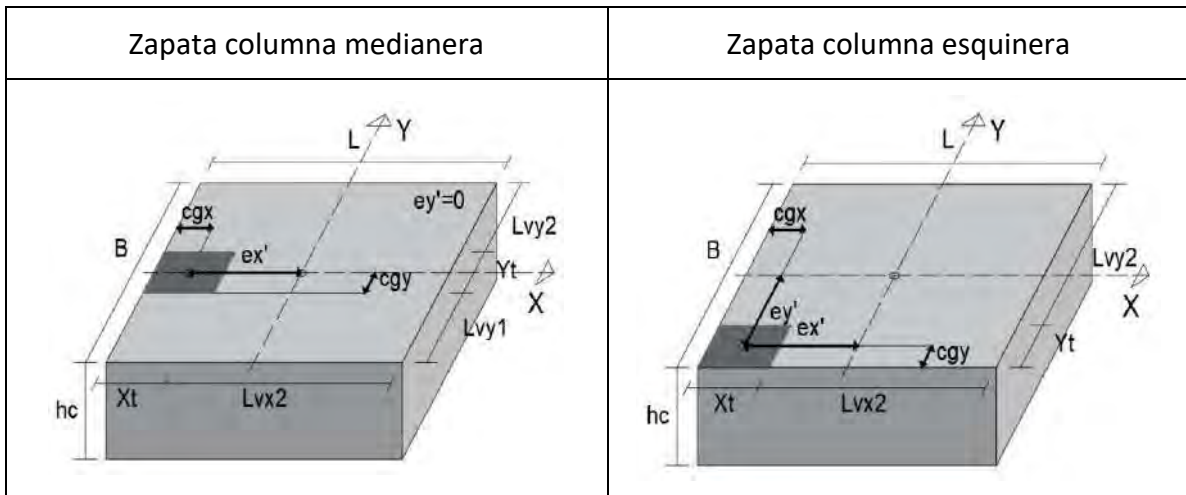
Debido a que se trabajará con distintos tipos de zapatas y columnas, es necesario calcular el desfase o excentricidad existente entre el centro geométrico de la columna y el centro geométrico de la zapata, de manera que se ha generalizado las siguientes formulas:

$$e_x' = L_{vx1} + C_{gx} - 0.5L$$

$$e_y' = L_{vy1} + C_{gy} - 0.5B$$

Tabla 5. Coordenadas (e_x' , e_y') del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata

Zapata columna centrada	Zapata columna excéntrica



Donde:

e_x' : Coordenada en dirección x del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata.

e_y' : Coordenada en dirección y del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata.

3.2.4 Cálculo de los voladizos de zapata

Los voladizos de cada tipo de zapatas se calcularán de la siguiente forma:

Tabla 6. Fórmulas para el cálculo de voladizos

Zapata Centrada	Zapata Excéntrica	Zapata Medianera	Zapata Esquinera
$Lvx1 = 0.5L - Cgx$ $Lvy1 = 0.5B - Cgy$	$Lvx1 = \text{Dato de ingreso}$ $Lvy1 = \text{Dato de ingreso}$	$Lvx1 = 0$ $Lvy1 = 0.5B - Cgy$	$Lvx1 = 0$ $Lvy1 = 0$
$Lvx2 = (L - Xt - Lvx1)$ $Lvy2 = (B - Yt - Lvy1)$			
$Lvx = \text{se escoge el mayor de entre } Lvx1 \text{ y } Lvx2$ $Lvy = \text{se escoge el mayor de entre } Lvy1 \text{ y } Lvy2$			

Donde:

Lvx : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje x.

$Lvx1, Lvx2, Lvy1, Lvy2$: voladizos en cada dirección respectivamente.

Lvy : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje y.

3.2.5 Cálculo de las cargas en servicio

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.2.2, el área de la base de la zapata debe determinarse a partir de las fuerzas y de los momentos no amplificados (en servicio) transmitidos al suelo a través de la zapata, y considerando la resistencia admisible del suelo o la capacidad admisible de los pilotes, establecida en el Estudio de Mecánica de Suelos. Sin embargo, las dimensiones son datos de ingreso que han de ser verificados comparando los esfuerzos por acción de las cargas y la capacidad portante del suelo.

El cálculo de las presiones por acción de las cargas se debe realizar con las cargas en servicio de acuerdo con la Norma E020 en el artículo 19.

Además, en el capítulo 15.2.5 de la Norma E060, indica que, para la determinación de los esfuerzos en el suelo, se puede considerar una reducción al 80% de las acciones del sismo.

Por lo tanto, las combinaciones respectivas en servicio serán:

Para cargas gravitacionales sin sismo:

$$CS = CM + CV$$

Para cargas gravitacionales con sismo:

$$CS = CM + 0.8EQX$$

$$CS = CM - 0.8EQX$$

$$CS = 0.75(CM + CV \cdot f_{red} + 0.8EQX)$$

$$CS = 0.75(CM + CV \cdot f_{red} - 0.8EQX)$$

Debido a que el software trabaja de forma uniaxial con y sin sismo, y biaxial con y sin sismo, se deben calcular las diferentes combinaciones para cada caso respectivamente de manera que se han desarrollado las fórmulas para cargas axiales como para momentos en las tablas que se encuentran en el Apéndice A formulario.

La cantidad de combinaciones para cada análisis serán:

- Para el análisis uniaxial sin sismo se calcula 1 combinación.
- Para el análisis uniaxial con sismo se calcula 5 combinaciones.
- Para el análisis biaxial sin sismo se calcula 1 combinación.
- Para el análisis biaxial con sismo se calcula 9 combinaciones.

3.2.6 Cálculo de las excentricidades en servicio

El desfase entre los centroides geométricos de la columna y la zapata, más la excentricidad generada por los momentos en la base de la columna producen una

excentricidad total medida desde el centroide de la zapata, la cual para efectos de cálculo se tomará en valor absoluto de la siguiente manera:

Para la dirección x:

$$e_x = \left| \frac{M_y}{P} + e'_x \right|$$

Para la dirección y:

$$e_y = \left| \frac{M_x}{P} + e'_y \right|$$

3.2.7 Cálculo de la capacidad portante admisible

Debido a la existencia de excentricidad se debe calcular las nuevas dimensiones efectivas aplicándose para cada combinación de la siguiente forma:

$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_y$$

Luego, debido a la influencia del agua, se pueden dar 3 casos:

- Cuando la napa freática se encuentra encima del fondo de cimentación se encuentra:

$$0 \leq D_w \leq D_f$$

$$g_m = g_p$$

$$g_p = g_{sat} - g_w$$

$$q = D_w g_s + (D_f - D_w) g_m$$

- Cuando la napa freática se encuentra entre el fondo de cimentación y a una distancia del ancho menor de la cimentación:

$$D_f < D_w < D_f + Bm$$

$$g_p = g_{sat} - g_w$$

$$g_m = g_p + \left(\frac{D_w - D_f}{Bm} \right) (g_s - g_p)$$

$$q = g_m D_f$$

- Cuando la napa freática se encuentra debajo y a una distancia del ancho menor de la cimentación:

$$D_f + Bm \leq D_w$$

$$g_m = g_s$$

$$q = g_m D_f$$

Donde:

Bm : Mínimo valor de las dimensiones reales de zapata.

D_f : profundidad del fondo de zapata.

D_w : Profundidad a la que se encuentra la napa freática.

g_m : Simplificación del peso específico del suelo al evaluar la napa freática.

g_s : Peso específico del suelo.

g_{sat} : Peso específico saturado del suelo.

g_w : Peso específico del agua.

q : Presión efectiva del suelo, diferencia de entre el esfuerzo total y la presión de poros.

3.2.8 Cálculo de la capacidad portante última por el método de Meyerhof

La capacidad portante última por corte se ha de calcular utilizando la formula general propuesta por Meyerhof para cada combinación.

Tabla 7. Fórmulas para cálculo de los factores carga

$si \quad \varphi' = 0$ $N_c = 5.14$	$si \quad \varphi' > 0$ $N_c = (N_q - 1)Cot\varphi'$
$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$ $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan(\varphi')$	

Tabla 8. Fórmulas para cálculo de factores de forma

$$F_{cs} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \varphi'$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$$

Tabla 9. Fórmulas para cálculo de los factores de la inclinación de carga

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\varphi'}\right)^2$$

Sin embargo, el presente software no considera cargas inclinadas, por lo que los valores F_{ci} , F_{qi} y $F_{\gamma i}$ se consideran 1.

Tabla 10. Fórmulas para cálculo de los factores de profundidad

Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
$\varphi' = 0$		$\varphi' > 0$	
Si $D_f / Bm \leq 1$ $k = D_f / Bm$	Si $D_f / Bm > 1$ $k = \tan^{-1}(D_f / Bm)$	Si $D_f / Bm \leq 1$ $k = D_f / Bm$	Si $D_f / Bm > 1$ $k = \tan^{-1}(D_f / Bm)$
$F_{cd} = 1 + 0.4k$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$		$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi'}$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 k$ $F_{\gamma d} = 1$	

La capacidad portante última se ha de calcular para cada combinación:

$$B_{ef} = \text{mínimo valor de entre } L' \text{ y } B'$$

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5 g_m B_{ef} N_{\gamma'} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

3.2.9 Cálculo de la capacidad portante admisible por corte

Para la capacidad portante máxima admisible por corte, se realizará el cálculo para la condición estática y para la condición con sismo. Cada cual se dividirá por su respectivo factor de seguridad.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

3.2.10 Cálculo de la capacidad portante por asentamiento

Para la capacidad portante por asentamiento se realizan los siguientes cálculos:

Ancho equivalente:

$$B_e = \sqrt{\frac{4B' \cdot L'}{\pi}}$$

Módulo de elasticidad del concreto:

$$E_f = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{f'c} \quad \text{ton} / m^2$$

Factor de efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo:

$$I_G = 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]^{-1}$$

Factor de corrección de rigidez de la zapata:

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_0} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3}$$

Factor de corrección de empotramiento de zapata:

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \mu_s - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)}$$

Capacidad portante permisible:

$$q_{adm} = \frac{S_{\max} E_{prom}}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu_s^2)}$$

De acuerdo con la Norma E050, en el artículo 22.2 la capacidad portante admisible se obtiene escogiendo el menor valor de entre la capacidad portante por corte y la capacidad portante por asentamiento:

$$q_{adm} = \begin{cases} \frac{q_u}{FS} \\ q_{adm} \end{cases}$$

3.2.11 Cálculo del asentamiento

De acuerdo con la Norma E050, en el artículo 17.2, para el cálculo del asentamiento en cimentaciones apoyadas en suelos cohesivos y granulares, se considera la carga propuesta por la Norma E020 Cargas. Sin embargo, debido a que el sismo es una carga horizontal y temporal, se suele diseñar con las cargas verticales y permanentes, esto es, las combinaciones en servicio donde solo intervienen cargas gravitacionales de carga muerta y carga viva reducida.

$$PS = PM + PV \cdot F_{red}$$

Luego, se hallan las presiones en servicio de esta combinación, escogiendo el máximo valor para hallar el asentamiento elástico con la siguiente fórmula:

$$S_e = \frac{\sigma_{\max}}{E_0} B_e I_G I_R I_E (1 - \mu_s^2)$$

3.2.12 Cálculo de la capacidad portante neta

Es el resultado de restar la capacidad portante admisible y los esfuerzos producidos por peso de la zapata, peso del terreno sobre la zapata y la sobrecarga.

$$\sigma_{ns} = q_{adm.g} - [g_s \cdot h_s + \gamma_c \cdot h_c + S / c]$$

$$\sigma_{nEQ} = q_{adm.s} - [g_s \cdot h_s + \gamma_c \cdot h_c + S / c]$$

Donde:

$q_{adm.g}$: Capacidad portante admisible para condiciones estáticas.

$q_{adm.s}$: Capacidad portante admisible para condiciones dinámicas-

σ_{ns} : Capacidad portante neta en condición estática.

σ_{nEQ} : Capacidad portante neta en condiciones dinámicas.

S/c: Sobrecarga.

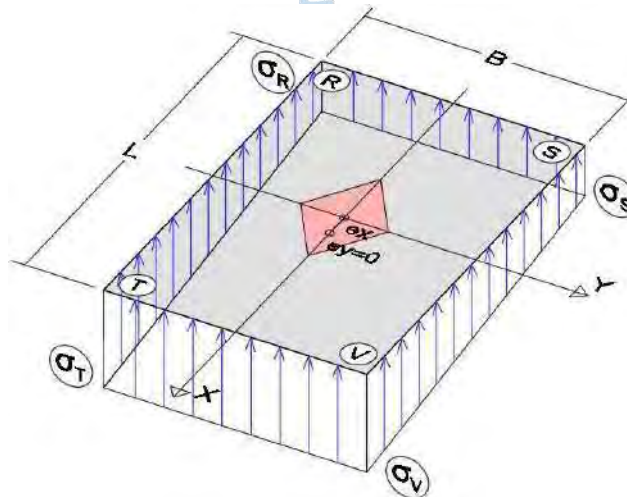
3.2.13 Cálculo de las presiones en servicio

Para flexión uniaxial, el programa calcula las presiones en servicio de contacto entre la zapata y el terreno por medio de las fórmulas de flexo-compresión y por redistribución de presiones.

Para flexión biaxial, el programa calcula las presiones en servicio por medio de las fórmulas de F. Irles y R. Irles (1992).

Para el análisis uniaxial. Se aplican las siguientes fórmulas:

Figura 38. Presiones de contacto para el análisis uniaxial



$$\sigma_R = \sigma_S = \frac{P}{A_{zap}} \left(1 - \frac{6e_x}{L} \right)$$

$$\sigma_T = \sigma_V = \frac{P}{A_{zap}} \left(1 + \frac{6e_x}{L} \right)$$

Para el análisis uniaxial con presiones redistribuidas. Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.2.3, en el cálculo de las presiones de contacto entre zapata y suelo no se deben considerar tracciones, debido a que la zapata se estaría despegando del suelo.

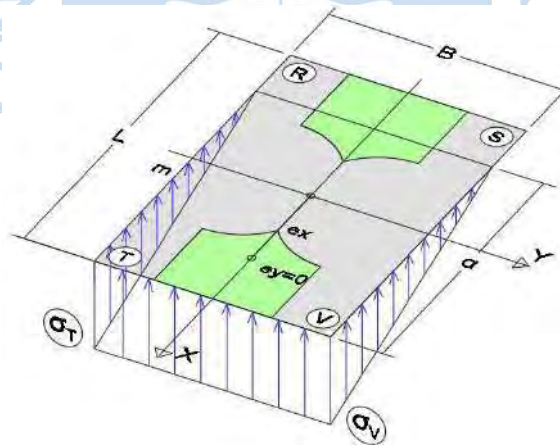
En el presente software, esta redistribución queda a criterio y decisión del usuario, por lo tanto, se hará la siguiente verificación:

- $e_x \leq L/6 \rightarrow$ "Cumple por excentricidad".
- $e_x > L/6 \rightarrow$ "Redistribuir presiones o aumentar dimensiones".

De esta manera, se podrá redistribuir o aumentar las dimensiones, de modo que el $L/6$ aumente y la excentricidad sea menor a este valor.

Para la redistribución de esfuerzos en el análisis uniaxial para cada combinación.

Figura 39. Presiones de contacto redistribuidas para el análisis uniaxial



$$\alpha = 3(0.5L - e_x)$$

$$\sigma_T = \sigma_V = \frac{2P}{\alpha \cdot B}$$

Para el análisis biaxial. Estas fórmulas se calculan para cada combinación:

Caso CN

Se da cuando las excentricidades caen en los intervalos de:

$$0 \leq \frac{e_x}{L} \leq \frac{1}{6} \quad \wedge \quad e_y \leq \frac{-B \cdot e_x}{L} + \frac{B}{6}$$

Entonces las presiones en cada esquina se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\sigma_R = \frac{PS}{BL} \left(1 - \frac{6e_x}{L} - \frac{6e_y}{B} \right)$$

$$\sigma_S = \frac{PS}{BL} \left(1 - \frac{6e_x}{L} + \frac{6e_y}{B} \right)$$

$$\sigma_T = \frac{PS}{BL} \left(1 + \frac{6e_x}{L} - \frac{6e_y}{B} \right)$$

$$\sigma_V = \frac{PS}{BL} \left(1 + \frac{6e_x}{L} + \frac{6e_y}{B} \right)$$

Caso S-R-T

Se da cuando las excentricidades caen en los intervalos de:

$$\frac{L}{4} \leq e_x < \frac{L}{2} \quad \wedge \quad \frac{B}{4} \leq e_y < \frac{B}{2}$$

Para calcular α y β :

$$\alpha = 2L - 4e_x$$

$$\beta = 2B - 4e_y$$

Para calcular las presiones en cada esquina:

$$\sigma_V = \frac{6PS}{\alpha \cdot \beta}$$

$$\sigma_R = \sigma_S = \sigma_T = 0$$

Caso S-R

Se da cuando las excentricidades caen en los intervalos de:

$$\left(\frac{L}{6} < e_x \leq \frac{L}{4} \quad \wedge \quad 0 \leq e_y < \frac{3Be_x}{L} - \frac{B}{2} \right) \quad \vee \quad \left(\frac{L}{4} < e_x < \frac{L}{2} \quad \wedge \quad 0 \leq e_y < \frac{B}{4} \right)$$

Si la excentricidad $e_y = 0$, considerar $e_y = 0.0001$

Para calcular μ y δ :

$$\mu = 2 - \frac{4e_y}{B}$$

$$\delta = \frac{8 - 3\mu + \sqrt{(12\mu - 3\mu^2 - 8)}}{12 - 6\mu}$$

Para calcular α y β :

$$\beta = \delta \cdot B$$

$$\alpha = 4\delta \left(\frac{L}{2} - e_x \right) \left(\frac{\delta^3 - (\delta - 1)^3}{\delta^4 - (\delta - 1)^4} \right)$$

Para calcular m y n:

$$m = \alpha \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

$$n = B \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

Para las presiones en cada esquina:

$$\sigma_v = \frac{6PS \cdot \delta^2}{\alpha \cdot B(\delta^3 - (\delta - 1)^3)}$$

$$\sigma_r = \sigma_v \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

Caso R-T

Se da cuando las excentricidades caen en los intervalos de:

$$\left(0 \leq e_x < \frac{L}{4} \wedge \frac{B \cdot e_x}{3L} + \frac{B}{6} < e_y \leq \frac{B}{4} \right) \vee \left(0 \leq e_x < \frac{L}{4} \wedge \frac{B}{4} < e_y < \frac{B}{2} \right)$$

Si la excentricidad $e_x = 0$, considerar $e_x = 0.0001$

Para calcular μ y δ :

$$\mu = 2 - \frac{4e_x}{L}$$

$$\delta = \frac{8 - 3\mu + \sqrt{(12\mu - 3\mu^2 - 8)}}{12 - 6\mu}$$

Para calcular α y β :

$$\beta = \delta \cdot L$$

$$\alpha = 4\delta \left(\frac{B}{2} - e_y \right) \left(\frac{\delta^3 - (\delta - 1)^3}{\delta^4 - (\delta - 1)^4} \right)$$

Para calcular m y n:

$$m = \alpha \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

$$n = L \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

Para las presiones en cada esquina:

$$\sigma_v = \frac{6PS \cdot \delta^2}{\alpha \cdot L(\delta^3 - (\delta - 1)^3)}$$

$$\sigma_s = \sigma_v \left(1 - \frac{1}{\delta} \right)$$

$$\sigma_R = \sigma_T = 0$$

Caso R

Se da cuando las excentricidades caen en los intervalos de:

$$\left(0 < e_x < \frac{L}{4} \quad \wedge \quad e_y > \frac{-B \cdot e_x}{L} + \frac{B}{6} \right) \quad \wedge \quad \left(e_y \leq \frac{B \cdot e_x}{3L} + \frac{B}{6} \quad \wedge \quad e_y \geq \frac{3B \cdot e_x}{L} - \frac{B}{2} \right)$$

Para calcular A y C:

$$A = 4 \left[\frac{e_x}{L} + \frac{e_y}{B} \right]$$

$$C = \frac{B \cdot e_x}{L \cdot e_y}$$

Para calcular el valor de v es necesario resolver la siguiente ecuación de 8vo grado:

$$\begin{aligned} & \left[(C+1)^2 \right] v^8 + \left[-C(A+4)^2 - 2(A+2)(C-1)^2 \right] v^7 + 6A \left[2C(A+1) + C^2 + 1 \right] v^6 \\ & + \left[-36A^2C + 2(C^2+1)(A+4)^2 - 2(C-1)^2(8+4A-3A^2) \right] v^5 \\ & + \left[-12A(C-1)^2(3A-4) + (C+1)^2(9A^2+12A-8) - 24A(C^2+1)(A+4) \right] v^4 \\ & + \left[-4C(A+4)^2 + 72A^2(C^2+1) + 8(C-1)^2(6A^2-A-2) \right] v^3 \\ & + 12A \left[2C(5A+6) + (C^2+1)(6-9A) \right] v^2 - \left[144A^2C \right] v + 4(C+1)^2(3A-2)^2 = 0 \end{aligned}$$

De acuerdo con F. Irles y R. Irles (1992), al resolver la ecuación de 8vo grado se pueden encontrar dos soluciones, soluciones $0 < v_1 < v_2 < 1$, pero la solución mayor, v_2 , no da resultados correctos al problema, pues lleva a generar valores de $u < 0$, los cuales se encuentran fuera del rango del problema.

Asimismo, Bocanegra (2005) utiliza el método iterativo de regla falsi, colocando un intervalo de 0 a 0.7 como dato inicial.

Para calcular μ :

$$\mu = v \frac{6A - (A+4)v}{(3A - 2 - v^2)}$$

Para calcular α y β :

$$\beta = \frac{\mu(v^2 - 2C) + 2v^2(C - 1)}{(C + 1)(v^2 - 2)}$$

$$\alpha = \frac{\mu(C \cdot v^2 - 2) - 2v^2(C - 1)}{(C + 1)(v^2 - 2)}$$

$$\sigma'_R = \frac{2PS \cdot \alpha \cdot \beta}{L \cdot B \left(\alpha + \beta - 2\alpha \cdot \beta + \frac{\alpha^2 \cdot \beta^2}{3} \right)}$$

Para las presiones en cada esquina:

$$\sigma_V = \sigma'_R \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} - 1 \right)$$

$$\sigma_S = \sigma'_R \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)$$

$$\sigma_T = \sigma'_R \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$

$$\sigma_R = 0$$

Donde:

$\sigma_V, \sigma_S, \sigma_T, \sigma_R$: Presiones debajo la zapata en cada esquina respectivamente.

σ'_R : Artificio para el cálculo de las presiones en el caso R.

L, B: Dimensiones de la zapata.

α, β, m, n : Dimensiones producidas en la distribución de presiones.

e_x, e_y : Excentricidades en las dimensiones x e y, respectivamente.

P: Carga vertical aplicada en la base de la columna.

A, C, μ, δ, v : Variables utilizadas en el desarrollo del método de F. Irlles y R. Irlles.

Para el caso de redistribución uniforme debajo de la zapata y reacción en la viga aérea. Se aplicará solo en medianera y esquinera a criterio del usuario, después de la verificación.

El método hace que las excentricidades totales se anulen y se hagan cero, y por tanto las presiones debajo de la zapata se hacen uniformes.

La viga aérea deberá ser diseñada para soportar las tensiones resultantes de absorber los momentos.

Las tensiones se hallan para cada combinación de la siguiente manera:

Para medianera:

$$T_x = \frac{PS(0.5L - Cgx) - MS_y}{c}$$

Para esquinera:

$$T_x = \frac{PS(0.5L - Cgx) - MS_y}{c}$$

$$T_y = \frac{PS(0.5B - Cgy) - MS_x}{c}$$

Donde:

B, L : Dimensiones de la zapata.

c : Altura desde el fondo de la zapata hasta el eje de la viga aérea del primer piso.

Cgx, Cgy : Centros geométrico de la columna en la dirección x e y , respectivamente.

MS_x, MS_y : Momentos en servicio que gira en el eje x e y , respectivamente.

PS : Carga vertical en servicio aplicada en la base de la columna.

T_x, T_y : Tensión en la viga superior en la dirección x e y , respectivamente.

Se verifica las presiones en Servicio. Si la presión en flexión uniaxial o biaxial para cada combinación, y para cada condición estática y sísmica es menor que la capacidad portante neta para su respectiva condición entonces cumple:

$$\text{Si } \sigma_{smax} \leq \sigma_{ns} \rightarrow \text{"Cumple presiones en servicio"}$$

$$\text{Si } \sigma_{smax} \leq \sigma_{nEQ} \rightarrow \text{"Cumple presiones en servicio"}$$

Sino, el software arrojará un mensaje: Aumentar dimensiones.

$$\sigma_{smax} > \sigma_{ns} \rightarrow \text{"Aumentar dimensiones de la zapata"}$$

$$\sigma_{smax} > \sigma_{nEQ} \rightarrow \text{"Aumentar dimensiones de la zapata"}$$

Donde:

σ_{smax} : Presión máxima debajo de la zapata en condiciones de servicio.

σ_{ns} : Capacidad portante neta en condición estática.

σ_{nEQ} : Capacidad portante neta en condición dinámica.

3.3 Procedimiento para condiciones últimas de diseño

3.3.1 Cálculo de las cargas últimas

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.2.1, indica que las zapatas deben diseñarse para resistir las cargas amplificadas (Diseño por Resistencia) acorde con el capítulo 9 de la misma norma.

Por lo tanto, las combinaciones respectivas por resistencia serán:

Para cargas gravitacionales sin sismo:

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

Para cargas gravitacionales con sismo:

$$U = 0.9CM + EQX$$

$$U = 0.9CM - EQX$$

$$U = 1.25(CM + CV) + EQX$$

$$U = 1.25(CM + CV) - EQX$$

Al igual que las combinaciones en servicio, se han desarrollado las fórmulas para cargas axiales como para momentos en las tablas que se encuentran en el Apéndice A formulario.

3.3.2 Cálculo de las presiones últimas

Al igual que en presiones en servicio, el diseño por flexión uniaxial se ha desarrollado por medio de las fórmulas de flexo-compresión en zapatas, y para el diseño de flexión biaxial por el método propuesto por F. Irles y R. Irles.

La redistribución de presiones y la utilización de la viga aérea queda a criterio del usuario.

Para el diseño se escogerá el máximo valor de las presiones últimas: $\sigma_{u\max}$

3.3.3 Cálculos para verificación del punzonamiento

Para calcular el punzonamiento, es necesario calcular el área crítica A_o que se ha de punzonar, esta área dependerá del tipo de la columna y de la posición en la que se encuentre.

Las fórmulas para cada caso respectivo se encuentran en la sección de punzonamiento en el apéndice A: Formulario.

Punzonamiento. La cortante bidireccional o punzonamiento para cada combinación se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_p = \sigma_{u\max} (A_{Zap} - A_o)$$

Resistencia contra el punzonamiento. La resistencia contra el cortante bidireccional o punzonamiento para cada combinación se calcula escogiendo el menor valor de las siguientes formulas:

$$V_{pc} = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta_p} \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{pc} = 0.27 \left(\frac{\alpha_o \cdot d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{pc} = 1.06 \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

Se verifica el punzonamiento.

Si $V_p \leq \phi V_{pc} \rightarrow$ "Cumple punzonamiento".

$V_p > \phi V_{pc} \rightarrow$ "No cumple punzonamiento, aumentar peralte de zapata".

Donde:

b_o : Perímetro del área crítica del punzonamiento.

d : Peralte efectivo de la zapata.

V_p : La cortante bidireccional o punzonamiento.

α_o : 40 para zapatas centradas y excéntricas, 30 para medianeras y 20 para esquineras.

β_p : Relación entre la máxima dimensión y la mínima dirección de la columna.

$\phi = 0.85$, de acuerdo con la norma E060 en el capítulo 9.3.2.3

ϕV_{pc} : Resistencia contra el cortante bidireccional o punzonamiento.

$\sigma_{u\max}$: Presión máxima debajo de la zapata en condiciones últimas.

3.3.4 Cálculos para verificación de resistencia al aplastamiento

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 10.17.1 para verificar la conexión columna sobre zapata, es necesario calcular las siguientes áreas:

Tabla 11. Fórmulas para áreas para cálculo de aplastamiento

Zapata Centrada y Excéntrica	Zapata Medianera	Zapata Esquinera
$A_1 = X_t \cdot Y_t$	$A_1 = X_t \cdot Y_t$	$A_1 = X_t \cdot Y_t$
$A_2 = (X_t + 4d)(Y_t + 4d)$	$A_2 = X_t \cdot Y_t$	$A_2 = X_t \cdot Y_t$

Aplastamiento. Las fuerzas provenientes de la columna deben transferirse de manera segura a la cimentación, limitando el aplastamiento, de manera que, se tomará el máximo valor P_u de las combinaciones últimas.

Resistencia contra el Aplastamiento. La resistencia contra aplastamiento se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

$$\phi P_n = 0.75 \phi \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \cdot A_1$$

Se verifica el aplastamiento.

Si $P_u \leq \phi P_n \rightarrow$ "Cumple por resistencia al aplastamiento".

$P_u > \phi P_n \rightarrow$ "No cumple resistencia al aplastamiento, reforzar con dowels".

Donde:

A_1 : Área de la sección transversal de la columna.

A_2 : Área proyectada o efectiva generada por el aplastamiento.

X_t , Y_t : Simplificación de las dimensiones columna en la dirección x e y, respectivamente.

P_u : Carga vertical en condiciones últimas aplicada en la base de la columna.

ϕP_n : Resistencia contra aplastamiento.

$\phi = 0.7$, de acuerdo con la norma E060 en el capítulo 9.3.2.4

3.3.5 Cálculos para verificación de resistencia al corte

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el Capítulo 15.5.2, la ubicación del cortante debe medirse a una distancia d (peralte efectivo) de la cara de la columna, según lo estipulado en el capítulo 11 de la misma norma.

Cortante. La cortante para cada dirección se calcula con las siguientes fórmulas:

En la dirección x:

$$V_{u_x} = (\sigma_{u_{\max}})(L_{vx} - d)B$$

En la dirección y:

$$V_{u_y} = (\sigma_{u_{\max}})(L_{vy} - d)L$$

Resistencia del concreto al corte. La resistencia del concreto al corte para cada dirección se calcula con las siguientes fórmulas:

Para la dirección x:

$$Vc_x = 0.53\sqrt{f'c} \cdot B \cdot d$$

Para la dirección y:

$$Vc_y = 0.53\sqrt{f'c} \cdot L \cdot d$$

Se verifica el cortante. Se verifica el cortante para cada dirección

Para la dirección x:

Si $Vu_x \leq \phi Vc_x \rightarrow$ "Cumple resistencia para corte en dirección x".

$Vu_x > \phi Vc_x \rightarrow$ "No cumple resistencia para corte, aumentar hc o B".

Para la dirección y:

Si $Vu_y \leq \phi Vc_y \rightarrow$ "Cumple resistencia para corte en dirección y".

$Vu_y > \phi Vc_y \rightarrow$ "No cumple resistencia para corte, aumentar hc o L".

Donde:

Lvx : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje x.

Lvy : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje y.

Vu_x : Cortante último en la dirección x.

Vu_y : Cortante último en la dirección y.

$\phi = 0.85$, de acuerdo con la norma E060 en el capítulo 9.3.2.3

ϕVc_x : Resistencia al Cortante en la dirección x.

ϕVc_y : Resistencia al Cortante en la dirección y.

3.3.6 Cálculos para el diseño por flexión

El diseño del refuerzo se efectúa desarrollando la flexión en cada dirección de manera independiente, considerando la zapata como un volado.

Según la Norma Peruana de Concreto Armado E060, en el capítulo 15.4.2.a, para zapatas que soporten una columna, se considera el momento en la cara de la columna.

Momentos en la cara de la columna. El momento en la cara de la columna para cada dirección se calcula con la máxima presión última, de la siguiente forma:

En la dirección x:

$$Mu_x = 0.5(\sigma_{u\max})(Lvx)^2 B$$

En la dirección y:

$$Mu_y = 0.5(\sigma_{u\max})(Lvy)^2 L$$

Cálculo del momento máximo para falla dúctil. Debido a que la sección de la zapata no debe estar sobre esforzada con acero, porque se desea una falla dúctil, es necesario calcular el acero máximo por medio del momento nominal máximo.

$$W_{\max} = 0.3748\beta_1$$

$$\phi Mn_{\max} = \phi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2 \cdot w_{\max} \cdot (1 - 0.59 \cdot w_{\max}^2)$$

Se verifica que no sobrepase el momento nominal máximo. Se verifica el momento nominal máximo para cada dirección.

Para la dirección x:

Si $Mu_x \leq \phi Mn_x \rightarrow$ "Cumple, se puede calcular el acero para la dirección x".

$Mu_x > \phi Mn_x \rightarrow$ "No cumple, colocar acero mínimo en la sección superior".

Para la dirección y:

Si $Mu_y \leq \phi Mn_y \rightarrow$ "Cumple, se puede calcular el acero para la dirección y".

$Mu_y > \phi Mn_y \rightarrow$ "No cumple, colocar acero mínimo en la sección superior".

Donde:

B, L : Dimensiones de la zapata.

d : Peralte efectivo de la zapata.

Lvx, Lvy : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje x e y, respectivamente.

Mu_x, Mu_y : Momento último en la cara de la columna para la dirección x e y, respectivamente.

W_{\max} : Índice de refuerzo máximo, parámetro adimensional.

β_1 : Factor utilizado para el cálculo del bloque de Whitney que depende de la resistencia la compresión del concreto.

$\phi Mn_x, \phi Mn_y$: Momento resistente en la dirección x e y, respectivamente.

ϕMn_{\max} : Momento máximo resistente de diseño.

$\phi = 0.9$, de acuerdo con la norma E060 en el capítulo 9.3.2.2

$\sigma_{u\max}$: Presión máxima debajo de la zapata en condiciones últimas.

Cálculo de acero de refuerzo. La cantidad de acero para cada dirección se calcula con las fórmulas de la siguiente tabla:

Tabla 12. Fórmulas para el cálculo del acero en cada dirección

Acero en el eje x	Acero en el eje y
$a = 0.59\phi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2$	$a = 0.59\phi \cdot f'c \cdot L \cdot d^2$
$b = -\phi \cdot f'c \cdot B \cdot d^2$	$b = -\phi \cdot f'c \cdot L \cdot d^2$
$c = Mu_x$	$c = Mu_y$
$W_x = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$W_y = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
$\rho_x = W_x \cdot f'c / F_y$	$\rho_y = W_y \cdot f'c / F_y$
$As_x = \rho \cdot B \cdot d \cdot 100^2 \text{ (cm}^2\text{)}$	$As_y = \rho \cdot L \cdot d \cdot 100^2 \text{ (cm}^2\text{)}$

Cálculo del acero mínimo. Se calcula el acero mínimo para cada dirección:

Para la dirección x:

$$As_{minx} = 0.0018B \cdot h_c$$

Para la dirección y:

$$As_{miny} = 0.0018L \cdot h_c$$

Se verifica que el acero sea mayor o igual que al acero mínimo: Se verifica que el acero calculado sea mayor o igual que el acero mínimo para cada dirección:

Para la dirección x:

$$\text{Si } As_x \leq As_{minx} \rightarrow As_x = As_{minx}$$

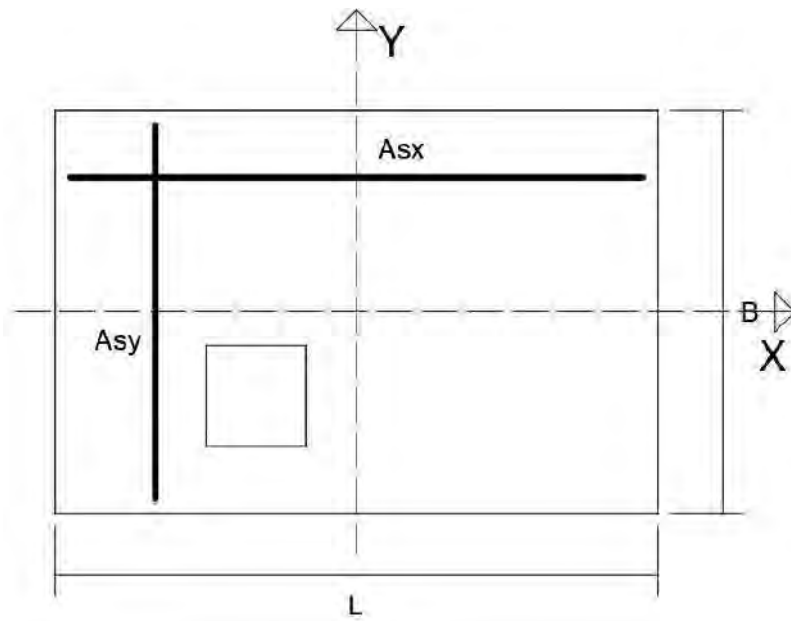
$$As_x > As_{minx} \rightarrow As_x = As_x$$

Para la dirección y:

$$\text{Si } As_y \leq As_{miny} \rightarrow As_y = As_{miny}$$

$$As_y > As_{miny} \rightarrow As_y = As_y$$

Figura 40. Área de acero para ambas direcciones



Cálculo del espaciamiento del acero. Para calcular el espaciamiento para cada dirección:

Tabla 13. Fórmulas para el cálculo del espaciamiento del acero en cada dirección

Acero en el eje x	Acero en el eje y
$\#barras = \frac{As}{As'}$	$\#barras = \frac{As}{As'}$
$\#barras / m = \frac{\#barras}{B}$	$\#barras / m = \frac{\#barras}{L}$
$S_x = \frac{100}{\#barras / m} (cm)$	$S_y = \frac{100}{\#barras / m} (cm)$

Donde:

W_x : Índice de refuerzo para la dirección x.

W_y : Índice de refuerzo para la dirección y.

ρ_x : Cuantía de acero de refuerzo en la dirección x.

ρ_y : Cuantía de acero de refuerzo en la dirección y.

As_x : Área de acero calculada en la dirección x.

As_y : Área de acero calculada en la dirección y.

$A_{s_{minx}}$: Área de Acero mínimo en dirección x.

$A_{s_{miny}}$: Área de Acero mínimo en dirección y.

h_c : Peralte de la zapata.

S_x : Espaciamiento de las varillas de acero en la dirección x.

S_y : Espaciamiento de las varillas de acero en la dirección y.



Capítulo 4

Validación del software

4.1 Algunas consideraciones de los programas utilizados

4.1.1 Consideraciones del programa Geo5

Se realizó el diseño por capacidad portante basado con la metodología de Meyerhof y el diseño estructural con la norma ACI 318-11.

El asentamiento se desarrolló con la metodología de módulo edométrico con una tensión inicial desde la base de zapata hasta una profundidad del 5% de la tensión de contacto, considerando solo el efecto del suelo incompresible.

No se considera peso de la zapata y sobrecarga.

A continuación, se presentan algunas fórmulas para un mejor entendimiento del procedimiento:

Presión de contacto entre el suelo y la cimentación distribuida uniformemente.

$$\sigma = \frac{P}{(B - 2e_y)(L - 2e_x)}$$

Capacidad portante de la cimentación.

$$R_d = c' N_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5 g_s B_{ef} N_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

R_d : Capacidad portante última por corte.

c' : Cohesión del suelo.

q : Carga efectiva al nivel del fondo de la zapata.

g_s : Peso específico del suelo.

B_{ef} : Ancho efectivo de la zapata, resultado de la influencia por excentricidad (m).

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga (adimensionales).

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: Factores de forma (adimensionales).

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: Factores de profundidad (adimensionales).

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: Factores de inclinación de carga (adimensionales).

Es importante reconocer que en las ecuaciones de tensión el fondo de la zapata y capacidad portante de la cimentación, Geo5 los calcula con el área efectiva de forma rectangular.

Mánica (2012) refiriéndose a la metodología del módulo edométrico para el cálculo asentamiento dice lo siguiente: “Debido a que considera la deformación unitaria al centro del estrato como representativa del mismo, en el caso de grandes espesores o suelos de alta compresibilidad esta expresión puede conducir a errores considerables” (p. 2).

Momento último en x:

$$M_{ux} = \sigma_{\max} \cdot \frac{Lvx^2}{2} \cdot B$$

Momento último en y:

$$M_{uy} = \sigma_{\max} \cdot \frac{Lvy^2}{2} \cdot L$$

Perímetro de la sección crítica columna interior:

$$b_0 = 2(cx + t) + 2(cy + t)$$

Área sombreada en la fig. 41 columna interior:

$$At = Az - Ao = (B \cdot L) - (cx + 2t)(cy + 2t)$$

Fuerza de corte de cimentación columna interior:

$$Vp = \frac{P_{\max}}{Az} \cdot At$$

Donde:

Az : Área en planta de la zapata.

Ao : Área crítica de punzonamiento.

B, L : Dimensiones de la zapata.

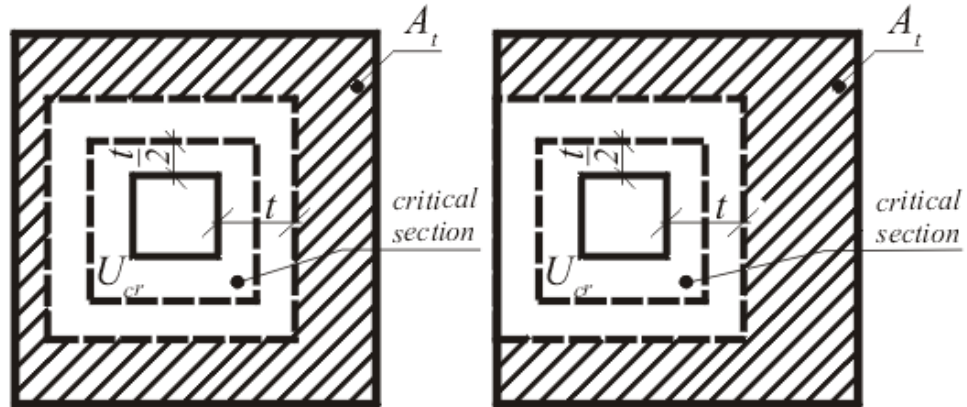
cx, cy : Dimensiones de la columna en dirección x e y, respectivamente.

Lvx, Lvy : Dimensiones de los voladizos en dirección x e y, respectivamente.

t : Peralte o altura de la zapata.

σ_{\max} : Presión máxima de contacto entre la zapata y el suelo.

Figura 41. Áreas críticas para el cálculo del punzonamiento



Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

El programa también analiza el punzonamiento como esfuerzo considerando los momentos; para fines de verificación solo se tomará en cuenta el corte producido en la sección crítica.

4.1.2 Consideraciones del programa SAFE

Módulo de reacción del suelo. SAFE utiliza como dato inicial el valor del módulo de reacción de la subrasante para realizar sus cálculos de asentamientos y presiones del suelo.

Para comparar resultados entre DZAIS 1.0 y SAFE, el módulo de reacción de subrasante se ha obtenido de la fórmula de Mayne y Poulos de acuerdo con Das y Sivakugan (2019).

Al despejar la fórmula de la siguiente manera:

$$k_z = \frac{\sigma}{S_e} = \frac{E_0}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu_s^2)}$$

Donde:

k_z : Módulo de reacción de la subrasante.

S_e : Asentamiento del suelo.

σ : Presión neta aplicada sobre la cimentación ton/m^2 .

I_G : Factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo E_s .

I_R : Factor de corrección de rigidez de la zapata.

I_E : Factor de corrección de empotramiento de zapata.

μ_s : Módulo de Poisson del suelo.

B_e : Diámetro equivalente de la zapata (m).

Punzonamiento. SAFE desarrolla el punzonamiento considerando la zapata como una losa en 2D, en donde existe la transferencia de un momento desbalanceado, por lo tanto, esto generará un aumento al esfuerzo de punzonamiento debido a este momento. Además, los resultados de SAFE están dados en unidades de esfuerzo, por lo que, solo se considerará el valor de la cortante bidireccional y no el punzonamiento afectado por los momentos desbalanceados.

Con fines de comparación, se han realizado cuatro diseños de zapatas de las características siguientes:

Ejemplo 1) Zapata concéntrica, columna rectangular, flexión biaxial.

Ejemplo 2) Zapata excéntrica, columna rectangular, flexión biaxial.

Ejemplo 3) Zapata medianera con columna T, flexión biaxial.

Ejemplo 4) Zapata medianera con columna rectangular y viga aérea, flexión uniaxial.



4.2 Ejemplo 1: Zapata concéntrica con columna rectangular, análisis biaxial

4.2.1 Datos de entrada.

Tabla 14. Datos de entrada del ejemplo 1

Solicitaciones de entrada			
Carga vertical de carga muerta	PCM	40,52	Ton
Carga vertical de carga viva	PCV	15	
Carga vertical del sismo x	PEQX	7,5	
Carga vertical del sismo y	PEQY	5,5	
Momento de carga muerta en eje y	MCMY	2,2	Ton*m
Momento de carga muerta en eje x	MCMX	3	
Momento de carga viva en eje y	MCVY	1,3	
Momento de carga viva en eje x	MCVX	1,8	
Momento de sismo en eje y	MEQY	3,5	
Momento de sismo en eje x	MEQX	2,5	
Datos de la zapata			
Peso específico del concreto	yc	2,4	Ton/m^3
Profundidad del fondo de zapata	Df	1,2	m
Diámetro del acero de zapata	φz	1/2	pulg
Altura de la zapata	hc	0,4	m
Ancho de la zapata	B	2,1	
Largo de la zapata	L	2,1	
Datos de la columna			
Dimensiones de la columna	Xt1	0,5	m
	Yt1	0,3	
Datos del suelo			
Peso específico del suelo	gs	1,7	Ton/m^3
Ángulo de fricción del suelo	φ'	18	°
Cohesión del suelo	c'	2,1	Ton/m^2
Módulo de Poisson del suelo	μs	0,32	
Módulo de elasticidad promedio	Eprom	3000	Ton/m^2
Espesor del estrato desde el fondo de zapata al suelo rígido	H	5	m
Asentamiento máximo permisible	Smax	2,5	cm
Materiales			
Resistencia a la compresión del concreto	F'c	210	Kg/cm^2
Límite de fluencia del acero	Fy	4200	Kg/cm^2
Otros datos			
Factor de seguridad gravitacional	Fsg	3	
Factor de seguridad sísmico	Fss	2,5	

4.2.2 Diseño con el software Geo5

4.2.2.1 Condiciones de servicio

Figura 42. Resultados en condiciones de servicio

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]	R_d [kPa]	F.S	Rd(adm) Ton/m ²
COMB1: CM+CV*fred	-0.06	-0.09	145.91	621.79	3	20.726
COMB2: CM+(0.8CSX)	-0.11	-0.06	125.16	619.61	2.5	24.784
COMB3: CM-(0.8CSX)	0.02	-0.09	86.73	615.22	2.5	24.609
COMB4: 0.75CM+0.75CV*fred+0.75(0.8CSX)	-0.10	-0.08	125.08	622.27	2.5	24.891
COMB5: 0.75CM+0.75CV*fred-0.75(0.8CSX)	-0.01	-0.10	93.90	613.60	2.5	24.544
COMB6: CM+(0.8CSY)	-0.05	-0.11	119.47	616.95	2.5	24.678
COMB7: CM-(0.8CSY)	-0.06	-0.03	89.26	619.54	2.5	24.782
COMB8: 0.75CM+0.75CV*fred+0.75(0.8CSY)	-0.06	-0.11	120.83	617.98	2.5	24.719
COMB9: 0.75CM+0.75CV*fred-0.75(0.8CSY)	-0.07	-0.05	97.97	622.71	2.5	24.908

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La capacidad portante admisible más desfavorable es 20.73 ton/m².

La máxima presión en servicio es 14.59 ton/m².

Figura 43. Resultados de asentamiento en condiciones de servicio

Asentamiento completo y rotación de la cimentación:
 Asentamiento de la cimentación = 4.3 mm
 Profundidad de la zona de influencia = 5.00 m
 Rotación en dirección de x = 0.284 (tan*1000); (1.6E-02 °)
 Rotación en dirección de y = 0.390 (tan*1000); (2.2E-02 °)
 (COMB1: CM+CV*fred)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

Para la COMB1 el asentamiento es de 4.3mm.

4.2.2.2 Condiciones de diseño

Figura 44. Resultados en condiciones últimas

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]
COMB1: 1.4CM+1.7CV	-0.06	-0.09	216.87
COMB2: 1.25CM+1.25CV*fred+CSX	-0.10	-0.08	208.73
COMB3: 1.25CM+1.25CV*fred-CSX	-0.01	-0.10	156.75
COMB4: 0.9CM+CSX	-0.12	-0.06	120.16
COMB5: 0.9CM-CSX	0.05	-0.09	75.88
COMB6: 1.25CM+1.25CV*fred+CSY	-0.06	-0.11	201.64
COMB7: 1.25CM+1.25CV*fred-CSY	-0.07	-0.05	163.54
COMB8: 0.9CM+CSY	-0.05	-0.12	112.98
COMB9: 0.9CM-CSY	-0.06	-0.01	75.24

Caso de carga más desfavorable Nro. 1. (COMB1: 1.4CM+1.7CV)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La máxima presión de diseño es 21.69 ton/m².

El análisis se lleva a cabo con la selección del caso de carga más desfavorable.

Figura 45. Resultados del cálculo en condiciones últimas

Verificación del refuerzo de la cimentación de hormigón armado**Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X.**

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.19 \% > 0.18 \% = \rho_{\min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.02 \text{ m} < 0.14 \text{ m} = c_{\max}$
 Momento último $\phi M_n = 149.18 \text{ kNm} > 142.48 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.25 \% > 0.18 \% = \rho_{\min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.02 \text{ m} < 0.14 \text{ m} = c_{\max}$
 Momento último $\phi M_n = 192.61 \text{ kNm} > 187.16 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Zapata para comprobar el fallo del punzonamiento

Fuerza normal de columna $= 822.30 \text{ kN}$
 Fuerza transmitida dentro del suelo de cimentación $= 266.64 \text{ kN}$
 Fuerza transferida por la fuerza de corte de la cimentación $= 555.66 \text{ kN}$
 Máxima resistencia al corte $V_u = 229.28 \text{ kN/m}$
 Contorno de la sección transversal crítica $b_o = 3.20 \text{ m}$
 Resistencia al corte transmitida por el hormigón $V_c = 456.62 \text{ kN/m}$
 $V_u < V_c \Rightarrow$ No se necesita refuerzo

Zapata para punzonamiento ES SATISFACTORIA

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

El punzonamiento está dado por $V_p = 55.57 \text{ ton}$.

El aplastamiento es 82.23 ton.

El Momento en la dirección x es 14.25 ton*m.

El Momento en la dirección y es 18.72 ton*m.

$$A_{\text{req}} = 1208.6 \text{ mm}^2 < A_{\text{inp}} = 1266.8 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{req}} = 1598.8 \text{ mm}^2 < A_{\text{inp}} = 1646.8 \text{ mm}^2$$

La cantidad de acero en la dirección x es 12.09 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 15.99 cm².

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X. Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

10 perf. Nro. 4, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 2.10 \text{ m}$

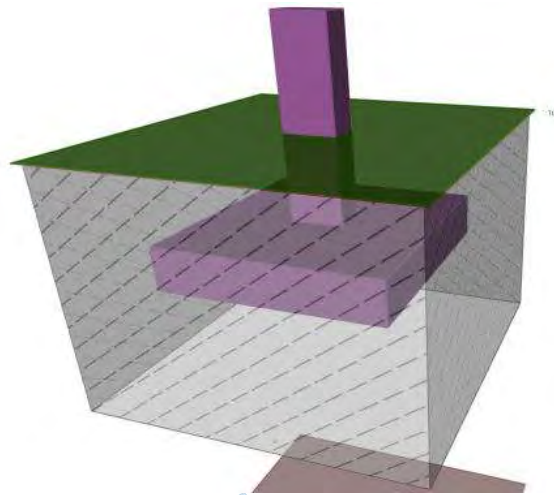
Profundidad de la sección transversal $= 0.40 \text{ m}$

13 perf. Nro. 4, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 2.10 \text{ m}$

Profundidad de la sección transversal $= 0.40 \text{ m}$

Figura 46. Vista 3D de la zapata del ejemplo 1



Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

4.2.3 Diseño con el software SAFE

Utilizando las excentricidades obtenidas por el software Geo5:

$$L' = L - 2 \cdot e_x = 2.1 - 2(0.063) = 1.97m$$

$$B' = B - 2 \cdot e_y = 2.1 - 2(0.086) = 1.93m$$

Se ha hallado un módulo de reacción de subrasante de la siguiente manera:

$$B_e = \sqrt{\frac{4B'L'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1.974)(1.928)}{\pi}} = 2.20m$$

$$E_f = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{f'c} = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{210} = 2173706.51 \text{ ton} / m^2$$

$$I_G = 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]^{-1} = 1.6 \left(\frac{5}{2.20} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{5}{2.20} \right) \right]^{-1} = 0.7842$$

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_o} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{2173706.51}{3000} \right) \left(\frac{2 \cdot 0.4}{2.20} \right)^3} = 0.7882$$

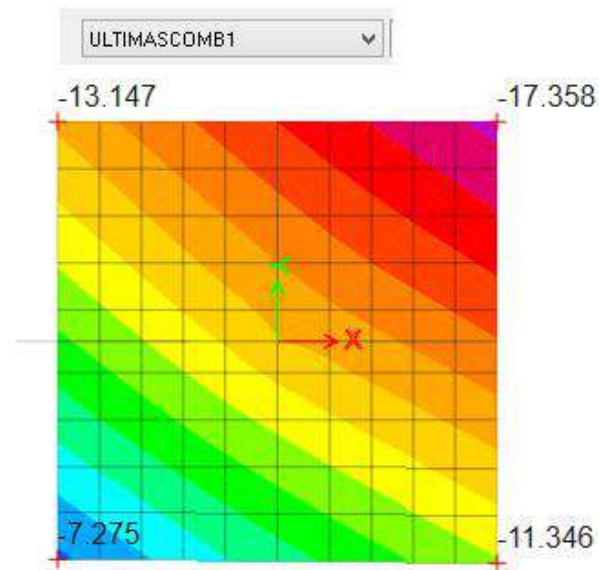
$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22\mu_s - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)} = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \cdot 0.32 - 0.4) \left(\frac{2.2}{1.2} + 1.6 \right)} = 0.9160$$

$$kz = \frac{E_o}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu^2)} = \frac{3000}{2.20 \cdot 0.78 \cdot 0.79 \cdot 0.92 \cdot (1 - 0.32^2)} = 2681.44 \text{ ton} / m^3$$

Obteniéndose 2681.44 ton/m³ con el cual se ha diseñado en SAFE.

4.2.3.1 Presiones en servicio

Figura 47. Distribución de presiones en servicio

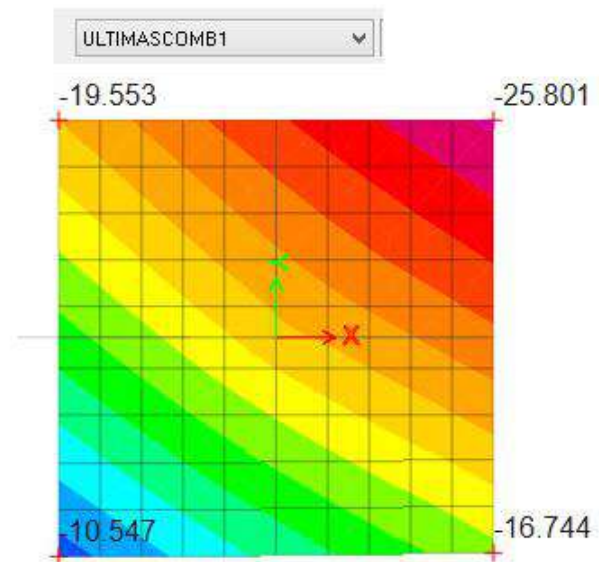


Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima presión en servicio es 17.36 ton/m².

4.2.3.2 Presiones de diseño

Figura 48. Distribución de presiones últimas



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

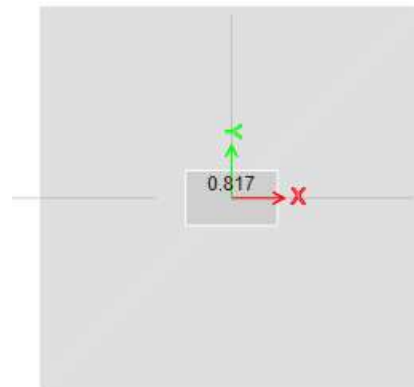
La máxima presión de diseño es 25.80 ton/m².

4.2.3.3 Verificación del punzonamiento

Figura 49. Resultados del cálculo de punzonamiento

Load Punching Check

Avg. Eff. Slab Thickness = 0.31 m
 Eff. Punching Perimeter = 2.85 m
 Cover = 0.09 m
 Conc. Comp. Strength = 2100 tonf/m²
 Reinforcement Ratio = 0
 Section Inertia I₂₂ = 0.06 m⁴
 Section Inertia I₃₃ = 0.1 m⁴
 Section Inertia I₂₃ = 0 m⁴
 Gamma_{v2} = 0.36661
 Gamma_{v3} = 0.434346
 Moment Mu₂ = -7.23 tonf-m
 Moment Mu₃ = 4.96 tonf-m
 Shear Force = -75.24 tonf
 Unbalanced Moment Mu₂ = -2.65 tonf-m
 Unbalanced Moment Mu₃ = 2.16 tonf-m
 Max Design Shear Stress = 106.73 tonf/m²
 Conc. Shear Stress Capacity = 130.64 tonf/m²
 Punching Shear Ratio = 0.82



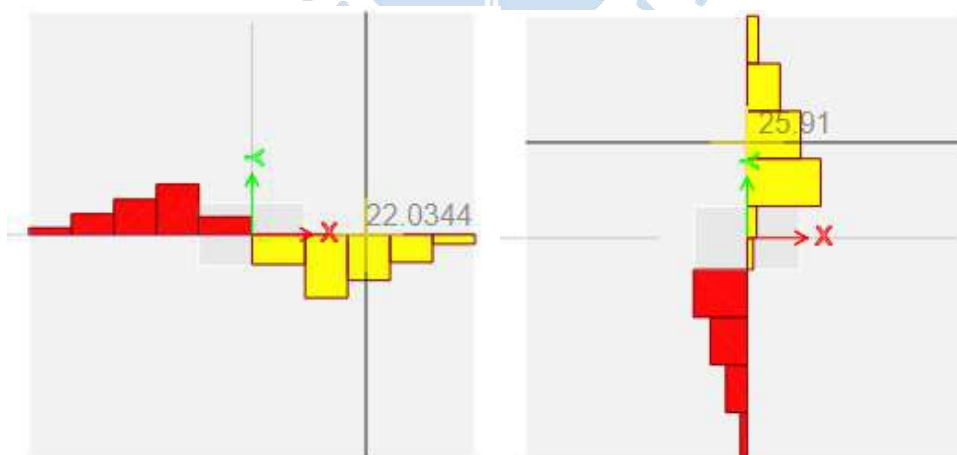
Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

Fuerza de corte o punzonamiento es $V_p = 75.24 \text{ ton}$.

Cumple por resistencia al punzonamiento, donde $106.73 \text{ ton/m}^2 < 130.64 \text{ ton/m}^2$.

4.2.3.4 Verificación de resistencia al corte

Figura 50. Diagramas de distribución de corte



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima cortante en la dirección x, a d de la cara de la columna es 22.03 ton.

La máxima cortante en la dirección y, a d de la cara de la columna es 25.91 ton.

4.2.3.5 Diseño por flexión

Figura 51. Diagramas de distribución de flexión



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

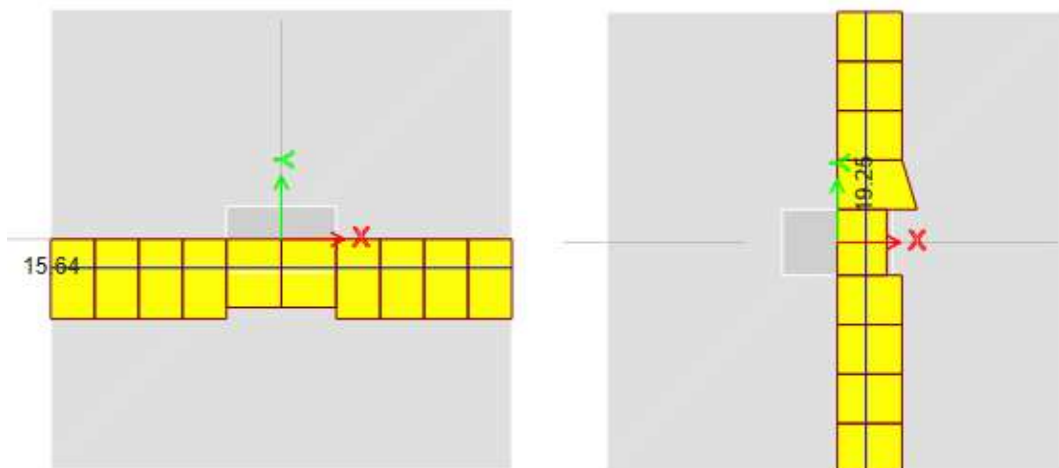
El máximo momento en la dirección x, a la cara de la columna es 14.03 ton*m.

El máximo momento en la dirección y, a la cara de la columna es 18.55 ton*m.

(*Los valores no se pueden observar en las imágenes debido a una restricción del software, sin embargo, se han colocado por escrito).

4.2.3.6 Cantidad de acero

Figura 52. Diagramas de distribución del acero



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La cantidad de acero en la dirección x es 15.64 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 19.25 cm².

4.2.4 Diseño con el software DZAIS 1.0

4.2.4.1 Condiciones en servicio

Figura 53. Resultados en condiciones en servicio

DZAIS 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP

COMB1	CM + CV*fred
COMB2	CM + 0.8CSX
COMB3	CM - 0.8CSX
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSX
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSX
COMB6	CM + 0.8CSY
COMB7	CM - 0.8CSY
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSY
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSY

Verificación de Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.063	0.0865
0.1075	0.0645
0.0174	0.0869
0.1024	0.078
0.0141	0.0969
0.049	0.1113
0.0609	0.0277
0.0584	0.1135
0.0685	0.0548

Excentricidad cae dentro del Nucleo Central

Presión admisible [ton/m2] por Corte

22.458
26.7951
26.689
26.9146
26.5964
26.677
26.9406
26.7135
27.0391

Presión admisible [ton/m2] por Asentamiento

67.0505
67.0505
67.0505
67.0505
67.0505
67.0505
67.0505
67.0505
67.0505

Verificación de Presiones [ton/m2]

P. admisible neta	P. en servicio
20.138	17.967
24.4751	15.7318
24.369	10.16
24.5946	15.8562
24.2764	11.0943
24.357	14.8507
24.6206	10.2637
24.3935	15.1953
24.7191	11.7551

Cumple por Presiones

COMB1| Asentamiento m

Resumen de Dimensiones

L <input type="text" value="2.1"/> m	B <input type="text" value="2.1"/> m
Lx1 <input type="text" value="0.8"/> m	Lvy1 <input type="text" value="0.9"/> m
Lx2 <input type="text" value="0.8"/> m	Lvy2 <input type="text" value="0.9"/> m
hc <input type="text" value="0.4"/> m	d <input type="text" value="0.312"/> m
L/6 <input type="text" value="0.35"/> m	B/6 <input type="text" value="0.35"/> m

REGRESAR SIGUIENTE

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.2.4.2 Condiciones últimas

Figura 54. Resultados en condiciones últimas

DZAIS 1.0 - [Condiciones Últimas]

Combinaciones Últimas - NTP

COMB1	1.4CM + 1.7CV*fred
COMB2	1.25CM + 1.25CV*fred + CSX
COMB3	1.25CM + 1.25CV*fred - CSX
COMB4	0.9CM + CSX
COMB5	0.9CM - CSX
COMB6	1.25CM + 1.25CV*fred + CSY
COMB7	1.25CM + 1.25CV*fred - CSY
COMB8	0.9CM + CSY
COMB9	0.9CM - CSY

Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0643	0.0883
0.1024	0.078
0.0141	0.0969
0.1246	0.0614
0.0525	0.0932
0.0584	0.1135
0.0685	0.0548
0.0472	0.1239
0.0639	0.0065

Presión de diseño [ton/m2]

P. última
26.7767
26.427
17.9236
15.2697
9.3028
25.3256
19.5918
14.1683
8.4346

Presión máxima: 26.7767 ton/m2

Cortante

Vux	27.42	ton	Vuy	33.05	ton
ϕV_{cx}	42.81	ton	ϕV_{cy}	42.81	ton

Cumple por Cortante

Flexión

Mux	17.994	ton x m	Muy	22.774	ton x m
ϕM_{nx}	100.14	ton x m	ϕM_{ny}	100.14	ton x m
p+	0.0024		p+	0.0031	
Asx	15.686	cm2	Asy	20.014	cm2

¡ Diseño por flexión satisfactorio !

Aplastamiento

Pu	82.23	ton
ϕP_n	307.12	ton
A1	0.15	ton
A2	2.71	ton

Cumple por Aplastamiento

Punzonamiento

Vu	104.77	ton
ϕV_c	116.17	ton
bo	2.849	m
Ao	0.497	m2

Cumple por Punzonamiento

Refuerzo

En la dirección L	Acero de 1/2" @	17	cm
En la dirección B	Acero de 1/2" @	13	cm

REGRESAR

FINALIZAR

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.2.5 Comparaciones y verificaciones

Tabla 15. Comparación de resultados del ejemplo 1

TABLA DE COMPARACIONES								
Elemento de cálculo			Unidades	Geo5	SAFE	DZAIS	% Diferencia con Geo5	% Diferencia con SAFE
SUELO	CP admisible	Qadm	Ton/m ²	20.73	-	22.46	-7.7	-
	Asentamiento	Se	mm	4.30	-	6.70	-35.8	-
DIMENSIONAMIENTO	Presión máx. servicio	Qsmax	Ton/m ²	14.59	17.36	17.97	-18.8	-3.4
DISEÑO	Presión máx. diseño	Qumax	Ton/m ²	21.69	25.80	26.78	-19.0	-3.6
	Punzonamiento	Vu	Ton	55.57	75.24	104.77	-47.0	-28.2
	Cortante	Vux	Ton	-	22.03	27.42	-	-19.7
		Vuy	Ton	-	25.91	33.05	-	-21.6
	Flexión	Mux	Ton*m	14.25	14.03	17.99	-20.8	-22.0
		Muy	Ton*m	18.72	18.55	22.77	-17.8	-18.5
	Acero	Asx	Cm ²	12.09	15.64	15.69	-23.0	-0.3
		Asy	Cm ²	15.99	19.25	20.01	-20.1	-3.8

4.2.6 Discusión de resultados.

En la etapa de cálculo para los apartados de suelo el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 21.8%

En la etapa de cálculo para los apartados de dimensionamiento el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 18.8%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 3.4%

En la etapa de cálculo para los apartados de diseño el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 24.6%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 14.7%

En general:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 23.3%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 13.5%

4.3 Ejemplo 2: Zapata excéntrica con columna rectangular, análisis biaxial

4.3.1 Datos de entrada

Tabla 16. Datos de entrada del ejemplo 2

Solicitaciones de entrada			
Carga vertical de carga muerta	PCM	70	Ton
Carga vertical de carga viva	PCV	25	
Carga vertical del sismo x	PEQX	12	
Carga vertical del sismo y	PEQY	5	
Momento de carga muerta en eje y	MCMY	15	Ton*m
Momento de carga muerta en eje x	MCMX	8	
Momento de carga viva en eje y	MCVY	12	
Momento de carga viva en eje x	MCVX	3	
Momento de sismo en eje y	MEQY	12	
Momento de sismo en eje x	MEQX	15	
Datos de la zapata			
Peso específico del concreto	γ_c	2,4	Ton/m^3
Profundidad del fondo de zapata	Df	1,3	m
Diámetro del acero de zapata	ϕ_z	5/8	pulg
Altura de la zapata	hc	0,6	m
Ancho de la zapata	B	2,4	
Largo de la zapata	L	2,4	
Voladizo 1 en eje x	Lvx1	0,7	
Voladizo 1 en eje y	Lvy1	0,8	
Datos de la columna			
Dimensiones de la columna	Xt1	0,5	m
	Yt1	0,6	
Datos del suelo			
Peso específico del suelo	gs	1,65	Ton/m^3
Ángulo de fricción del suelo	ϕ'	21	°
Cohesión del suelo	c'	1,3	Ton/m^2
Módulo de Poisson del suelo	μ_s	0,4	
Módulo de elasticidad promedio	Eprom	1500	Ton/m^2
Espesor del estrato de suelo	H	20	m
Asentamiento máximo permisible	Smax	2,5	cm
Materiales			
Resistencia a la compresión del concreto	F'c	210	Kg/cm^2
Límite de fluencia del acero	Fy	4200	Kg/cm^2
Otros datos			
Factor de seguridad gravitacional	Fsg	3	
Factor de seguridad sísmico	Fss	2,5	

4.3.2 Diseño con el software Geo 5

4.3.2.1 condiciones de servicio

Figura 55. Resultados en condiciones de servicio

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]	R_d [kPa]	F.S	Rd(adm) Ton/m ²
COMB1: CM+CV*fred	-0.03	-0.02	172.03	622.66	3	20.755
COMB2: CM+(0.8CSX)	-0.06	0.00	145.41	617.30	2.5	24.692
COMB3: CM-(0.8CSX)	0.16	-0.03	124.43	607.33	2.5	24.293
COMB4: 0.75CM+0.75CV*fred+0.75(0.8CSX)	-0.10	-0.01	149.43	612.27	2.5	24.491
COMB5: 0.75CM+0.75CV*fred-0.75(0.8CSX)	0.05	-0.03	118.60	622.76	2.5	24.910
COMB6: CM+(0.8CSY)	0.05	-0.17	155.86	607.78	2.5	24.311
COMB7: CM-(0.8CSY)	0.02	0.16	134.84	606.21	2.5	24.248
COMB8: 0.75CM+0.75CV*fred+0.75(0.8CSY)	-0.02	-0.13	147.91	609.93	2.5	24.397
COMB9: 0.75CM+0.75CV*fred-0.75(0.8CSY)	-0.05	0.11	136.10	615.69	2.5	24.628

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La capacidad portante admisible más desfavorable es 20.76 ton/m².

La máxima presión en servicio es 17.21 ton/m².

Figura 56. Resultados de asentamiento en condiciones de servicio

(COMB1: CM+CV*fred)	Asentamiento completo y rotación de la cimentación:
	Asentamiento de la cimentación = 8.8 mm
	Profundidad de la zona de influencia = 7.62 m
	Rotación en dirección de x = 0.231 (tan*1000); (1.3E-02 °)
	Rotación en dirección de y = 0.107 (tan*1000); (6.1E-03 °)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

Para la COMB1 el asentamiento es de 8.8mm.

4.3.2.2 condiciones de diseño

Figura 57. Resultados en condiciones últimas

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]
COMB1: 1.4CM+1.7CV	-0.04	-0.02	256.78
COMB2: 1.25CM+1.25CV*fred+CSX	-0.10	-0.01	248.68
COMB3: 1.25CM+1.25CV*fred-CSX	0.05	-0.03	197.50
COMB4: 0.9CM+CSX	-0.09	0.00	141.24
COMB5: 0.9CM-CSX	0.22	-0.04	112.34
COMB6: 1.25CM+1.25CV*fred+CSY	-0.02	-0.13	246.13
COMB7: 1.25CM+1.25CV*fred-CSY	-0.05	0.11	226.42
COMB8: 0.9CM+CSY	0.05	-0.23	152.04
COMB9: 0.9CM-CSY	0.02	0.23	126.97

Caso de carga más desfavorable Nro. 1. (COMB1: 1.4CM+1.7CV)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La máxima presión de diseño es 25.68 ton/m².

El análisis se lleva a cabo con la selección del caso de carga más desfavorable.

Figura 58. Resultados del cálculo en condiciones últimas

Verificación del refuerzo de la cimentación de hormigón armado**Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X.**

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.19 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.03 \text{ m} < 0.22 \text{ m} = c_{max}$
 Momento último $\phi M_n = 453.78 \text{ kNm} > 452.87 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.19 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.03 \text{ m} < 0.22 \text{ m} = c_{max}$
 Momento último $\phi M_n = 453.78 \text{ kNm} > 301.17 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Zapata para comprobar el fallo del punzonamiento

Fuerza normal de columna $= 1405.00 \text{ kN}$
 Fuerza transmitida dentro del suelo de cimentación $= 746.41 \text{ kN}$
 Fuerza transferida por la fuerza de corte de la cimentación $= 658.59 \text{ kN}$
 Máxima resistencia al corte $V_u = 265.52 \text{ kN/m}$
 Contorno de la sección transversal crítica $b_o = 4.60 \text{ m}$
 Resistencia al corte transmitida por el hormigón $V_c = 684.92 \text{ kN/m}$
 $V_u < V_c \Rightarrow$ No se necesita refuerzo

Zapata para punzonamiento ES SATISFACTORIA

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

El punzonamiento está dado por $V_p = 65.8 \text{ ton}$.

El aplastamiento es 140.5 ton.

El Momento en la dirección x es 45.29 ton*m.

El Momento en la dirección y es 30.64 ton*m.

$$A_{req} = 2370.4 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 2375.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{req} = 2200.1 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 2375.2 \text{ mm}^2$$

La cantidad de acero en la dirección x es 23.71 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 22.00 cm².

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X. Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

12 perf. Nro. 5, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 2.40 \text{ m}$

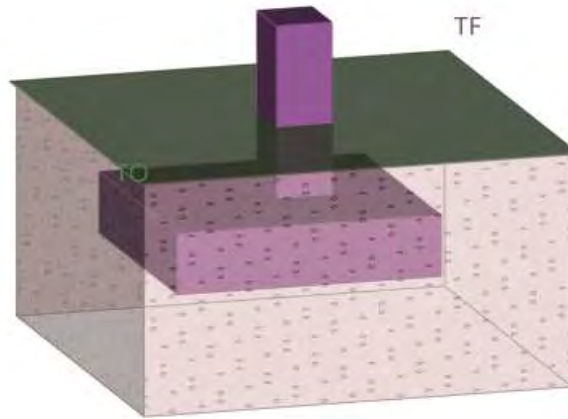
Profundidad de la sección transversal $= 0.60 \text{ m}$

12 perf. Nro. 5, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 2.40 \text{ m}$

Profundidad de la sección transversal $= 0.60 \text{ m}$

Figura 59. Vista 3D de la zapata del ejemplo 2



Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

4.3.3 Diseño con el software SAFE

Utilizando las excentricidades obtenidas por el software Geo5:

$$L' = L - 2 \cdot e_x = 2.4 - 2(0.034) = 2.33m$$

$$B' = B - 2 \cdot e_y = 2.4 - 2(0.016) = 2.37m$$

Se ha hallado un módulo de reacción de subrasante de la siguiente manera:

$$B_e = \sqrt{\frac{4B'L'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(2.332)(2.368)}{\pi}} = 2.65m$$

$$E_f = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{f'c} = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{210} = 2173706.51 \text{ ton} / m^2$$

$$I_G = 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]^{-1} = 1.6 \left(\frac{4 \cdot 2.65}{2.65} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{4 \cdot 2.65}{2.65} \right) \right]^{-1} = 0.8649$$

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_o} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{2173706.51}{1500} \right) \left(\frac{2 \cdot 0.6}{2.65} \right)^3} = 0.7861$$

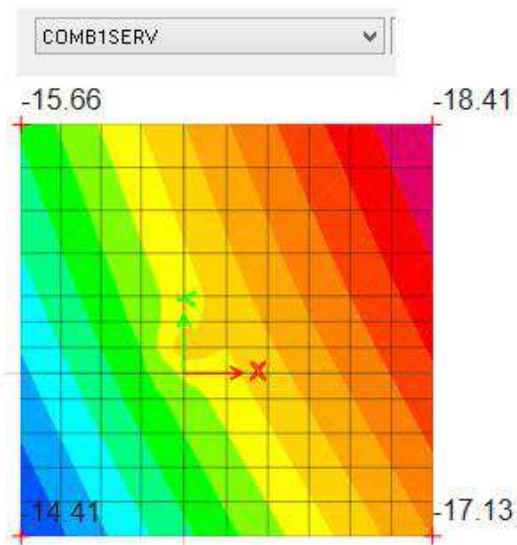
$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \mu_s - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)} = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \cdot 0.4 - 0.4) \left(\frac{2.65}{1.3} + 1.6 \right)} = 0.9281$$

$$kz = \frac{E_o}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu^2)} = \frac{1500}{2.65 \cdot 0.86 \cdot 0.79 \cdot 0.93 \cdot (1 - 0.4^2)} = 1067.2 \text{ ton} / m^3$$

Obteniéndose 1067.2 ton/m³ con el cual se ha diseñado en SAFE.

4.3.3.1 Presiones en servicio

Figura 60. Distribución de presiones de servicio

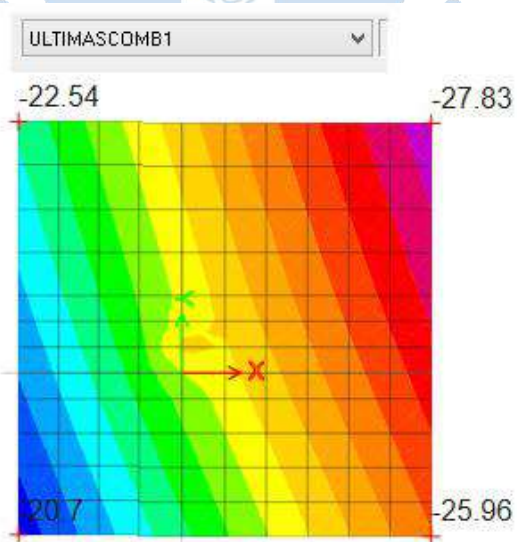


Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima presión en servicio es 18.41 ton/m².

4.3.3.2 Presiones de diseño

Figura 61. Distribución de presiones últimas



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

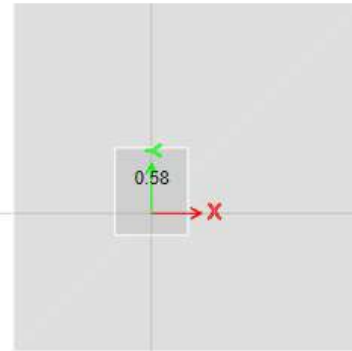
La máxima presión de diseño es 27.83 ton/m².

4.3.3.3 Verificación del punzonamiento

Figura 62. Resultados del cálculo de punzonamiento

Load Punching Check

Avg. Eff. Slab Thickness = 0.51 m
 Eff. Punching Perimeter = 4.24 m
 Cover = 0.09 m
 Conc. Comp. Strength = 2100 tonf/m²
 Reinforcement Ratio = 0
 Section Inertia I22 = 0.46 m⁴
 Section Inertia I33 = 0.4 m⁴
 Section Inertia I23 = 0 m⁴
 Gamma_{v2} = 0.41139
 Gamma_{v3} = 0.388717
 Moment Mu2 = -14.84 tonf-m
 Moment Mu3 = 40.81 tonf-m
 Shear Force = -103.64 tonf
 Unbalanced Moment Mu2 = -6.1 tonf-m
 Unbalanced Moment Mu3 = 15.86 tonf-m
 Max Design Shear Stress = 75.64 tonf/m²
 Conc. Shear Stress Capacity = 130.64 tonf/m²
 Punching Shear Ratio = 0.58



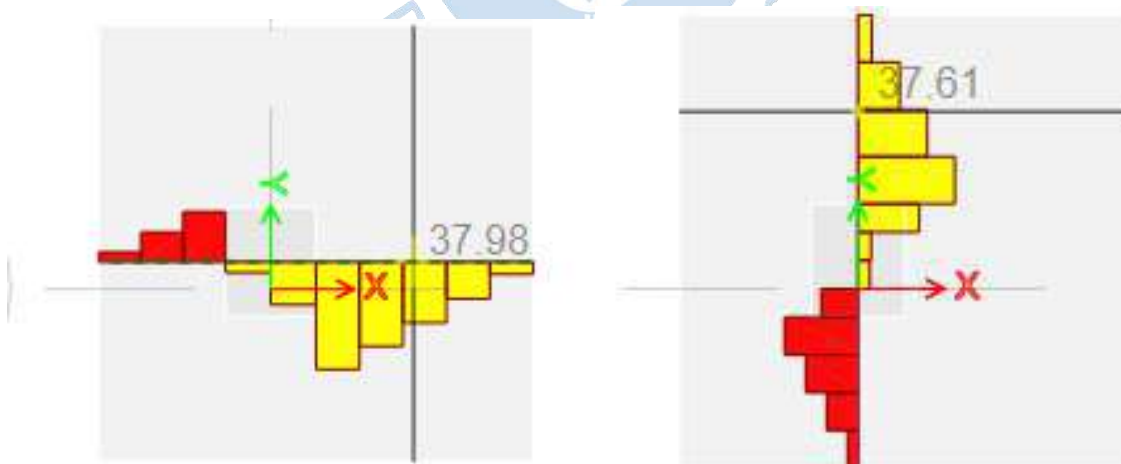
Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

Fuerza de corte o punzonamiento es $V_p = -103.64 \text{ ton}$.

Cumple por resistencia al punzonamiento, donde $75,64 \text{ ton} < 130,64 \text{ ton}$.

4.3.3.4 Verificación de resistencia al cortante

Figura 63. Diagramas de distribución de corte



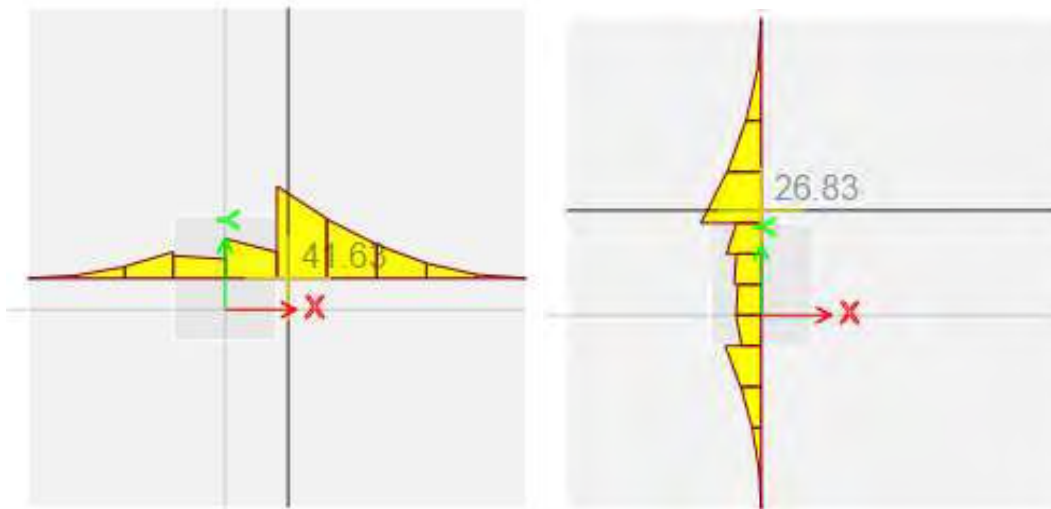
Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima cortante en la dirección x, a d de la cara de la columna es 37.98 ton.

La máxima cortante en la dirección y, a d de la cara de la columna es 37.61 ton.

4.3.3.5 Diseño por flexión

Figura 64. Diagramas de distribución de flexión



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

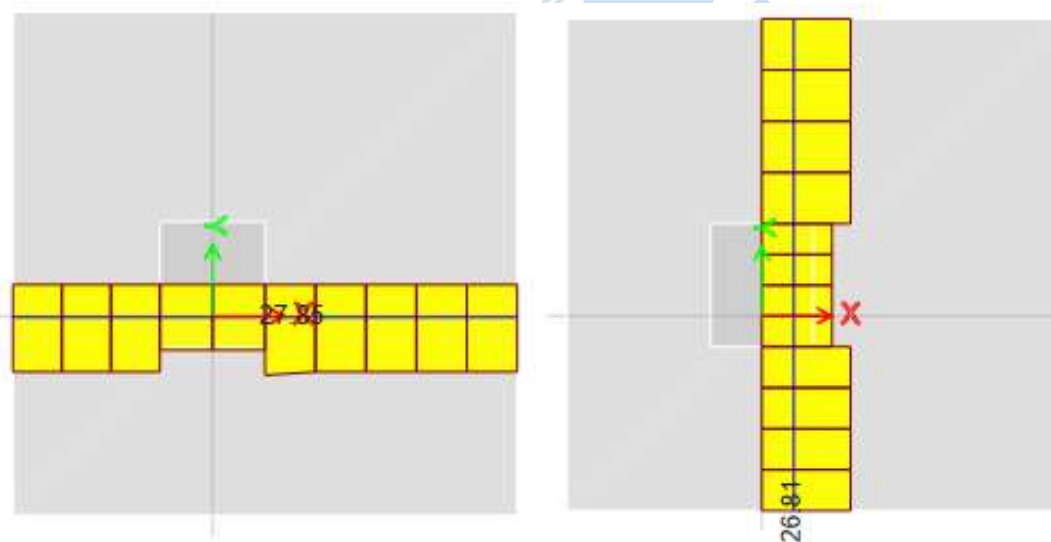
El máximo momento en la dirección x, a la cara de la columna es 45.1 ton*m.

El máximo momento en la dirección y, a la cara de la columna es 29.98 ton*m.

(*Los valores no se pueden observar en las imágenes debido a una restricción del software, sin embargo, se han colocado por escrito).

4.3.3.6 Cantidad de acero

Figura 65. Diagramas de distribución del acero



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La cantidad de acero en la dirección x es 27.85 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 26.81 cm².

4.3.4 Diseño con el software DZAIS 1.0

4.3.4.1 Condiciones en servicio

Figura 66. Resultados en condiciones de servicio

DZAIS 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP

COMB1	CM + CV*fred
COMB2	CM + 0.8CSX
COMB3	CM - 0.8CSX
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSX
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSX
COMB6	CM + 0.8CSY
COMB7	CM - 0.8CSY
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSY
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSY

Verificación de Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0342	0.0158
0.059	0.0005
0.1606	0.0325
0.0999	0.0052
0.0463	0.0288
0.0473	0.1703
0.0227	0.1606
0.0227	0.1323
0.0467	0.111

Excentricidad cae dentro del Nucleo Central

Presión admisible [ton/m2] por Corte

22.4046
26.6487
26.06
26.3824
26.8591
26.0513
26.02
26.2243
26.48

Presión admisible [ton/m2] por Asentamiento

26.6805
26.6805
26.6805
26.6805
26.6805
26.6805
26.6805
26.6805
26.6805

Verificación de Presiones [ton/m2]

P. admisible neta	P. en servicio
19.8096	18.5547
24.0537	15.8767
23.465	15.5469
23.7874	17.1973
24.0855	13.2064
23.4563	19.8351
23.425	16.7101
23.6293	17.8874
23.885	16.5202

Cumple por Presiones

COMB1 Asentamiento m

Resumen de Dimensiones

L <input type="text" value="2.4"/> m	B <input type="text" value="2.4"/> m
Lvx1 <input type="text" value="0.7"/> m	Lvy1 <input type="text" value="0.8"/> m
Lvx2 <input type="text" value="1.2"/> m	Lvy2 <input type="text" value="1"/> m
hc <input type="text" value="0.6"/> m	d <input type="text" value="0.509"/> m
L/6 <input type="text" value="0.4"/> m	B/6 <input type="text" value="0.4"/> m

REGRESAR SIGUIENTE

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.

4.3.4.2 Condiciones últimas

Figura 67. Resultados en condiciones últimas

DZAIS 1.0 - [Condiciones Últimas]

Combinaciones Últimas - NTP

COMB1	1.4CM + 1.7CV*fred
COMB2	1.25CM + 1.25CV*fred + CSX
COMB3	1.25CM + 1.25CV*fred - CSX
COMB4	0.9CM + CSX
COMB5	0.9CM - CSX
COMB6	1.25CM + 1.25CV*fred + CSY
COMB7	1.25CM + 1.25CV*fred - CSY
COMB8	0.9CM + CSY
COMB9	0.9CM - CSY

Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0447	0.016
0.0999	0.0052
0.0463	0.0288
0.09	0.004
0.2206	0.0412
0.0227	0.1323
0.0467	0.111
0.0515	0.2265
0.0172	0.2345

Presión de diseño [ton/m²]

P. última
28.0924
28.6621
19.8676
16.0807
14.6484
29.8123
27.5336
20.0087
16.4062

Cortante

Vux ton Vuy ton

ϕV_{cx} ton ϕV_{cy} ton

Cumple por Cortante

Presión máxima ton/m²

Flexión

Mux ton x m Muy ton x m

ϕM_{nx} ton x m ϕM_{ny} ton x m

$\rho+$ $\rho+$

Asx cm² Asy cm²

¡ Diseño por flexión satisfactorio !

Aplastamiento

Pu ton

ϕP_n ton

A1 ton

A2 ton

Cumple por Aplastamiento

Punzonamiento

Vu ton

ϕV_c ton

bo m

Ao m²

Cumple por Punzonamiento

Refuerzo

En la dirección L Acero de 5/8" @ cm

En la dirección B Acero de 5/8" @ cm

REGRESAR **FINALIZAR**

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.3.5 Comparaciones y verificaciones

Tabla 17. Comparación de resultados del ejemplo 2

TABLA DE COMPARACIONES								
Elemento de cálculo			Unidades	Geo5	SAFE	DZAIS	% Diferencia con Geo5	% Diferencia con SAFE
SUELO	CP admisible	Qadm	Ton/m ²	20.76	-	22.40	-7.4	-
	Asentamiento	Se	mm	8.80	-	17.40	-49.4	-
DIMENSIONAMIENTO	Presión máx. servicio	Qsmax	Ton/m ²	17.20	18.41	18.55	-7.3	-0.8
DISEÑO	Presión máx. diseño	Qumax	Ton/m ²	25.68	27.83	28.09	-8.6	-0.9
	Punzonamiento	Vu	Ton	65.8	103.64	138.35	-52.4	-25.1
	Cortante	Vux	Ton	-	37.98	49.43	-	-23.2
		Vuy	Ton	-	37.61	35.12	-	7.1
	Flexión	Mux	Ton*m	45.29	45.10	51.52	-12.1	-12.5
		Muy	Ton*m	30.64	29.98	35.78	-14.3	-16.2
	Acero	Asx	Cm ²	23.70	27.85	27.50	-13.8	1.3
		Asy	Cm ²	22.00	26.81	22.13	-0.6	21.1

4.3.6 Discusión de resultados.

En la etapa de cálculo para los apartados de suelo el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 28.4%

En la etapa de cálculo para los apartados de dimensionamiento el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 7.3%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 0.8%

En la etapa de cálculo para los apartados de diseño el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 17%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 6%

En general:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 18.4%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 5.5%

4.4 Ejemplo 3: Zapata medianera con columna T, análisis biaxial

4.4.1 Datos de entrada

Tabla 18. Datos de entrada del ejemplo 3

Solicitaciones de entrada			
Carga vertical de carga muerta	PCM	40	Ton
Carga vertical de carga viva	PCV	12	
Carga vertical del sismo x	PEQX	8	
Momento de carga muerta en eje y	MCMY	18	Ton*m
Momento de carga muerta en eje x	MCMX	3,5	
Momento de carga viva en eje y	MCVY	4	
Momento de carga viva en eje x	MCVX	3,36	
Momento de sismo en eje y	MEQY	12	
Datos de la zapata			
Peso específico del concreto	γ_c	2,4	Ton/m^3
Profundidad del fondo de zapata	Df	1,5	m
Diámetro del acero de zapata	ϕ_z	5/8	pulg
Altura de la zapata	hc	0,5	m
Ancho de la zapata	B	2,8	
Largo de la zapata	L	1,6	
Datos de la columna			
Dimensiones de la columna	Xt1	0,3	m
	Yt1	0,6	
	Xt2	0,3	
	Yt2	0,3	
Datos del suelo			
Peso específico del suelo	gs	1,6	Ton/m^3
Ángulo de fricción del suelo	ϕ'	18	°
Cohesión del suelo	c'	2,15	Ton/m^2
Módulo de Poisson del suelo	μ_s	0,4	
Módulo de elasticidad promedio	Eprom	2000	Ton/m^2
Espesor del estrato desde el fondo de zapata al suelo rígido	H	20	m
Asentamiento máximo permisible	Smax	2,5	cm
Materiales			
Resistencia a la compresión del concreto	F'c	210	Kg/cm^2
Límite de fluencia del acero	Fy	4200	Kg/cm^2
Otros datos			
Sobrecarga	S/c	0,2	Ton/m^2
Factor de seguridad gravitacional	Fsg	2,5	
Factor de seguridad sísmico	Fss	2	

4.4.2 Diseño con el software Geo5

Debido a las limitaciones que presenta Geo5, este ejemplo se desarrollará con una columna cuadrada conservando la misma área.

Acolumna = 0.27m², entonces $c_x = 0.52\text{m}$ y $c_y = 0.52\text{m}$.

4.4.2.1 Condiciones de servicio

Figura 68. Resultados en condiciones de servicio

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]	R_d [kPa]	F.S	$R_d(\text{adm})$ Ton/m ²
COMB1: CM+CV*fred	0.12	-0.13	150.17	629.67	2.5	25.187
COMB2: CM+(0.8CSX)	-0.05	-0.08	117.52	625.54	2	31.277
COMB3: CM-(0.8CSX)	0.29	-0.10	127.10	638.95	2	31.948
COMB4: 0.75CM+0.75CV*fred+0.75(0.8CSX)	0.00	-0.12	106.78	629.76	2	31.488
COMB5: 0.75CM+0.75CV*fred-0.75(0.8CSX)	0.27	-0.15	128.50	638.90	2	31.945

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La capacidad portante admisible más desfavorable es 25.19 ton/m².

La máxima presión en servicio es 15.02 ton/m².

Figura 69. Resultados de asentamiento en condiciones de servicio.

Asentamiento completo y rotación de la cimentación:
 Asentamiento de la cimentación = 3.9 mm
 Profundidad de la zona de influencia = 6.06 m
 Rotación en dirección de x = 0.701 (tan*1000); (4.0E-02 °)
 Rotación en dirección de y = 0.342 (tan*1000); (2.0E-02 °)
 (COMB1: CM+CV*fred)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

Para la COMB1 el asentamiento es de 3.9 mm

4.4.2.2 Condiciones de diseño

Figura 70. Resultados en condiciones últimas

Nombre	e_x [m]	e_y [m]	σ [kPa]
COMB1: 1.4CM+1.7CV	0.12	-0.14	223.11
COMB2: 1.25(CM+Cv*fred)+CSX	0.00	-0.12	178.11
COMB3: 1.25(CM+Cv*fred)-CSX	0.27	-0.15	214.39
COMB4: 0.9CM+CSX	-0.10	-0.07	118.45
COMB5: 0.9CM-CSX	0.39	-0.11	132.61

Caso de carga más desfavorable Nro. 1. (COMB1: 1.4CM+1.7CV)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La máxima presión de diseño es 22.31 ton/m².

El análisis se lleva a cabo con la selección del caso de carga más desfavorable.

Figura 71. Resultados del cálculo en condiciones últimas

Verificación del refuerzo de la cimentación de hormigón armado**Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X.**

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.19 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$

Posición del eje neutro $c = 0.02 \text{ m} < 0.18 \text{ m} = c_{max}$

Momento último $\phi M_n = 335.72 \text{ kNm} > 265.83 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

Cuantía del refuerzo $\rho = 0.24 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$

Posición del eje neutro $c = 0.03 \text{ m} < 0.18 \text{ m} = c_{max}$

Momento último $\phi M_n = 242.66 \text{ kNm} > 215.75 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Zapata para comprobar el fallo del punzonamiento

Fuerza normal de columna $= 764.00 \text{ kN}$

Fuerza transmitida dentro del suelo de cimentación $= 264.40 \text{ kN}$

Fuerza transferida por la fuerza de corte de la cimentación $= 499.60 \text{ kN}$

Máxima resistencia al corte $V_u = 696.50 \text{ kN/m}$

Contorno de la sección transversal crítica $b_o = 2.56 \text{ m}$

Resistencia al corte transmitida por el hormigón $V_c = 570.77 \text{ kN/m}$

$V_u < V_c \Rightarrow$

Zapata para punzonamiento NO ES SATISFACTORIA

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

El punzonamiento está dado por $V_p = 49.96 \text{ ton}$.

El aplastamiento es 76.4 ton .

El Momento en la dirección x es $26.58 \text{ ton}\cdot\text{m}$.

El Momento en la dirección y es $21.58 \text{ ton}\cdot\text{m}$.

$$A_{req} = 2070.4 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 2177.3 \text{ mm}^2$$

$$A_{req} = 1403.3 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 1583.5 \text{ mm}^2$$

La cantidad de acero en la dirección x es 20.70 cm^2 .

La cantidad de acero en la dirección y es 14.03 cm^2 .

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X. Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

11 perf. Nro. 5, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 2.80 \text{ m}$

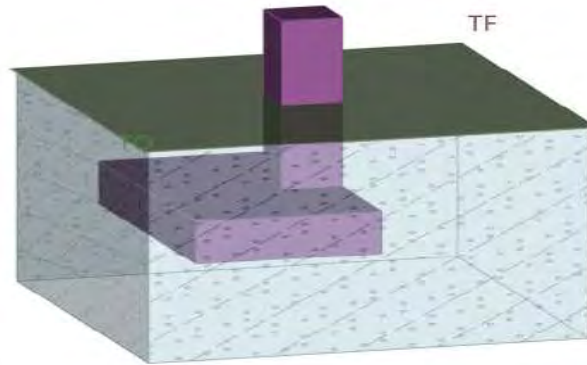
Profundidad de la sección transversal $= 0.50 \text{ m}$

8 perf. Nro. 5, recubr. 75.0 mm

Ancho de la sección transversal $= 1.60 \text{ m}$

Profundidad de la sección transversal $= 0.50 \text{ m}$

Figura 72. Vista 3D de la zapata del ejemplo 3



Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

4.4.3 Diseño con el software SAFE

Utilizando las excentricidades obtenidas por el software Geo5:

$$L' = L - 2 \cdot e_x = 1.6 - 2(0.127) = 1.35m$$

$$B' = B - 2 \cdot e_y = 2.8 - 2(0.132) = 2.54m$$

Se ha hallado un módulo de reacción de subrasante de la siguiente manera:

$$B_e = \sqrt{\frac{4B'L'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1.346)(2.536)}{\pi}} = 2.08m$$

$$E_f = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{f'c} = 15000 \cdot 10 \cdot \sqrt{210} = 2173706.51 \text{ ton} / m^2$$

$$I_G = 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{H}{B_e} \right) \right]^{-1} = 1.6 \left(\frac{4 \cdot 2.08}{2.08} \right) \left[1 + 1.6 \left(\frac{4 \cdot 2.08}{2.08} \right) \right]^{-1} = 0.8649$$

$$I_R = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_o} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{2173706.51}{2000} \right) \left(\frac{2 \cdot 0.5}{2.08} \right)^3} = 0.7862$$

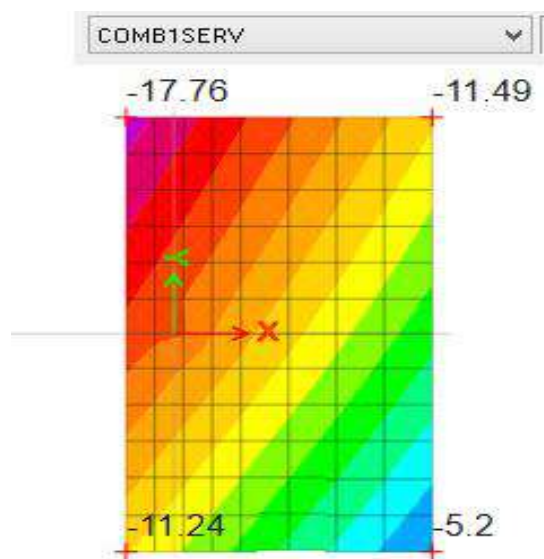
$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \mu_s - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)} = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22 \cdot 0.4 - 0.4) \left(\frac{2.08}{1.5} + 1.6 \right)} = 0.9125$$

$$kz = \frac{E_o}{B_e I_G I_R I_E (1 - \mu^2)} = \frac{2000}{2.08 \cdot 0.86 \cdot 0.79 \cdot 0.91 \cdot (1 - 0.4^2)} = 1840.7 \text{ ton} / m^3$$

Obteniéndose 1840.7 ton/m³ con el cual se ha diseñado en SAFE.

4.4.3.1 Presiones en servicio

Figura 73. Distribución de presiones de servicio

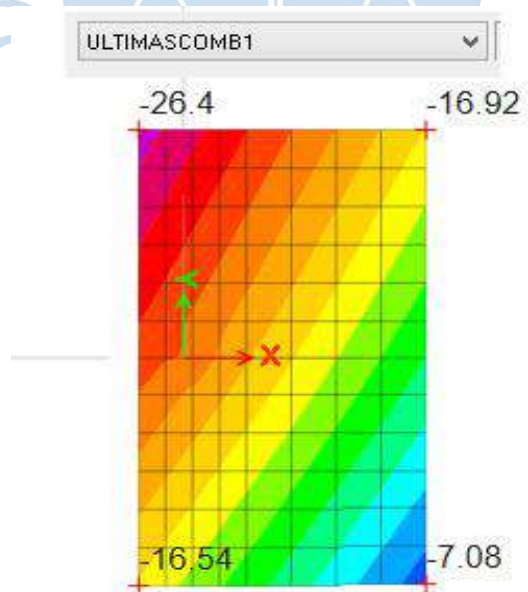


Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima presión en servicio es 17.76 ton/m².

4.4.3.2 Presiones de diseño

Figura 74. Distribución de presiones última

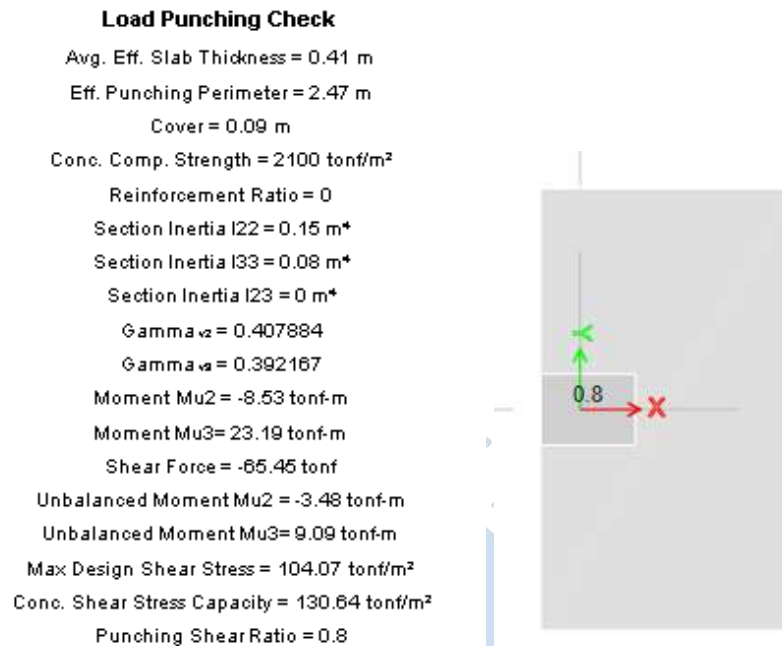


Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima presión de diseño es 26.4 ton/m².

4.4.3.3 Verificación del punzonamiento

Figura 75. Resultados del cálculo de punzonamiento



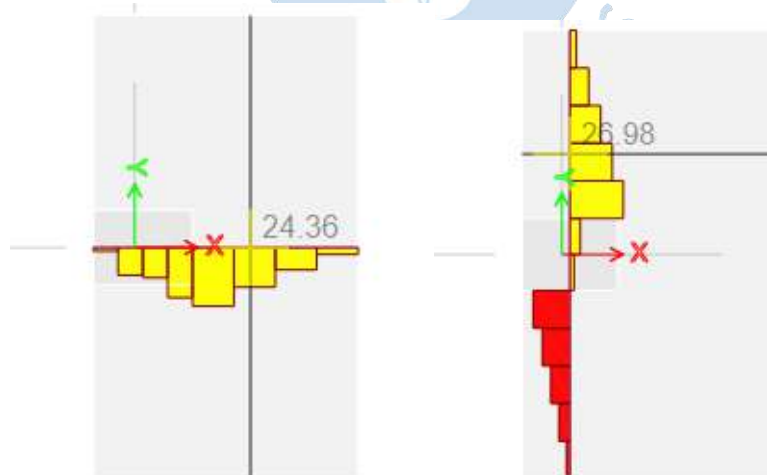
Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

Fuerza de corte o punzonamiento es $V_p = 65.45 \text{ ton}$.

Cumple por resistencia al punzonamiento, donde $104.07 \text{ ton} < 130.64 \text{ ton}$.

4.4.3.4 Verificación de resistencia al cortante

Figura 76. Diagramas de distribución de corte



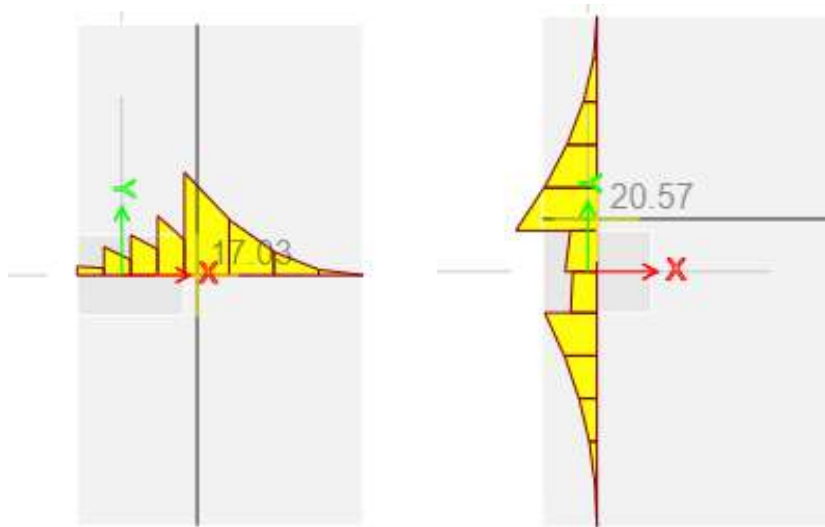
Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La máxima cortante en la dirección x, a d de la cara de la columna es 24.36 ton.

La máxima cortante en la dirección y, a d de la cara de la columna es 26.98 ton.

4.4.3.5 Diseño por flexión

Figura 77. Diagramas de distribución de flexión



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

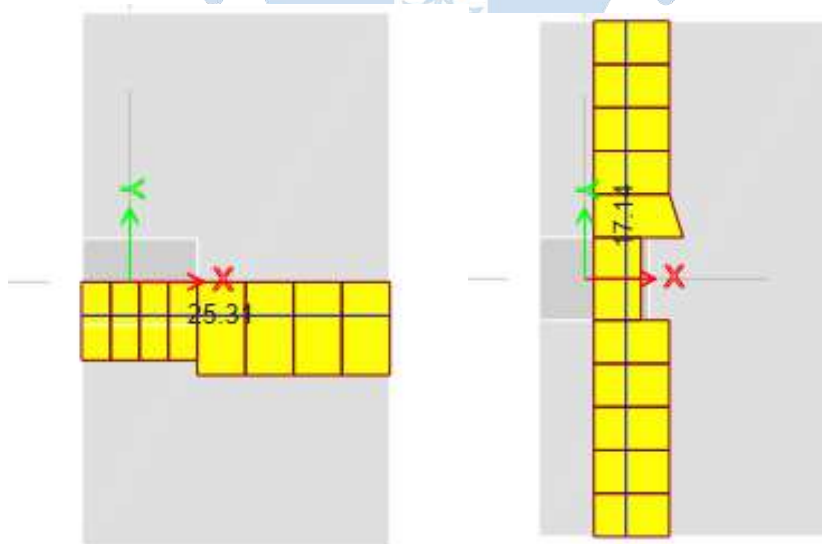
El máximo momento en la dirección x, a la cara de la columna es 19.53 ton*m.

El máximo momento en la dirección y, a la cara de la columna es 22.67 ton*m.

(*Los valores no se pueden observar en las imágenes debido a una restricción del software, sin embargo, se han colocado por escrito).

4.4.3.6 Cantidad de acero

Figura 78. Diagramas de distribución del acero



Nota. Adaptado de Software SAFE (2021).

La cantidad de acero en la dirección x es 25.31 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 17.14 cm².

4.4.4 Diseño con el software DZAIS 1.0

4.4.4.1 Condiciones en servicio

Figura 79. Resultados en condiciones de servicio

DZAIS 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP

COMB1	CM + CV*fred
COMB2	CM + 0.8CSX
COMB3	CM - 0.8CSX
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSX
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSX
COMB6	CM + 0.8CSY
COMB7	CM - 0.8CSY
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSY
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSY

Verificación de Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.1269	0.1319
0.0448	0.0754
0.3	0.1042
0.0089	0.1175
0.2781	0.1504

Excentricidad cae fuera del Nucleo Central

Presión admisible [ton/m2]

por Corte

27.598
35.0756
32.6514
35.6
33.019

Presión admisible [ton/m2]

por Asentamiento

46.0124
46.0124
46.0124
46.0124
46.0124

Verificación de Presiones [ton/m2]

P. admisible neta	P. en servicio
24.598	20.4129
32.0756	13.7723
29.6514	17.8668
32.6	12.5642
30.019	18.2891

Cumple por Presiones

COMB1| Asentamiento 0.0111 m

Resumen de Dimensiones

L	1.6 m	B	2.8 m
Lx1	0 m	Lvy1	1.1 m
Lx2	1 m	Lvy2	1.1 m
hc	0.5 m	d	0.409 m
L/6	0.267 m	B/6	0.467 m

REGRESAR

SIGUIENTE

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.4.4.2 Condiciones últimas

Figura 80. Resultados en condiciones últimas

DZAIS 1.0 - [Condiciones Últimas]

Combinaciones Últimas - NTP

COMB1	1.4CM + 1.7CV*fred
COMB2	1.25CM + 1.25CV*fred + CSX
COMB3	1.25CM + 1.25CV*fred - CSX
COMB4	0.9CM + CSX
COMB5	0.9CM - CSX
COMB6	1.25CM + 1.25CV*fred + CSY
COMB7	1.25CM + 1.25CV*fred - CSY
COMB8	0.9CM + CSY
COMB9	0.9CM - CSY

Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.1312	0.1389
0.0089	0.1175
0.2781	0.1504
0.0909	0.0716
0.4	0.1125

Presión de diseño [ton/m2]

P. última
30.5167
20.9403
30.4818
14.6763
18.7755

Cortante

Vux ton Vuy ton

ϕV_{cx} ton ϕV_{cy} ton

Cumple por Cortante

Flexión

Mux ton x m Muy ton x m

ϕM_{nx} ton x m ϕM_{ny} ton x m

$\rho+$ $\rho+$

Asx cm2 Asy cm2

¡ Diseño por flexión satisfactorio !

Aplastamiento

Pu ton

ϕP_n ton

A1 ton

A2 ton

Cumple por Aplastamiento

Punzonamiento

Vu ton

ϕV_c ton

bo m

Ao m2

Cumple por Punzonamiento

Refuerzo

En la dirección L Acero de 5/8" @ cm

En la dirección B Acero de 5/8" @ cm

Presión máxima ton/m2

REGRESAR FINALIZAR

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.4.5 Comparaciones y verificaciones

Tabla 19. Comparación de resultados del ejemplo 3

TABLA DE COMPARACIONES								
Elemento de cálculo			Unidades	Geo5	SAFE	DZAIS	% Diferencia con Geo5	% Diferencia con SAFE
SUELO	CP admisible	Qadm	Ton/m ²	25.19	-	27.60	-8.7	-
	Asentamiento	Se	mm	3.90	-	11.10	-64.9	-
DIMENSIONAMIENTO	Presión máx. servicio	Qsmax	Ton/m ²	15.02	17.76	20.41	-26.4	-13.0
DISEÑO	Presión máx. diseño	Qumax	Ton/m ²	22.31	26.40	30.52	-26.9	-13.5
	Punzonamiento	Vu	Ton	49.96	65.45	116.35	-57.1	-43.7
	Cortante	Vux	Ton	-	24.36	52.07	-	-53.2
		Vuy	Ton	-	26.98	34.79	-	-22.4
	Flexión	Mux	Ton*m	26.59	19.53	44.06	-39.7	-55.7
		Muy	Ton*m	21.58	22.67	30.47	-29.2	-25.6
	Acero	Asx	Cm ²	20.70	25.31	29.38	-29.5	-13.9
		Asy	Cm ²	14.03	17.14	20.45	-31.4	-16.2

4.4.6 Discusión de resultados.

En la etapa de cálculo para los apartados de suelo el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 36.8%

En la etapa de cálculo para los apartados de dimensionamiento el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 26.4%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 13%

En la etapa de cálculo para los apartados de diseño el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 35.6%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 30.5%

En general:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 34.9%
- Las diferencias entre SAFE y DZAIS 1.0 es 28.6%

4.5 Ejemplo 4: Zapata medianera con columna rectangular y viga aérea, análisis uniaxial

4.5.1 Datos de entrada

Tabla 20. Datos de entrada del ejemplo 4

Solicitaciones de entrada			
Carga vertical de carga muerta	PCM	65	Ton
Carga vertical de carga viva	PCV	30	
Datos de la zapata			
Peso específico del concreto	γ_c	2,4	Ton/m ³
Profundidad del fondo de zapata	Df	1,2	m
Diámetro del acero de zapata	ϕ_z	5/8	pulg
Altura de la zapata	hc	0,6	m
Ancho de la zapata	B	2,35	
Largo de la zapata	L	1,1	
Datos de la columna			
Dimensiones de la columna	Xt1	0,75	m
	Yt1	0,3	
Datos del suelo			
Peso específico del suelo	gs	2,1	Ton/m ³
Ángulo de fricción del suelo	ϕ'	29	°
Cohesión del suelo	c'	1,5	Ton/m ²
Módulo de Poisson del suelo	μ_s	0,43	
Módulo de elasticidad promedio	Eprom	1600	Ton/m ²
Espesor del estrato desde el fondo de zapata al suelo rígido	H	16	m
Asentamiento máximo permisible	Smax	2,5	cm
Materiales			
Resistencia a la compresión del concreto	F'c	210	Kg/cm ²
Límite de fluencia del acero	Fy	4200	Kg/cm ²
Otros datos			
Sobrecarga	S/c	0,4	Ton/m ²
Factor de seguridad gravitacional	Fsg	3	
Altura desde el fondo de zapata al eje viga aérea	C	4,8	m

4.5.2 Diseño con el software Geo5

Para desarrollar la zapata medianera con viga aérea suponemos un artificio, el cual consiste en agregar un momento que contrarreste la excentricidad tanto para condiciones en servicio como últimas.

$$M_{sy} = e_x \cdot p_s = 0.175 \cdot 950 = 166.25 \text{ kn} \cdot \text{m} \quad \text{y} \quad M_{uy} = e_x \cdot p_u = 0.175 \cdot 1420 = 248.5 \text{ kn} \cdot \text{m}.$$

4.5.2.1 Condiciones de servicio

Figura 81. Resultados en condiciones de servicio

Nro.	Carga		Nombre	Tipo	N [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	H _x [kN]	H _y [kN]
	Nueva	cambia							
1	Si		COMB1: CM+CV*fred	Diseño	950.00	0.00	166.25	0.00	0.00
2	Si		COMB1: CM+CV*fred	Servicio	950.00	0.00	166.25	0.00	0.00

Nombre	e _x [m]	e _y [m]	σ [kPa]	R _d [kPa]	F.S	Rd(adm) Ton/m2
COMB1: CM+CV*fred	0.00	0.00	367.50	1490.23	3	49.674

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La capacidad portante admisible más desfavorable es 49.67 ton/m².

La máxima presión en servicio es 36.75 ton/m².

Figura 82. Resultados de asentamiento en condiciones de servicio

Asentamiento completo y rotación de la cimentación:
 Asentamiento de la cimentación = 9.5 mm
 Profundidad de la zona de influencia = 7.20 m
 Rotación en dirección de x = 0.000 (tan*1000); (9.3E-17 °)
 Rotación en dirección de y = 0.000 (tan*1000); (1.1E-16 °)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

Para la COMB1 el asentamiento es de 9.5mm.

4.5.2.2 Condiciones de diseño

Figura 83. Resultados en condiciones últimas

Nro.	Carga		Nombre	Tipo	N [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	H _x [kN]	H _y [kN]
	Nueva	cambia							
1	Si		COMB1: 1.4CM+1.7CV	Diseño	1420.00	0.00	248.50	0.00	0.00

Nombre	e _x [m]	e _y [m]	σ [kPa]
COMB1: 1.4CM+1.7CV	0.00	0.00	549.32

Caso de carga más desfavorable Nro. 1. (COMB1: 1.4CM+1.7CV)

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

La máxima presión de diseño es 54.93 ton/m².

El análisis se lleva a cabo con la selección del caso de carga más desfavorable.

Figura 84. Resultados del cálculo en condiciones últimas

Verificación del refuerzo de la cimentación de hormigón armado

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X.

Cuántía del refuerzo $\rho = 0.19 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.03 \text{ m} < 0.22 \text{ m} = c_{max}$
 Momento último $\phi M_n = 434.45 \text{ kNm} > 79.07 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

Cuántía del refuerzo $\rho = 0.30 \% > 0.18 \% = \rho_{min}$
 Posición del eje neutro $c = 0.04 \text{ m} < 0.22 \text{ m} = c_{max}$
 Momento último $\phi M_n = 321.40 \text{ kNm} > 317.42 \text{ kNm} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Zapata para comprobar el fallo del punzonamiento

Fuerza normal de columna $= 1420.00 \text{ kN}$
 Fuerza transmitida dentro del suelo de cimentación $= 906.38 \text{ kN}$
 Fuerza transferida por la fuerza de corte de la cimentación $= 513.62 \text{ kN}$
 Máxima resistencia al corte $V_u = 203.64 \text{ kN/m}$
 Contorno de la sección transversal crítica $b_o = 3.00 \text{ m}$
 Resistencia al corte transmitida por el hormigón $V_c = 684.92 \text{ kN/m}$
 $V_u < V_c \Rightarrow$ No se necesita refuerzo

Zapata para punzonamiento ES SATISFACTORIA

Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

El punzonamiento está dado por $V_p = 51.36 \text{ ton}$.

El aplastamiento es 142 ton.

El Momento en la dirección x es 7.91 ton*m.

El Momento en la dirección y es 31.74 ton*m.

$$A_{req} = 2147.7 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 2280.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{req} = 1688.2 \text{ mm}^2 < A_{inp} = 1710.1 \text{ mm}^2$$

La cantidad de acero en la dirección x es 21.48 cm².

La cantidad de acero en la dirección y es 16.88 cm².

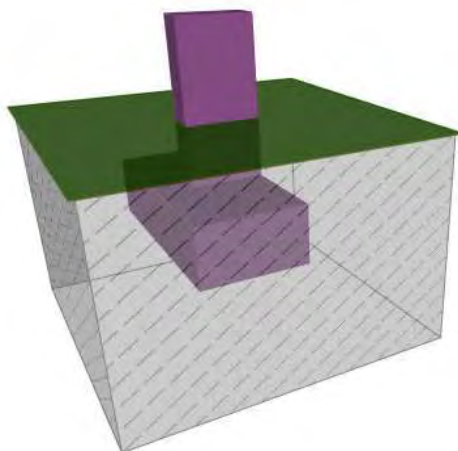
Verificación del refuerzo longitudinal en dirección X.

8 perf. Nro. 6, recubr. 75.0 mm
 Ancho de la sección transversal $= 2.35 \text{ m}$
 Profundidad de la sección transversal $= 0.60 \text{ m}$

Verificación del refuerzo longitudinal en dirección Y

6 perf. Nro. 6, recubr. 75.0 mm
 Ancho de la sección transversal $= 1.10 \text{ m}$
 Profundidad de la sección transversal $= 0.60 \text{ m}$

Figura 85. Vista 3D de la zapata del ejemplo 4



Nota. Adaptado de Software Geo5 (2016).

4.5.3 Diseño con el software DZAIS 1.0

4.5.3.1 Condiciones en servicio

Figura 86. Resultados en condiciones de servicio

DZAIS 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP		Tensiones [m]		Presión admisible [ton/m ²]
		Eje "x"	Eje "y"	por Corte
COMB1	CM + CV*fred	3.4635		50.0856
COMB2	CM + 0.8CSX			
COMB3	CM - 0.8CSX			
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75* 0.8CSX			
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSX			
COMB6	CM + 0.8CSY			
COMB7	CM - 0.8CSY			
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSY			
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSY			

Presión admisible [ton/m ²]	Verificación de Presiones [ton/m ²]		Resumen de Dimensiones	
por Asentamiento	P. admisible neta	P. en servicio		
43.3209	40.2209	36.7505	L	1.1 m
			B	2.35 m
			Lx1	0 m
			Lx2	0.35 m
			hc	0.6 m
			L/6	0.183 m
			Lx1	1.03 m
			Lx2	1.03 m
			d	0.509 m
			B/6	0.392 m

COMB1| Asentamiento 0.0212 m

Cumple por Presiones

REGRESAR SIGUIENTE

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.5.3.2 Condiciones últimas

Figura 87. Resultados en condiciones últimas

DZAIS 1.0 - [Condiciones Últimas]

Combinaciones Últimas - NTP

COMB1	1.4CM + 1.7CV*fred
COMB2	1.25CM + 1.25CV*fred + CSX
COMB3	1.25CM + 1.25CV*fred - CSX
COMB4	0.9CM + CSX
COMB5	0.9CM - CSX
COMB6	1.25CM + 1.25CV*fred + CSY
COMB7	1.25CM + 1.25CV*fred - CSY
COMB8	0.9CM + CSY
COMB9	0.9CM - CSY

Tensiones [m]

Eje "x"	Eje "y"
5.1771	

Presión de diseño [ton/m2]

P. última
54.9323

Cortante

Vux	-20.54	ton	Vuy	31.17	ton
ϕV_{cx}	78.11	ton	ϕV_{cy}	36.56	ton

Cumple por Cortante

Flexión

Mux	7.907	ton x m	Muy	31.742	ton x m
ϕM_{nx}	297.86	ton x m	ϕM_{ny}	139.42	ton x m
$\rho+$	0.0018		$\rho+$	0.0031	
Asx	21.672	cm2	Asy	17.111	cm2

Presión máxima 54.9323 ton/m2

¡ Diseño por flexión satisfactorio !

Aplastamiento

Pu	142	ton
ϕP_n	230.34	ton
A1	0.22	ton
A2	0.22	ton

Cumple por Aplastamiento

Punzonamiento

Vu	86.04	ton
ϕV_c	168.61	ton
bo	2.818	m
Ao	1.019	m2

Cumple por Punzonamiento

Refuerzo

En la dirección L	Acero de 5/8" @	21	cm
En la dirección B	Acero de 5/8" @	13	cm

REGRESAR FINALIZAR

Nota. Adaptado de Software DZAIS 1.0

4.5.4 Comparaciones y verificaciones

Tabla 21. Comparación de resultados del ejemplo 4

TABLA DE COMPARACIONES						
Elemento de cálculo			Unidades	Geo5	DZAIS	% Diferencia con Geo5
SUELO	CP admisible	Qadm	Ton/m ²	49.67	50.09	-0.8
	Asentamiento	Se	mm	9.50	21.20	-55.2
DIMENSIONAMIENTO	Presión máx. servicio	Qsmax	Ton/m ²	36.75	36.75	0.0
DISEÑO	Presión máx. diseño	Qumax	Ton/m ²	54.93	54.93	0.0
	Punzonamiento	Vu	Ton	51.36	86.04	-40.3
	Cortante	Vux	Ton	-	-20.54	-
		Vuy	Ton	-	31.17	-
	Flexión	Mux	Ton*m	7.91	7.91	0.0
		Muy	Ton*m	31.74	31.74	0.0
	Acero	Asx	Cm ²	21.48	21.67	-0.9
		Asy	Cm ²	16.88	17.11	-1.3

4.5.5 Discusión de resultados.

En la etapa de cálculo para los apartados de suelo el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 28%

En la etapa de cálculo para los apartados de dimensionamiento el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 0%

En la etapa de cálculo para los apartados de diseño el promedio de:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 7.1%

En general:

- Las diferencias entre Geo5 y DZAIS 1.0 es 11%

Conclusiones

Se concluye que el programa DZAIS 1.0 es un software de fácil manejo, que presenta una interfaz sencilla y que muestra resultados de manera intuitiva para el diseño de zapatas aisladas

Se puede concluir que el proceso iterativo que se realiza para diseñar zapatas aisladas sometidas a flexión uniaxial y biaxial se realiza de manera efectiva con el software Visual Basic 6.0, por lo que es una herramienta muy útil para los diseños ingenieriles

Se puede verificar que el programa DZAIS 1.0 logra diseñar zapatas aisladas sometidas a flexión uniaxial y biaxial acorde a la normativa peruana y con los métodos de la ingeniería civil actuales

En el análisis comparativo se pueden identificar tres aspectos:

Cálculo de presiones admisibles y asentamientos:

- Se encuentra un porcentaje de variación del orden del 7% con Geo5 en el cálculo de la capacidad portante admisible
- En el cálculo de asentamientos, las diferencias son sustanciales debido principalmente al método edométrico empleado por Geo5, que de acuerdo con Mánica (2012) conduce a errores considerables cuando se analiza un espesor de suelo de gran profundidad o suelos de alta compresibilidad.
- SAFE no evalúa esta parte

Cálculo de presiones transmitidas al suelo:

- Las diferencias con Geo5 están en el orden del 18%, mientras que, las diferencias con SAFE en 5%. Esto se debe a que Geo5 calcula las presiones con el área efectiva de forma rectangular producida por las excentricidades, mientras que, SAFE trabaja con las rigideces relativas entre la zapata y el suelo, el cual se ha considerado como un resorte que se deforma de manera lineal

Cálculo de fuerzas de diseño y verificaciones:

- Las diferencias están en el orden del 14%, principalmente debido a que DZAIS 1.0 usa el máximo valor de las presiones últimas, el cual se ha distribuido uniformemente debajo de toda la zapata para el diseño de los estados límites
- Es necesario indicar que SAFE y Geo5 toman en cuenta la contribución al corte por punzonamiento, producido por los momentos en la base de la columna, algo que la NTE 060 no lo considera

Se concluye que el uso de viga aérea para zapatas medianera y esquineras es una buena alternativa para contrarrestar la excentricidad permitiendo un diseño adecuado

Se puede concluir que el programa DZAIS 1.0 es una herramienta efectiva que entrega resultados aceptables integrando las ramas de geotecnia y estructuras



Recomendaciones

Dado que se ha diseñado el software DZAIS solo para el cálculo del asentamiento inmediato, para futuras tesis, se recomienda incluir en el diseño la teoría de asentamientos por consolidación, método que predomina en las arcillas saturadas.

Se recomienda incluir la opción de descargar un informe en formato PDF de los datos ingresados, la metodología utilizada y resultados. Además, los detalles del dimensionado y refuerzo en vistas tanto vertical como horizontal.

Se recomienda desarrollar un algoritmo que permita el diseño de zapatas combinadas, y plateas de cimentación con el método de F. irles y R. irles.



Referencias bibliográficas

- Bocanegra, C. (2005). *Desarrollo de un software para el diseño de zapatas rectangulares por flexión biaxial* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad De Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1371>
- Calavera, J. (2000). *Cálculo de estructuras de cimentación* (4.ª ed.). Instituto Técnico de Materiales y Construcciones. <https://www.libreriaingeniero.com/2018/02/calculo-de-estructuras-de-cimentacion-jose-calavera.html>
- Das, B. (2017). *Shallow foundation: bearing capacity and settlement* (3.ª ed.) Taylor & Francis Group.
- Das, B. y Sivakugan, S (2019). *Principles of Foundation Engineering* (9.ª ed.). Cengage Learning.
- Garza Vásquez, L. (2000). *Diseño de estructuras de cimentación*. Universidad Nacional de Colombia. https://www.medellin.unal.edu.co/~lgarza/cimentaciones/NDEC_SE.pdf
- Irles, F. e Irles, R. (1992). Alternativa analítica a la determinación de tensiones bajo zapatas rectangulares con flexión biaxial y despegue parcial. *Informes De La Construcción*, 44(419), 77–89. <https://doi.org/10.3989/ic.1992.v44.i419.1338>
- Lukić Kristić, I., Szavits-Nossan, V., Mišćević, P. (2017). Direct method for determination of shallow foundation settlements, *GRAĐEVINAR*, 69 (6), 467-477. <https://doi.org/10.14256/JCE.1926.2016>
- Mánica, M. (2012). Distribución de asentamientos elásticos producidos por una configuración de carga superficial compleja. *SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA A.C.* <https://doi.org/10.13140/2.1.4914.5284>
- Merino, L. Y Ruiz, G. (2015). *Diseño de cimentaciones superficiales isostáticas soportadas por programa de simulación computarizado* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2100>
- Norma Técnica de Edificaciones (2020). *E.020 Cargas*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Norma Técnica de Edificaciones (2020). *E.030 Diseño*. Sismorresistente. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

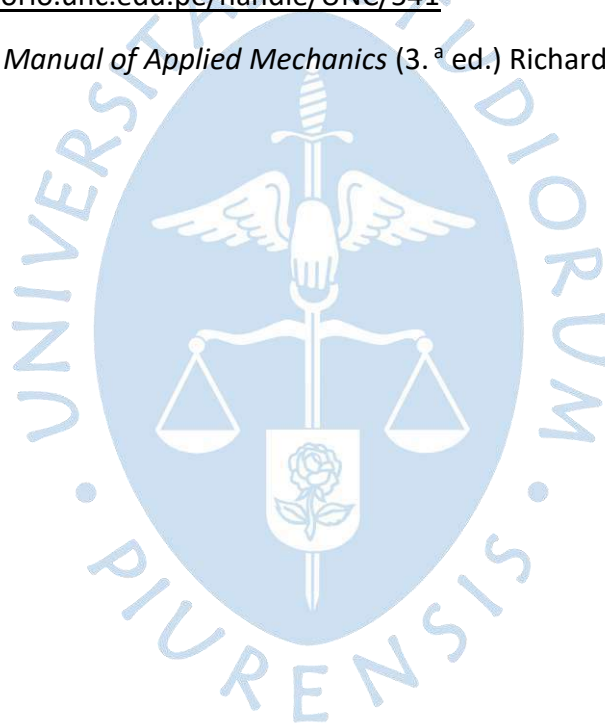
Norma Técnica de Edificaciones (2020). *E.050 Suelos y cimentaciones*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Norma Técnica de Edificaciones (2020). *E.060 Concreto Armado*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Ottazzi, G. (2015). *Apuntes del curso concreto armado 1* (15.ª ed.). Pontificia Universidad Católica Del Perú

Rodríguez, A. (2015). *Análisis comparativo del diseño de zapatas aisladas y combinadas rectangulares por flexión uniaxial y biaxial con programa computacional elaborado y SAFE*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional De Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/541>

Rankine, W. (1858). *A Manual of Applied Mechanics* (3.ª ed.) Richard Griffin and company.



Apéndices



Apéndice A

Nomenclaturas

A : Variable utilizada en el método de F. irles y R. irles para hallar las presiones.

A_1 : Área de la sección transversal de la columna, utilizado en el cálculo del aplastamiento.

A_2 : Área proyectada o efectiva generada por el aplastamiento.

A_s : Área de Acero longitudinal.

A_{sb} : Área de Acero balanceado.

A_{smax} : Área de Acero máximo.

A_{smin} : Área de Acero mínimo.

A_{sx} : Área de acero calculada en la dirección x.

A_{sy} : Área de acero calculada en la dirección y.

A_{sminx} : Área de Acero mínimo en dirección x.

A_{sminy} : Área de Acero mínimo en dirección y.

A_t : Área sombreada utilizada en el software de Geo5 para el cálculo del punzonamiento.

A_{zap} : Área de la zapata.

B : Ancho de la zapata en la dirección y.

B_e : Diámetro equivalente de la zapata.

B_{ef} : Dimensión efectiva menor.

Bm : Mínimo valor de las dimensiones reales de zapata.

bo : Perímetro del área crítica del punzonamiento.

B' : Dimensión efectiva de la zapata en la dirección y, resultado de las excentricidades.

c : Altura desde el fondo de la zapata hasta el eje de la viga aérea del primer piso.

c_n : Distancia desde el eje de la columna al punto donde se quiere hallar la presión.

C : Variable utilizada en el método de F. irles y R. irles para hallar las presiones.

Cgx : Centro geométrico de la columna en la dirección x.

C_{gy} : Centro geométrico de la columna en la dirección y.

CS : Combinación en condiciones de servicio.

c' : Cohesión del suelo.

d : Peralte efectivo de la zapata.

D_f : profundidad del fondo de zapata.

D_w : Profundidad a la que se encuentra la napa freática.

D1: Diámetro de la columna.

E_f : Módulo de elasticidad del concreto.

E_{prom} : Módulo de elasticidad promedio del suelo.

E_s : Módulo de elasticidad del suelo.

e_x : Excentricidad en dirección x

e_x' : Coordenada en dirección x del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata.

e_y : Excentricidad en dirección y

e_y' : Coordenada en dirección y del centro geométrico de la columna respecto al centro de la zapata.

F_{ci} : Factores de inclinación de carga correspondiente a la cohesión.

F_{qi} : Factores de inclinación de carga correspondiente a la sobrecarga.

$F_{\gamma i}$: Factores de inclinación de carga correspondiente a la fricción.

F_{cd} : Factores de profundidad correspondiente a la cohesión.

F_{qd} : Factores de profundidad correspondiente a la sobrecarga.

$F_{\gamma d}$: Factores de profundidad correspondiente a la fricción.

F_{cs} : Factores de forma correspondiente a la cohesión.

F_{qs} : Factores de forma correspondiente a la sobrecarga.

$F_{\gamma s}$: Factores de forma correspondiente a la fricción.

f'_c : Resistencia a compresión del concreto.

F_{sg} : Factor de seguridad para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo para cargas gravitacionales.

F_{ss} : Factor de seguridad para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo para cargas con sismo.

f_y : Límite de fluencia del acero.

g_m : Simplificación del peso específico del suelo cuando se evalúa la influencia de la freática.

g_p : Peso específico sumergido del suelo.

g_s : Peso específico del suelo.

g_{sat} : Peso específico saturado del suelo.

g_w : Peso específico del agua.

H : Altura del estrato desde el fondo de la zapata al suelo rígido (m).

h_c : Peralte de la zapata.

I : Momento de inercia respecto al eje donde se aplica el momento.

I_E : Factor de corrección de empotramiento de zapata de Mayne y Poulos.

I_G : Factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo E_s de Mayne y Poulos.

I_R : Factor de corrección de rigidez de la zapata de Mayne y Poulos.

k_z : Módulo de reacción de la subrasante.

L : largo de la zapata.

L_{vx} : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje x.

L_{vx1} : voladizo 1 en dirección x.

L_{vx2} : voladizo 2 de la zapata en el eje x.

L_{vy} : Simplificación de las dimensiones del voladizo en eje y.

L_{vy1} : voladizo 1 en dirección y.

L_{vy2} : voladizo 2 de la zapata en el eje y.

L' : Dimensión efectiva de la zapata en la dirección x, resultado de las excentricidades.

M : Momento flector aplicado en la base de la columna.

MS_x : Momentos en servicio que gira en el eje x.

MS_y : Momentos en servicio que gira en el eje y.

Mu : Momento último.

Mn : Momento nominal.

m : Dimensiones producidas en la distribución de presiones el desarrollo del método de F. Irles y R. Irles.

Mu_x : Momento último en la cara de la columna para la dirección x.

Mu_y : Momento último en la cara de la columna para la dirección y.

MCMX: Momento por carga muerta en el eje x, aplicado en la base de la columna.

MCMY: Momento por carga muerta en el eje y, aplicado en la base de la columna.

MCVX: Momento por carga viva en el eje x, aplicado en la base de la columna.

MCVY: Momento por carga viva en el eje y, aplicado en la base de la columna.

MEQX: Momento por carga de sismo en el eje x, aplicado en la base de la columna.

MEQY: Momento por carga de sismo en el eje y, aplicado en la base de la columna.

n : Dimensión producida en el desarrollo del método de F. Irles y R. Irles.

N_c : Factor de capacidad de carga correspondiente a la cohesión.

N_q : Factor de capacidad de carga correspondiente a la sobrecarga.

N_γ : Factor de capacidad de carga correspondiente a la fricción.

P: Carga vertical aplicada en la base de la columna.

PS : Carga vertical en servicio aplicada en la base de la columna.

Pu : Carga vertical en condiciones últimas aplicada en la base de la columna.

R : Resultante de las presiones de contacto entre el suelo y zapata.

PCM: Carga vertical por carga muerta aplicada en la base de la columna.

PCV: Carga vertical por carga viva aplicada en la base de la columna.

PEQX: Carga vertical por carga de sismo en la dirección x, aplicada en la base de la columna.

PEQY: Carga vertical por carga de sismo en la dirección y, aplicada en la base de la columna.

q : Presión efectiva del suelo, definido como la diferencia de entre el esfuerzo total y la presión de poros.

q_0 : Presión neta aplicada sobre la cimentación.

q_u : Capacidad portante última por corte.

q_{adm} : Capacidad portante admisible.

R_d : Capacidad portante de la cimentación, utilizado en el software Geo5.

S_e : Asentamiento producido por la presión neta.

S_{max} : Asentamiento máximo admisible.

S_x : Espaciamiento de las varillas de acero en la dirección x.

S_y : Espaciamiento de las varillas de acero en la dirección y.

S/c : Sobrecarga.

T_x : Tensión en la viga superior en la dirección x.

T_y : Tensión en la viga superior en la dirección y.

V_p : La cortante bidireccional o punzonamiento.

Vu_x : Cortante último en la dirección x.

Vu_y : Cortante último en la dirección y.

W : Índice de refuerzo, parámetro adimensional.

W_{max} : Índice de refuerzo máximo, parámetro adimensional.

W_x : Índice de refuerzo para la dirección x.

W_y : Índice de refuerzo para la dirección y.

Xt : Simplificación de las dimensiones de la columna en la dirección x.

$Xt1, Xt2, Yt1, Yt2$: dimensiones de la columna.

Yt : Simplificación de las dimensiones de la columna en la dirección y.

α : Dimensión de un lado del área producida por la distribución de presiones el desarrollo del método de F. Irles y R. Irles.

α_o : 40 para zapatas centradas y excéntricas, 30 para zapatas medianeras y 20 para zapatas esquineras.

β_p : Dimensión de un lado del área producida por la distribución de presiones el desarrollo del método de F. Irles y R. Irles.

β_G : Parámetro utilizado en el cálculo del factor del efecto de la variación del módulo de elasticidad del suelo I_G .

β_1 : Factor utilizado para el cálculo del bloque de Withney que depende de la resistencia la compresión del concreto.

γ_c : Peso específico del concreto.

δ : Variable utilizada en el método de F. irles y R. irles para hallar las presiones.

μ : Variable utilizada en el método de F. irles y R. irles para hallar las presiones.

μ_s : Módulo de Poisson del suelo.

ν : Variable utilizada en el método de F. irles y R. irles para hallar las presiones.

ρ : Cuantía de acero de refuerzo.

ρ_x : Cuantía de acero de refuerzo en la dirección x.

ρ_y : Cuantía de acero de refuerzo en la dirección y.

ρ_{\max} : Cuantía máxima de acero de refuerzo en la dirección x.

σ : Presión de contacto entre la zapata y el suelo.

σ_{\min} : Presión calculada menor de contacto entre la zapata y el suelo.

σ_{\max} : Presión calculada mayor de contacto entre la zapata y el suelo.

$\sigma_{s\max}$: Presión máxima debajo de la zapata en condiciones de servicio.

σ_R : Presión debajo la zapata en la esquina R.

σ_S : Presión debajo la zapata en la esquina S.

σ_T : Presión debajo la zapata en la esquina T.

σ_V : Presión debajo la zapata en la esquina V.

σ_{ns} : Capacidad portante neta en condición estática.

σ_{nEQ} : Capacidad portante neta en condiciones dinámicas.

σ'_R : Artificio para el cálculo de las presiones en el caso R.

$\sigma_{u\max}$: Presión máxima debajo de la zapata en condiciones últimas.

ϕ : Factor de reducción de resistencia especificado en la Norma E060.

ϕ' : Ángulo de fricción del suelo.

Φ_z : Diámetro del acero de zapata.

ϕP_n : Resistencia contra aplastamiento.

ϕV_{c_x} : Resistencia al Cortante en la dirección x.

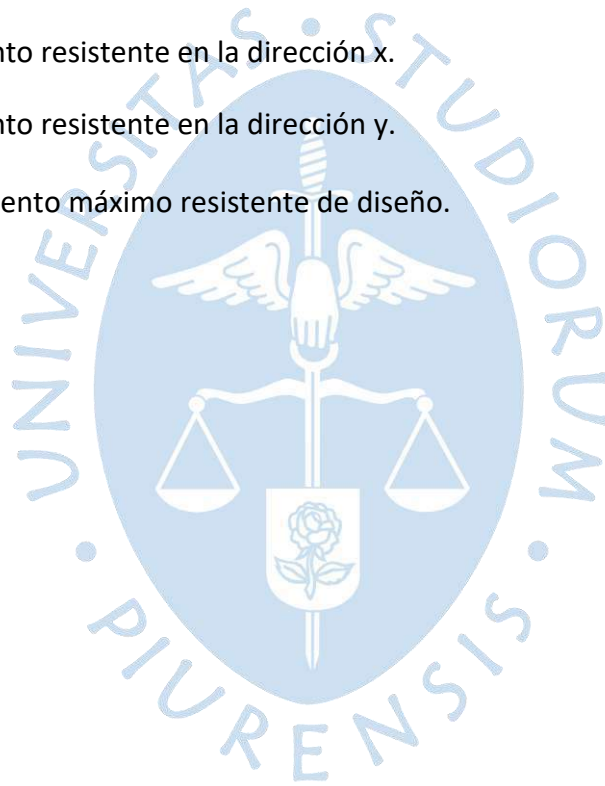
ϕV_{c_y} : Resistencia al Cortante en la dirección y.

ϕV_{pc} : Resistencia contra el cortante bidireccional o punzonamiento.

ϕM_{n_x} : Momento resistente en la dirección x.

ϕM_{n_y} : Momento resistente en la dirección y.

$\phi M_{n_{\max}}$: Momento máximo resistente de diseño.



Apéndice B

Formulario

Procedimiento para condiciones en servicio

Fórmulas para cálculo de la combinación en servicio caso uniaxial (solo cargas gravitacionales).

Cargas axiales en servicio	Momentos en servicio
$PS = PCM + PCV \cdot f_{red}$	$MS = MCMY + MCVY \cdot f_{red}$

Fórmulas para el cálculo de las combinaciones en servicio caso uniaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

Cargas axiales en servicio	Momentos en servicio
$PS_1 = PCM + PCV \cdot f_{red}$	$MS_1 = MCMY + MCVY \cdot f_{red}$
$PS_2 = PCM + 0.8PEQX$	$MS_2 = MCMY + 0.8MEQY$
$PS_3 = PCM - 0.8PEQX$	$MS_3 = MCMY - 0.8MEQY$
$PS_4 = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} + 0.8PEQX)$	$MS_4 = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red} + 0.8MEQY)$
$PS_5 = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} - 0.8PEQX)$	$MS_4 = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red} - 0.8MEQY)$

Fórmulas para el cálculo de la combinación en servicio caso biaxial (solo cargas gravitacionales).

Cargas axiales en servicio	Momentos en servicio
$PS_1 = PCM + PCV \cdot f_{red}$	$MS_{y.1} = MCMY + MCVY \cdot f_{red}$ $MS_{x.1} = MCMX + MCVX \cdot f_{red}$

Fórmulas para el cálculo de las combinaciones en servicio caso biaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

Cargas axiales en servicio	Momentos en servicio
Cargas gravitacionales	
$PS_1 = PCM + PCV \cdot f_{red}$	$MS_{x.1} = MCMX + MCVX \cdot f_{red}$ $MS_{y.1} = MCMY + MCVY \cdot f_{red}$
Cargas gravitacionales + cargas de sismo x	
$PS_{x.x.2} = PCM + 0.8PEQX$ $PS_{x.x.3} = PCM - 0.8PEQX$ $PS_{xx4} = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} + 0.8PEQX)$ $PS_{xx5} = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} - 0.8PEQX)$	$MS_{y.y.2} = MCMY + 0.8MEQY$ $MS_{x.2} = MCMX$ $MS_{y.y.3} = MCMY - 0.8MEQY$ $MS_{x.3} = MCMX$ $MS_{yy4} = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red} + 0.8MEQY)$ $MS_{x.4} = 0.75(MCMX + MCVX \cdot f_{red})$ $MS_{yy5} = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red} - 0.8MEQY)$ $MS_{x.5} = 0.75(MCMX + MCVX \cdot f_{red})$
Cargas gravitacionales + cargas de sismo y	
$PS_{y.y.2} = PCM + 0.8PEQY$ $PS_{y.y.3} = PCM - 0.8PEQY$ $PS_{yy4} = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} + 0.8PEQY)$ $PS_{yy5} = 0.75(PCM + PCV \cdot f_{red} - 0.8PEQY)$	$MS_{x.x.2} = MCMX + 0.8MEQX$ $MS_{y.2} = MCMY$ $MS_{x.x.3} = MCMX - 0.8MEQX$ $MS_{y.3} = MCMY$ $MS_{xx4} = 0.75(MCMX + MCVX \cdot f_{red} + 0.8MEQX)$ $MS_{y.4} = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red})$ $MS_{xx5} = 0.75(MCMX + MCVX \cdot f_{red} - 0.8MEQX)$ $MS_{y.5} = 0.75(MCMY + MCVY \cdot f_{red})$

Fórmulas para el cálculo de las excentricidades en servicio

Caso uniaxial (solo cargas gravitacionales).

$$e_s = \left| e_x' + \frac{MS_y}{PS} \right|$$

Caso uniaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

$$e_{si} = \left| e_x' + \frac{MS_{y,i}}{PS_i} \right|$$

Caso biaxial (solo cargas gravitacionales).

Excentricidades	Excentricidad x	Excentricidad y
Cargas gravitacionales	$e_{sx} = \left e_x' + \frac{MS_y}{PS} \right $	$e_{sy} = \left e_y' + \frac{MS_x}{PS} \right $

Caso biaxial (cargas gravitacionales + sismo).

Excentricidades	Excentricidad x	Excentricidad y
Cargas gravitacionales	$e_{sx1} = \left e_x' + \frac{MS_{y,1}}{PS_1} \right $	$e_{sy1} = \left e_y' + \frac{MS_{x,1}}{PS_1} \right $
Cargas gravitacionales + sismo x	$e_{sxx,i} = \left e_x' + \frac{MS_{yy,i}}{PS_{xx,i}} \right $	$e_{syx,i} = \left e_y' + \frac{MS_{xx,i}}{PS_{xx,i}} \right $
Cargas gravitacionales + sismo y	$e_{sxy,i} = \left e_x' + \frac{MS_{y,i}}{PS_{yy,i}} \right $	$e_{syy,i} = \left e_y' + \frac{MS_{xx,i}}{PS_{yy,i}} \right $

Donde:

El subíndice i representa las 4 combinaciones que consideran el sismo.

El subíndice g:1,xx,yy, de esta manera se empleará una nomenclatura uniforme.

Procedimiento para condiciones últimas

Fórmulas para cálculo de la combinación en condiciones últimas, caso uniaxial (solo cargas gravitacionales).

Cargas axiales últimas	Momentos últimos
$Pu = 1.4PCM + 1.7PCV \cdot f_{red}$	$Mu = 1.4MCM + 1.7MCV \cdot f_{red}$

Fórmulas para cálculo de las combinaciones en condiciones últimas, caso uniaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

Cargas axiales últimas	Momentos últimos
$Pu_1 = 1.4PCM + 1.7PCV \cdot f_{red}$	$Mu_1 = 1.4MCMY + 1.7MCVY \cdot f_{red}$
$Pu_2 = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) + PEQX$	$Mu_2 = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red}) + MEQY$
$Pu_3 = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) - PEQX$	$Mu_3 = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red}) - MEQY$
$Pu_4 = 0.9PCM + PEQX$	$Mu_4 = 0.9MCMY + MEQY$
$Pu_5 = 0.9PCM - PEQX$	$Mu_5 = 0.9MCMY - MEQY$

Fórmulas para cálculo de la combinación en condiciones últimas, caso biaxial (solo cargas gravitacionales).

Cargas axiales últimas	Momentos últimos
$Pu_1 = 1.4PCM + 1.7PCV \cdot f_{red}$	$Mu_{y,1} = 1.4MCMY + 1.7MCVY \cdot f_{red}$ $Mu_{x,1} = 1.4MCMX + 1.7MCVX \cdot f_{red}$

Fórmulas para cálculo de las combinaciones en condiciones últimas, caso biaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

Cargas axiales últimas	Momentos últimos
Cargas gravitacionales	
$Pu_1 = 1.4PCM + 1.7PCV \cdot f_{red}$	$Mu_{x.1} = 1.4MCMX + 1.7MCVX \cdot f_{red}$ $Mu_{y.1} = 1.4MCMY + 1.7MCVY \cdot f_{red}$
Cargas gravitacionales + cargas de sismo en eje x	
$Pu_{x.x.2} = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) + PEQX$ $Pu_{x.x.3} = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) - PEQX$ $Pu_{x.x.4} = 0.9PCM + PEQX$ $Pu_{x.x.5} = 0.9PCM - PEQX$	$Mu_{y.y.2} = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red}) + MEQY$ $Mu_{x.x.2} = 1.25(MCMX + MCVX \cdot f_{red})$ $Mu_{y.y.3} = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red}) - MEQY$ $Mu_{x.x.3} = 1.25(MCMX + MCVX \cdot f_{red})$ $Mu_{y.y.4} = 0.9MCMY + MEQY$ $Mu_{x.x.4} = 0.9MCMX$ $Mu_{y.y.5} = 0.9MCMY - MEQY$ $Mu_{x.x.5} = 0.9MCMX$
Cargas gravitacionales + cargas de sismo en eje y	
$Pu_{y.y.2} = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) + PEQY$ $Pu_{y.y.3} = 1.25(PCM + PCV \cdot f_{red}) - PEQY$ $Pu_{y.y.4} = 0.9PCM + PEQY$ $Pu_{y.y.5} = 0.9PCM - PEQY$	$Mu_{x.x.2} = 1.25(MCMX + MCVX \cdot f_{red}) + MEQX$ $Mu_{y.y.2} = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red})$ $Mu_{x.x.3} = 1.25(MCMX + MCVX \cdot f_{red}) - MEQX$ $Mu_{y.y.3} = 1.25(MCMY + MCVY \cdot f_{red})$ $Mu_{x.x.4} = 0.9MCMX + MEQX$ $Mu_{y.y.4} = 0.9MCMY$ $Mu_{x.x.5} = 0.9MCMX - MEQX$ $Mu_{y.y.5} = 0.9MCMY$

Fórmulas para el cálculo de excentricidades totales últimas

Caso uniaxial (solo cargas gravitacionales).

$$e = \left| e_x' + \frac{Mu_y}{Pu} \right|$$

Caso uniaxial (cargas gravitacionales + cargas de sismo).

$$e_i = \left| e_x' + \frac{Mu_{y,i}}{Pu_i} \right|$$

Caso biaxial (solo cargas gravitacionales).

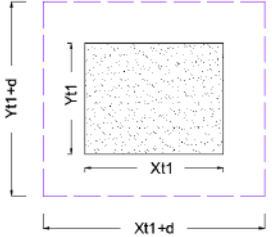
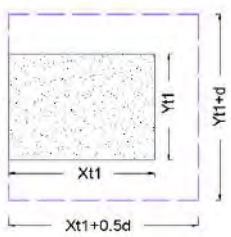
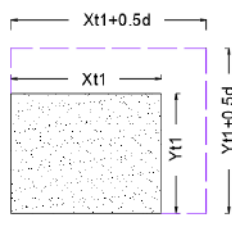
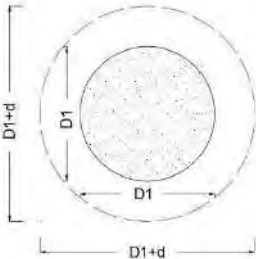
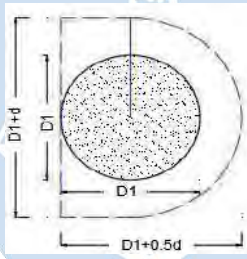
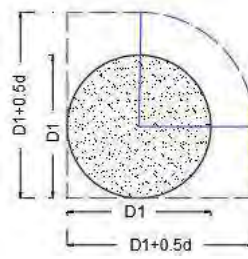
Excentricidades	Excentricidad x	Excentricidad y
Cargas gravitacionales	$e_{x1} = \left e_x' + \frac{Mu_{y,1}}{Pu_1} \right $	$e_{y1} = \left e_y' + \frac{Mu_{x,1}}{Pu_1} \right $

Caso biaxial (cargas gravitacionales + sismo).

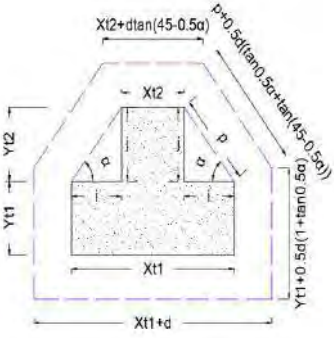
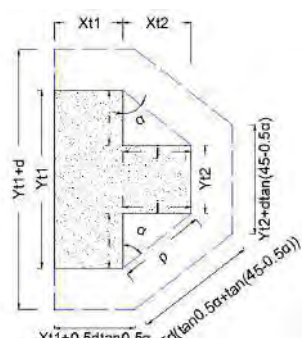
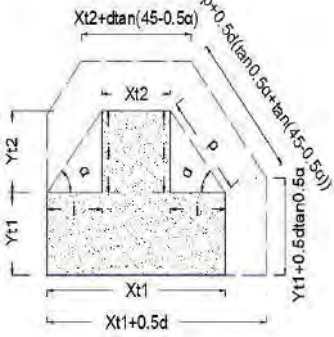
Excentricidades	Excentricidad x	Excentricidad y
Cargas gravitacionales	$e_{x1} = \left e_x' + \frac{Mu_{y,1}}{Pu_1} \right $	$e_{y1} = \left e_y' + \frac{Mu_{x,1}}{Pu_1} \right $
Cargas gravitacionales + sismo x	$e_{xx,i} = \left e_x' + \frac{Mu_{yy,i}}{Pu_{xx,i}} \right $	$e_{yx,i} = \left e_y' + \frac{Mu_{x,i}}{Pu_{xx,i}} \right $
Cargas gravitacionales + sismo y	$e_{xy,i} = \left e_x' + \frac{Mu_{y,i}}{Pu_{yy,i}} \right $	$e_{yy,i} = \left e_y' + \frac{Mu_{xx,i}}{Pu_{yy,i}} \right $

Fórmulas para el cálculo y verificación del punzonamiento

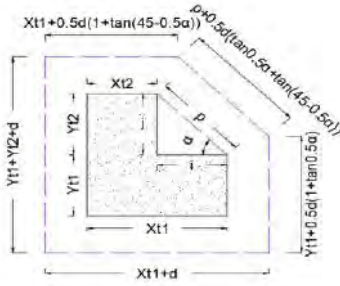
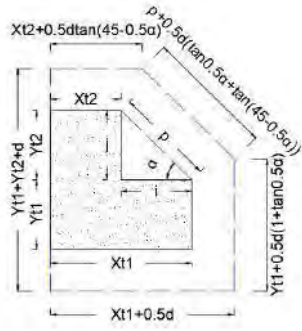
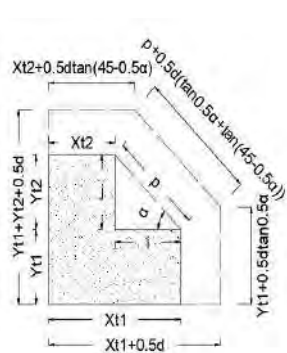
Fórmulas para cálculo del punzonamiento (columna cuadrada, rectangular y circular)..

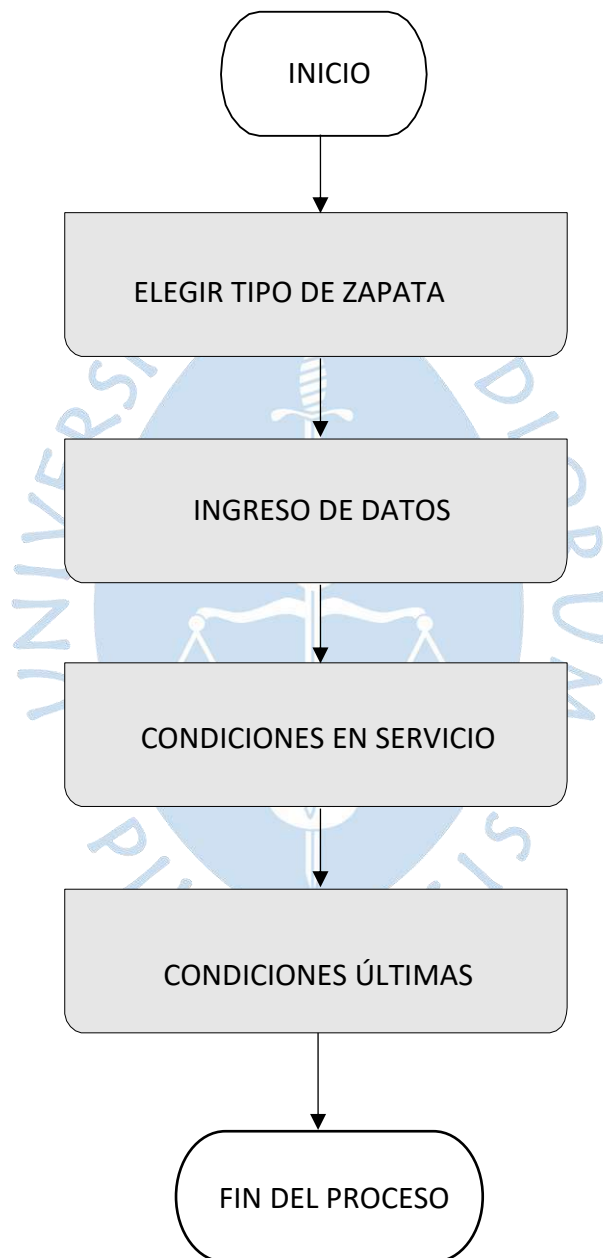
Zapata centrada y excéntrica	Zapata medianera	Zapata esquinera
 $b_o = 2(Xt1 + Yt1 + 2d)$ $A_o = (Xt1 + d)(Yt1 + d)$ $\beta_p = \frac{\text{Max}(Xt1; Yt1)}{\text{Min}(Xt1; Yt1)}$ $\alpha_o = 40$	 $b_o = 2Xt1 + Yt1 + 2d$ $A_o = (Xt1 + 0.5d)(Yt1 + d)$ $\beta_p = \frac{\text{Max}(Xt1; Yt1)}{\text{Min}(Xt1; Yt1)}$ $\alpha_o = 30$	 $b_o = Xt1 + Yt1 + d$ $A_o = (Xt1 + 0.5d)(Yt1 + 0.5d)$ $\beta_p = \frac{\text{Max}(Xt1; Yt1)}{\text{Min}(Xt1; Yt1)}$ $\alpha_o = 20$
 $b_o = \pi(D1 + d)$ $A_o = 0.25\pi(D1 + d)^2$ $\beta_p = 1$ $\alpha_o = 40$	 $b_o = 0.5\pi(D1 + d) + D1$ $A_o = 0.125\pi(D1 + d)^2 + 0.5(D1 + d)D1$ $\beta_p = 1$ $\alpha_o = 30$	 $b_o = 0.25\pi(D1 + d) + D1$ $A_o = 0.0625\pi(D1 + d)^2 + 0.5(D1 + d)D1 + D1^2$ $\beta_p = 1$ $\alpha_o = 20$

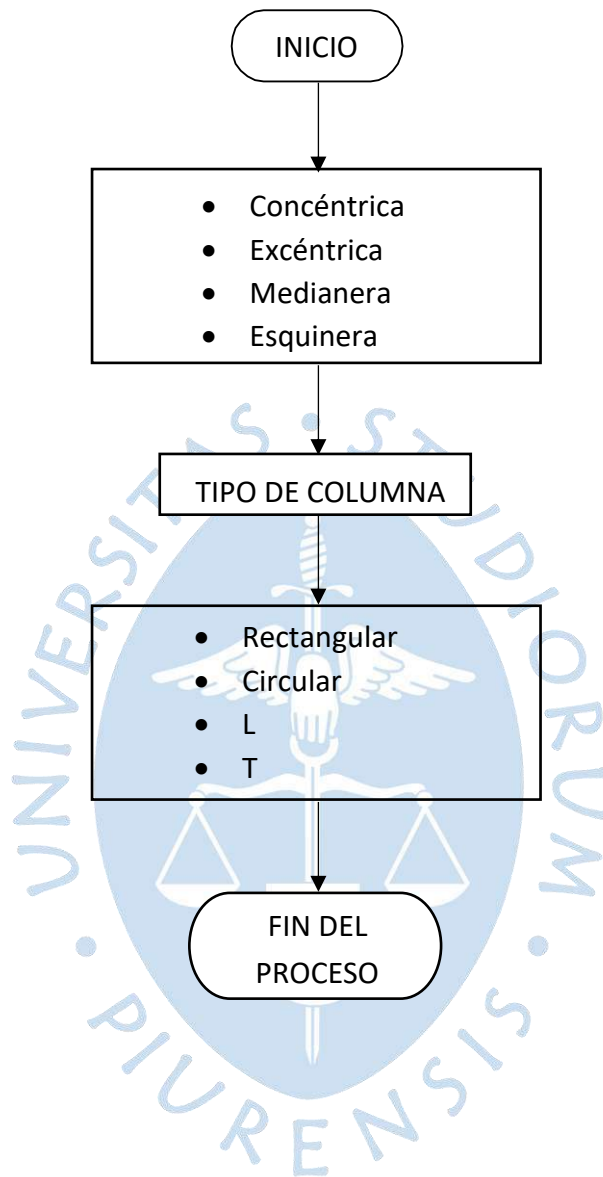
Fórmulas para cálculo del punzonamiento (columna T).

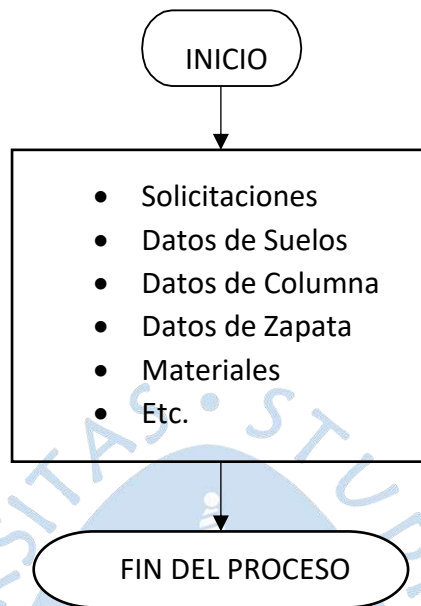
Zapata centrada y excéntrica	Zapata medianera	Zapata esquinera
 $i = 0.5(Xt1 - Xt2)$ $j = (Yt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Xt1 + Xt2 + 2Yt1 + 2\rho + 2d[1 + \tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha)]$ $Ao = (Xt1 + d)[Yt1 + 0.5d(1 + \tan 0.5\alpha)] + 0.5[Xt1 + Xt2 + d(1 + \tan(45 - 0.5\alpha))] * (Yt2 - 0.5d(-1 + 0.5d \tan 0.5\alpha))$ $\beta_p = \frac{Max(Xt1; Yt1 + Yt2)}{Min(Xt1; Yt1 + Yt2)}$ $\alpha_o = 40$	 $i = 0.5(Yt1 - Yt2)$ $j = (Xt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Yt1 + Yt2 + 2Xt1 + d + 2\rho + 2d(\tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha))$ $Ao = (Yt1 + d)[Xt1 + 0.5d \tan 0.5\alpha] + 0.5[Yt1 + Yt2 + d(1 + \tan(45 - 0.5\alpha))] * (Xt2 - 0.5d(-1 + 0.5d \tan 0.5\alpha))$ $\beta_p = \frac{Max(Xt1; Yt1 + Yt2)}{Min(Xt1; Yt1 + Yt2)}$ $\alpha_o = 30$	 $i = 0.5(Xt1 - Xt2)$ $j = (Yt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Xt1 + Xt2 + 2Yt1 + 2\rho + 2d[1 + \tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha)] - 0.5d \tan \alpha - Yt1 - 0.5d(1 + \tan 0.5\alpha)$ $Ao = (Xt1 + d)[Yt1 + 0.5d(1 + \tan 0.5\alpha)] + 0.5[Xt1 + Xt2 + d(1 + \tan(45 - 0.5\alpha))] * (Yt2 - 0.5d(-1 + 0.5d \tan 0.5\alpha)) - (Yt1 + 0.5d \tan 0.5\alpha)(0.5d) - 0.125d^2 \tan \alpha$ $\beta_p = \frac{Max(Xt1; Yt1 + Yt2)}{Min(Xt1; Yt1 + Yt2)}$ $\alpha_o = 20$

Fórmulas para cálculo del punzonamiento (columna L).

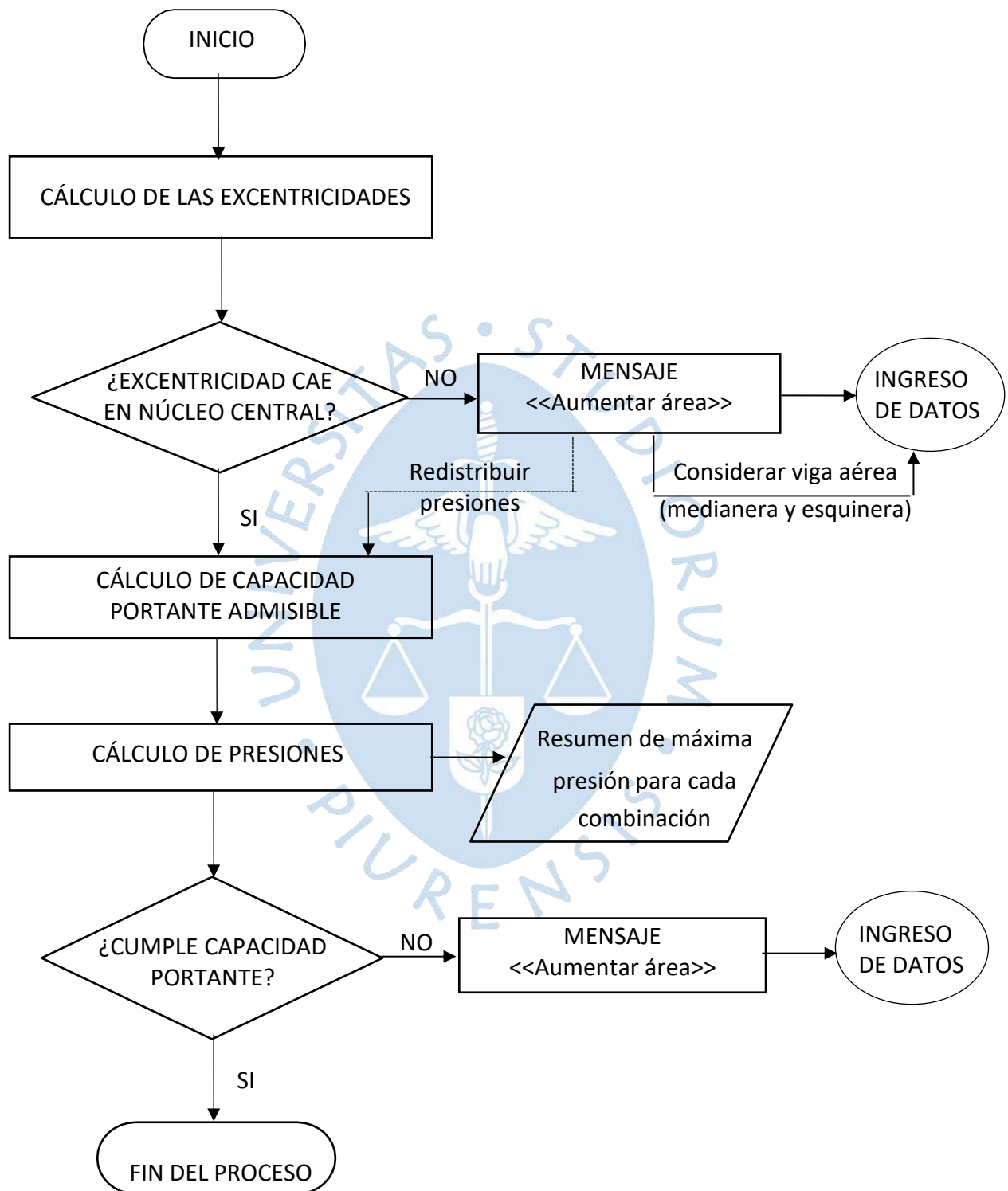
Zapata centrada y excéntrica	Zapata medianera	Zapata esquinera
 $i = (Xt1 - Xt2)$ $j = (Yt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Xt1 + Xt2 + 2Yt1 + Yt2 + 3d + \rho d[\tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha)]$ $Ao = (Yt1 + Yt2 + d)[0.5d(1 + \tan 0.5\alpha) + Xt2] + 0.5[2Yt1 + Yt2 + 1.5d + 0.5d \tan(45 - 0.5\alpha)] * (Xt1 - Xt2 + 0.5d - 0.5d \tan 0.5\alpha)$ $\beta_p = \frac{\sqrt{(Xt)^2 + (Yt)^2}}{\sqrt{Xt^2 + Yt^2} - isen(90 - \alpha)}$ $\alpha o = 40$	 $i = (Xt1 - Xt2)$ $j = (Yt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Xt1 + Xt2 + Yt1 + \rho + d(1 + \tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha))$ $Ao = (Yt1 + Yt2 + d)[0.5d \tan 0.5\alpha + Xt2] + 0.5[2Yt1 + Yt2 + 1.5d + 0.5d \tan(45 - 0.5\alpha)] * (Xt1 - Xt2 - 0.5d \tan 0.5\alpha)$ $\beta_p = \frac{\sqrt{(Xt)^2 + (Yt)^2}}{\sqrt{Xt^2 + Yt^2} - isen(90 - \alpha)}$ $\alpha o = 30$	 $i = (Xt1 - Xt2)$ $j = (Yt2)$ $\alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$ $\rho = \sqrt{i^2 + j^2}$ $bo = Xt2 + Yt1 + \rho + d(\tan 0.5\alpha + \tan(45 - 0.5\alpha))$ $Ao = (Yt1 + Yt2 + 0.5d)[0.5d \tan 0.5\alpha + Xt2] + 0.5[2Yt1 + Yt2 + 0.5d + 0.5d \tan(45 - 0.5\alpha)] * (Xt1 - Xt2 - 0.5d \tan 0.5\alpha)$ $\beta_p = \frac{\sqrt{(Xt)^2 + (Yt)^2}}{\sqrt{Xt^2 + Yt^2} - isen(90 - \alpha)}$ $\alpha o = 20$

Apéndice C**Diagramas de flujo del software****DISEÑO DE ZAPATA AISLADA**

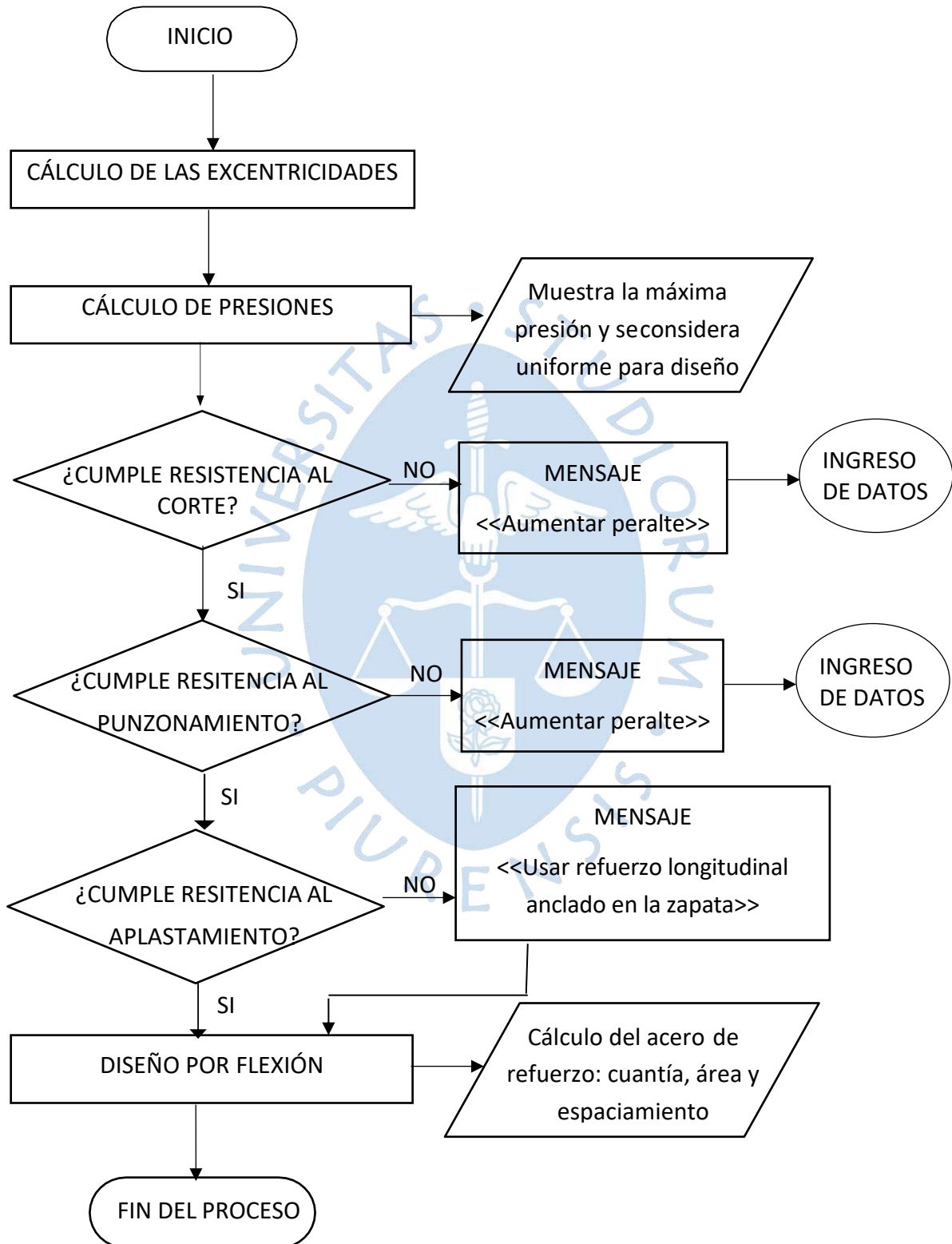
ELEGIR TIPO DE ZAPATA

INGRESO DE DATOS

CONDICIONES EN SERVICIO



CONDICIONES ÚLTIMAS



Apéndice D

Manual del usuario

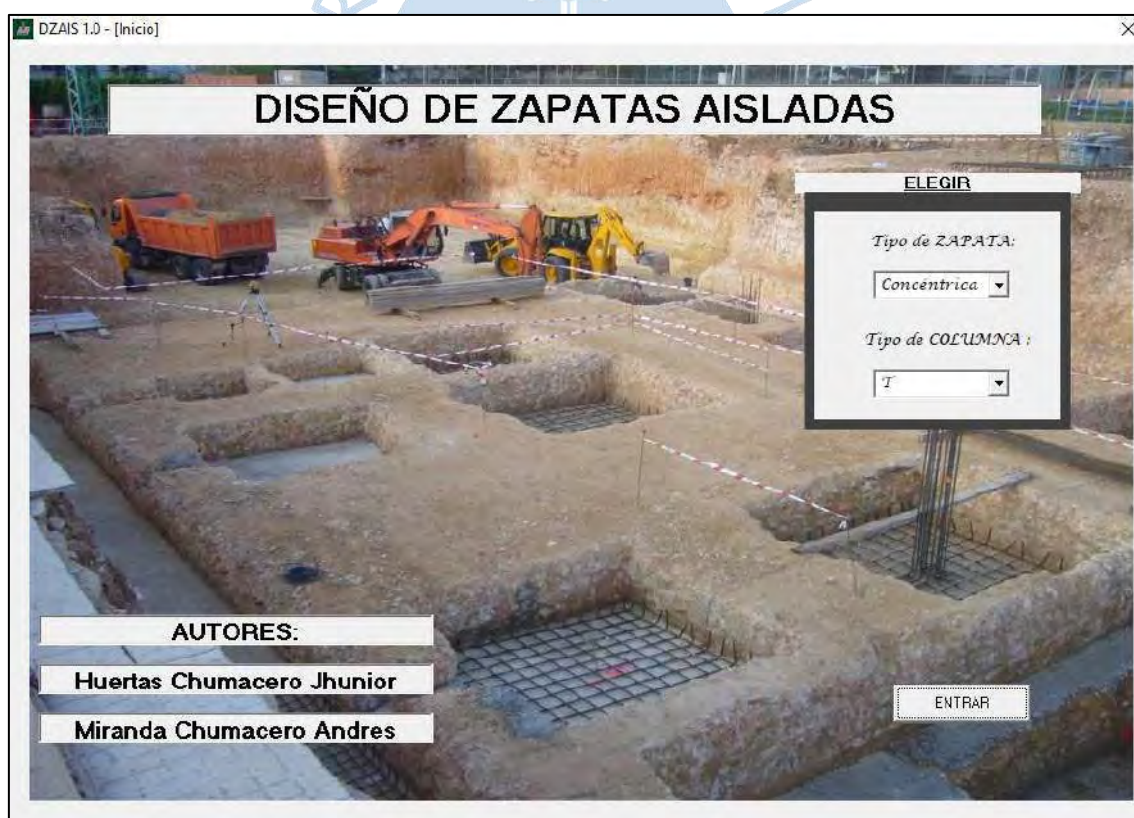
DZAIS V1.0 es un programa enfocado en la norma técnica peruana que permite el diseño de zapatas aisladas sometidas a flexión uniaxial y biaxial considerando los datos de geotecnia.

Antes de instalar el programa DZAIS v1.0, para un correcto funcionamiento, tener en cuenta lo siguiente:

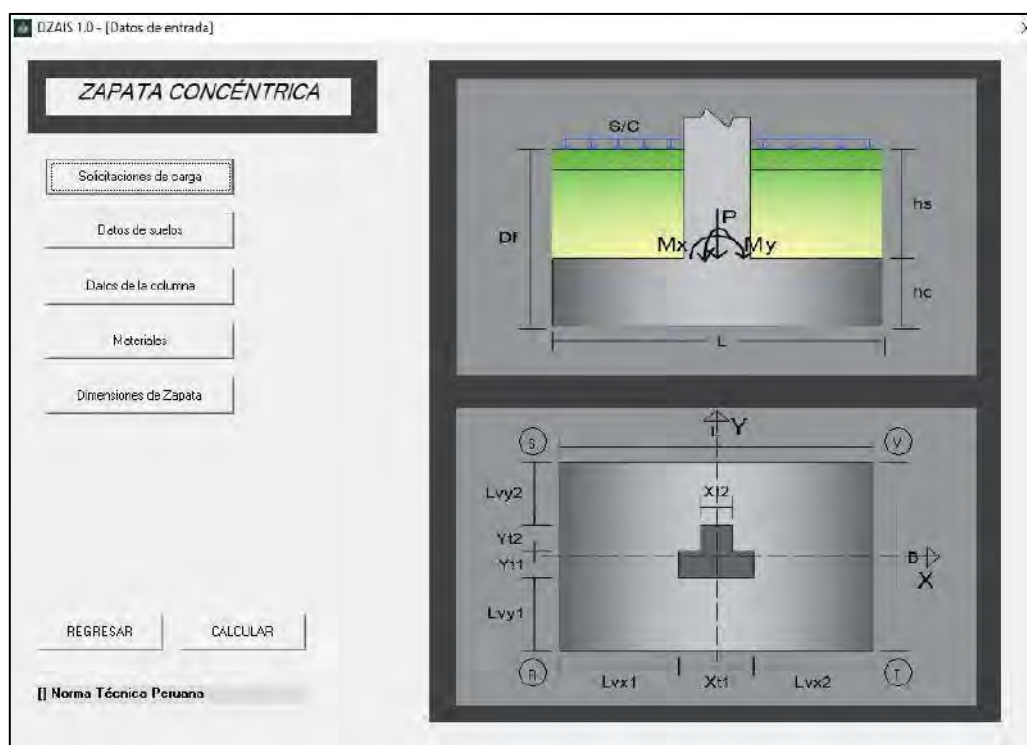
Requerimientos del sistema:

- Resolución mínima de 1,024 x 768 pixeles.
- Copiar e instalar los fonts greekc y greekcs en la carpeta \Windows\Fonts.
- Instalar el programa en el directorio c: DZAIS 1.0.

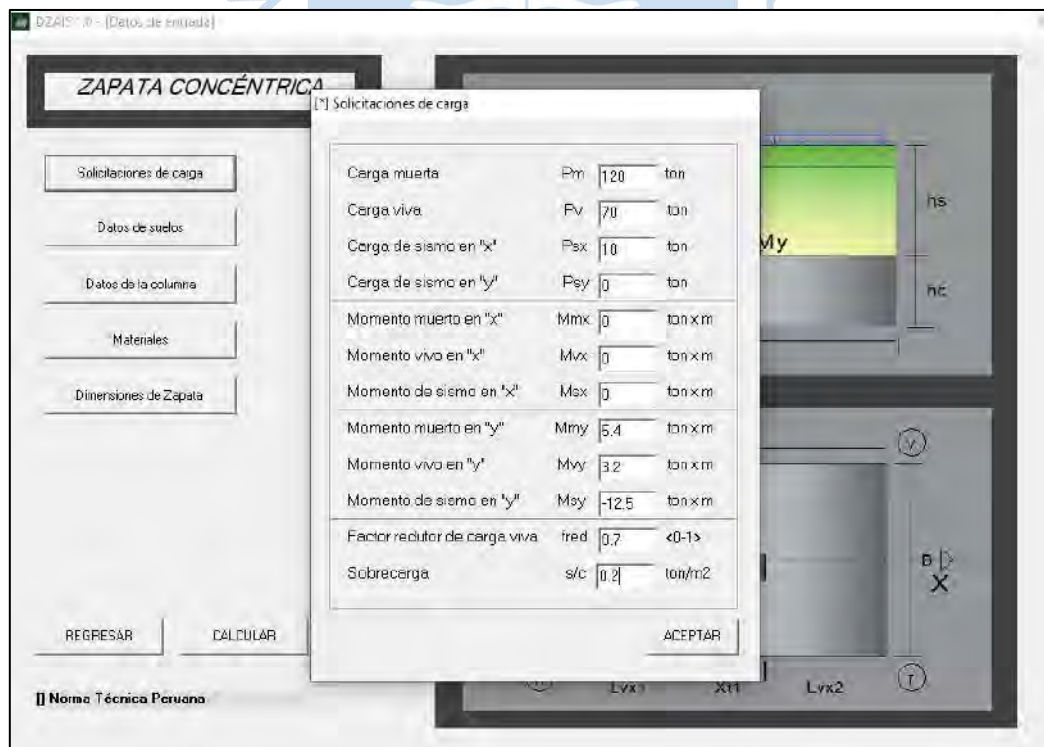
Al iniciar el programa, la ventana de inicio que se muestra a continuación permite que el usuario pueda elegir el tipo de zapata y columna que desea diseñar.



Se abre la ventana de entrada de datos. En la parte izquierda se muestran opciones de los datos a ingresar.



Se agregan las solicitaciones de carga a evaluar.



Se agregan los datos del suelo.

ZAPATA CONCÉNTRICA

Solicitaciones de carga

Datos de suelos

Datos de la columna

Materiales

Dimensiones de Zapata

REGRESAR CALCULAR

Norma Técnica Peruana

[*] Datos de suelos

Peso específico	γ_s	1.7	Ton/m ³
Cohesión de suelo	c'	0.3	Ton/m ²
Ángulo de fricción	ϕ'	27	°
Inclínación de carga	B_t	0	°
Factor de seguridad estático	FS_e	3	
Factor de seguridad sísmico	FS_s	2.5	
Módulo de elasticidad	E_s	2100	Ton/m ²
Relación de Poisson	U_s	0.2	
Asentamiento permisible	S_e	0.025	m
Profundidad "Df al estrato duro"	H_r	14	m
<input checked="" type="checkbox"/> Nivel Freático			
Profundidad del NF	D_w	3	m
Peso específico saturado	γ_{sat}	1.9	Ton/m ³

ACEPTAR

Se agregan los datos de la columna.

ZAPATA CONCÉNTRICA

Solicitaciones de carga

Datos de suelos

Datos de la columna

Materiales

Dimensiones de Zapata

REGRESAR CALCULAR

Norma Técnica Peruana

[*] Datos de la columna

Espesor 1 de columna en 'x'	$[x]1$	0.7	m
Espesor 1 de columna en 'y'	$[y]1$	0.2	m
Espesor 2 de columna en 'x'	$[x]2$	0.3	m
Espesor 2 de columna eje 'y'	$[y]2$	0.2	m

ACEPTAR

Se agregan los datos de los materiales.

ZAPATA CONCÉNTRICA

Solicitaciones de carga

Datos de suelos

Datos de la columna

Materiales

Dimensiones de Zapata

RESERVAR CALCULAR

[*] Materiales

Barra de acero Esperado	Φ	3/4"	in
Peso específico del concreto	γ_c	2.4	ton/m ³
Resistencia de concreto	f'_c	210	kg/cm ²
Fluencia del acero	f_y	4200	kg/cm ²

ACEPTAR

Se agregan las dimensiones de la zapata, y se procede calcular.

En la ventana de condiciones en servicio se observa que no cumple por presiones. La presión admisible se escoge la menor por corte y asentamiento. Presionar regresar para aumentar dimensiones.

DZAI 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP

COMB1	CM + CV*fred
COMB2	CM + 0.8CSX
COMB3	CM + 0.8CSY
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSX
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSX
COMB6	CM + 0.8CSY
COMB7	CM + 0.8CSY
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75*0.8CSY
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75*0.8CSY

Verificación de Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0452	0
0.0359	0
0.1375	0
0.0133	0
0.1096	0

Excentricidad cae dentro del Nucleo Central

Presión admisible [ton/m²] por Corte

30.0645
36.024
35.9438
35.8977
36.2944

Presión admisible [ton/m²] por Asentamiento

38.8282
38.8282
38.8282
38.8282
38.8282

Verificación de Presiones [ton/m²]

P. admisible neta	P. en servicio
26.8945	43.1446
32.854	31.9421
32.7738	35
32.7277	31.2676
33.1244	35.6436

¡Aumentar área de zapata!

COMB1| Asentamiento 0.0278 m

Resumen de Dimensiones

L	2.2	m	B	2	m
Lx1	0.75	m	Lvy1	0.84	m
Lx2	0.75	m	Lvy2	0.76	m
hc	0.6	m	d	0.506	m
L/6	0.367	m	B/6	0.333	m

REGRESAR Siguiente

Las nuevas dimensiones son las siguientes:

DZAI 1.0 - [Diseño de zapata]

ZAPATA CONCÉNTRICA

Solicitudes de carga

Datos de suelos

Datos de la columna

Materiales

Dimensiones de Zapata

REGRESAR CALCULAR

II Norma Técnica Peruana

[*] Dimensiones

Largo de Zapata	L	3.5	m
Ancho de zapata	B	3.3	m
Altura de zapata	hc	0.6	m
Profundidad de zapata	Df	1.5	m

ACEPTAR

Ahora se observa que el diseño cumple por condiciones en servicio. Se procede a dar clic en siguiente.

DZAI 1.0 - [Condiciones en Servicio]

Combinaciones en Servicio - NTP

COMB1	CM + CV*fred
COMB2	CM + 0.8CSX
COMB3	CM - 0.8CSX
COMB4	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75* 0.8CSX
COMB5	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75* 0.8CSX
COMB6	CM + 0.8CSY
COMB7	CM - 0.8CSY
COMB8	0.75CM + 0.75CV*fred + 0.75* 0.8CSY
COMB9	0.75CM + 0.75CV*fred - 0.75* 0.8CSY

Verificación de Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0452	0
0.0359	0
0.1375	0
0.0133	0
0.1096	0

Excentricidad cae dentro del Nucleo Central

Presión admisible [ton/m²] por Corte

31.5771
37.8762
37.6973
37.8369
37.9184

Presión admisible [ton/m²] por Asentamiento

23.3115
23.3115
23.3115
23.3115
23.3115

Verificación de Presiones [ton/m²]

P. admisible neta	P. en servicio
20.1415	15.766
20.1415	11.765
20.1415	11.9827
20.1415	11.7562
20.1415	12.4182

Cumple por Presiones

Resumen de Dimensiones

L	3.5	m	B	3.3	m
Lx1	1.4	m	Lvy1	1.49	m
Lx2	1.4	m	Lvy2	1.41	m
hc	0.6	m	d	0.506	m
L/6	0.583	m	B/6	0.55	m

COMB1| Asentamiento 0.0169 m

REGRESAR SIGUIENTE

En la ventana de condiciones últimas se observa que cumple las verificaciones de diseño.

DZAI 1.0 - [Condiciones Últimas]

Combinaciones Últimas - NTP

COMB1	1.4CM + 1.7CV*fred
COMB2	1.25CM + 1.25CV*fred + CSX
COMB3	1.25CM + 1.25CV*fred - CSX
COMB4	0.9CM + CSX
COMB5	0.9CM - CSX
COMB6	1.25CM + 1.25CV*fred + CSY
COMB7	1.25CM + 1.25CV*fred - CSY
COMB8	0.9CM + CSY
COMB9	0.9CM - CSY

Excentricidades [m]

Eje "x"	Eje "y"
0.0452	0
0.0133	0
0.1096	0
0.0647	0
0.1771	0

Presión de diseño [ton/m²] P. última

23.4448
19.5937
20.697
11.3504
11.0615

Cortante

Vux	69.17	ton	Vuy	80.75	ton
ΦVcx	109	ton	ΦVcy	115.61	ton

Cumple por Cortante

Aplastamiento

Pu	251.3	ton
ΦPn	573.3	ton
A1	0.28	ton
A2	6.6	ton

Cumple por Aplastamiento

Punzonamiento

Vu	246.44	ton
ΦVc	252.08	ton
bo	3.816	m
Ao	1.038	m ²

Cumple por Punzonamiento

Flexión

Mux	75.821	ton x m	Muy	91.087	ton x m
ΦMnx	413.08	ton x m	ΦMny	438.11	ton x m
ρ+	0.0024		ρ+	0.0028	
Asx	40.823	cm ²	Asy	49.243	cm ²

¡ Diseño por flexión satisfactorio !

Refuerzo

En la dirección L	Acero de 3/4" @	23	cm
En la dirección B	Acero de 3/4" @	20	cm

Presión máxima 23.4448 ton/m²

REGRESAR FINALIZAR

Apéndice E

Códigos del software

```

Private Sub cmdCALCULAR_Click()
ZC_AUCSCQ_DE.Hide
DIMENSIONAMIENTO.Show
' .....
' .....
' **DATOS DE ENTRADA** '
'Solicitaciones de carga
PCM = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtPCM.Text)
PCV = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtPCV.Text)
PEQx = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtPEQx.Text)
PEQy = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtPEQy.Text)
MCMx = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMCMx.Text)
MCVx = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMCVx.Text)
MEQx = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMEQx.Text)
MCMy = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMCMy.Text)
MCVy = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMCVy.Text)
MEQy = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtMEQy.Text)
fred = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtfred.Text)
SC = Val(BCS_SOLICITACIONES.txtSC.Text)
'Datos de la columna
Xt1 = Val(DATOS_COLUMNNA.txtXt1.Text)
D1 = Val(DATOS_COLUMNNA.txtXt1.Text)
Yt1 = Val(DATOS_COLUMNNA.txtYt1.Text)
Xt2 = Val(DATOS_COLUMNNA.txtXt2.Text)
Yt2 = Val(DATOS_COLUMNNA.txtYt2.Text)
'Datos de suelos
Gs = Val(DATOS_SUELOS.txtg.Text)
co = Val(DATOS_SUELOS.txtCo.Text)
f = Val(DATOS_SUELOS.txtf.Text)
Bt = Val(DATOS_SUELOS.txtBt.Text)
FSe = Val(DATOS_SUELOS.txtFSe.Text)
FSS = Val(DATOS_SUELOS.txtFSS.Text)
Es = Val(DATOS_SUELOS.txtEs.Text)
Us = Val(DATOS_SUELOS.txtUs.Text)
Hr = Val(DATOS_SUELOS.txtHr.Text)
Se = Val(DATOS_SUELOS.txtSe.Text)
Dw = Val(DATOS_SUELOS.txtNF.Text)
gsat = Val(DATOS_SUELOS.txtgsat.Text)
'Materiales
If MATERIALES.cmbDBZ.Text = "1/4'" Then
    Dbz = "0.00638"
    Abz = "0.32"
ElseIf MATERIALES.cmbDBZ.Text = "3/8'" Then
    Dbz = "0.00951"
    Abz = "0.71"
ElseIf MATERIALES.cmbDBZ.Text = "1/2'" Then
    Dbz = "0.01272"
    Abz = 1.27
ElseIf MATERIALES.cmbDBZ.Text = "5/8'" Then
    Dbz = "0.01588"
    Abz = "1.98"

ElseIf MATERIALES.cmbDBZ.Text = "3/4'" Then
    Dbz = "0.01905"
    Abz = "2.85"
Else
    Dbz = "0.02541"

```

```

    Abz = "5.07"
End If
Gc = Val(MATERIALES.txtGc.Text)
fc = Val(MATERIALES.txtfc.Text)
fy = Val(MATERIALES.txtfy.Text)
'Dimensiones
Df = Val(DIMENSIONES.txtDf.Text)
hc = Val(DIMENSIONES.txthci.Text)
L = Val(DIMENSIONES.txtLi.Text)
B = Val(DIMENSIONES.txtBi.Text)
'Viga aérea
C = Val(VIGA.txtC.Text)
' .....
' .....
' **CÁLCULOS Y RESULTADOS** '
If VIGA.checkVIGA.Value = 0 Then
    DIMENSIONAMIENTO.FrameEs.Visible = True
    DIMENSIONAMIENTO.FrameTs.Visible = False
ElseIf VIGA.checkVIGA.Value = 1 Then
    DIMENSIONAMIENTO.FrameEs.Visible = False
    DIMENSIONAMIENTO.FrameTs.Visible = True
End If
'Peralte de la zapata
DIMENSIONAMIENTO.txthc.Text = Round(hc, 2)
hs = Df - hc
'Peralte efectivo
d = hc - Dbz - 0.075
DIMENSIONAMIENTO.txtd.Text = Round(d, 2)
'Área de zapata
Azap = L * B
DIMENSIONAMIENTO.txtL.Text = Round(L, 3)
DIMENSIONAMIENTO.txtB.Text = Round(B, 3)
DIMENSIONAMIENTO.txtL6.Text = Round(L / 6, 3)
DIMENSIONAMIENTO.txtB6.Text = Round(B / 6, 3)
'Centro de gravedad y 'Dimensión de columna
If ENTRADA.cmbTC.Text = "Rectangular" Then
    Cgx = 0.5 * Xt1
    Cgy = 0.5 * Yt1
    Xw = Xt1
    Yw = Yt1
End If
If ENTRADA.cmbTC.Text = "Circular" Then
    Cgx = 0.5 * D1
    Cgy = 0.5 * D1
    Xw = D1
    Yw = D1
End If
If ENTRADA.cmbTC.Text = "L" Then
    Cgx = ((0.5 * Yt1 * (Xt1 ^ 2)) + (Xt2 * Yt2 * 0.5 * Xt2)) / ((Xt1 *
Yt1) + (Xt2 * Yt2))
    Cgy = ((0.5 * Xt1 * (Yt1 ^ 2)) + (Xt2 * Yt2 * (Yt1 + 0.5 * Yt2))) /
((Xt1 * Yt1) + (Xt2 * Yt2))
    Xw = Xt1
    Yw = Yt1 + Yt2
End If
If ENTRADA.cmbTC.Text = "T" And (ENTRADA.cmbTZ.Text = "Concéntrica" Or
ENTRADA.cmbTZ.Text = "Excéntrica" Or ENTRADA.cmbTZ.Text = "Esquinera") Then
    Cgx = 0.5 * Xt1
    Cgy = ((0.5 * Xt1 * (Yt1 ^ 2)) + (Xt2 * Yt2 * (Yt1 + 0.5 * Yt2))) /
((Xt1 * Yt1) + (Xt2 * Yt2))
    Xw = Xt1

```

```

    Yw = Yt1 + Yt2
End If
If ENTRADA.cmbTC.Text = "T" And ENTRADA.cmbTZ.Text = "Medianera" Then
    Cgy = 0.5 * Yt1
    Cgx = ((0.5 * Yt1 * (Xt1 ^ 2)) + (Xt2 * Yt2 * (Xt1 + 0.5 * Xt2))) /
    ((Xt1 * Yt1) + (Xt2 * Yt2))
    Yw = Yt1
    Xw = Xt1 + Xt2
End If
'Volado en eje "X"
If ENTRADA.cmbTZ.Text = "Concéntrica" Then
    Lvx1 = 0.5 * L - Cgx
    Lvx2 = L - Xw - Lvx1
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Excéntrica" Then
    Lvx1 = Val(OTROS.txtLvx1.Text)
    Lvx2 = (L - Xw - Lvx1)
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Medianera" Then
    Lvx1 = 0
    Lvx2 = (L - Xw - Lvx1)
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Esquinera" Then
    Lvx1 = 0
    Lvx2 = (L - Xw - Lvx1)
End If
DIMENSIONAMIENTO.txtLvx1.Text = Round(Lvx1, 2)
DIMENSIONAMIENTO.txtLvx2.Text = Round(Lvx2, 2)
'Volado en eje "Y"
If ENTRADA.cmbTZ.Text = "Concéntrica" Then
    Lvy1 = 0.5 * B - Cgy
    Lvy2 = B - Yw - Lvy1
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Excéntrica" Then
    Lvy1 = Val(OTROS.txtLvy1.Text)
    Lvy2 = (B - Yw - Lvy1)
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Medianera" Then
    Lvy1 = 0.5 * B - Cgy
    Lvy2 = B - Yw - Lvy1
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Esquinera" Then
    Lvy1 = 0
    Lvy2 = (B - Yw - Lvy1)
End If
DIMENSIONAMIENTO.txtLvy1.Text = Round(Lvy1, 2)
DIMENSIONAMIENTO.txtLvy2.Text = Round(Lvy2, 2)
'.....
'.....

'DESFASE DE COLUMNA
    epx = (Lvx1 + Cgx) - 0.5 * L
    epy = (Lvy1 + Cgy) - 0.5 * B
'CARGAS EN SERVICIO
    'combo - considerando cargas de gravedad
    Ps1 = PCM + PCV * fred
    'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
    Psxx2 = PCM + (0.8 * PEQx)
    Psxx3 = PCM - (0.8 * PEQx)
    Psxx4 = 0.75 * PCM + 0.75 * PCV * fred + 0.75 * 0.8 * PEQx
    Psxx5 = 0.75 * PCM + 0.75 * PCV * fred - 0.75 * 0.8 * PEQx
    'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
    Psyy2 = PCM + (0.8 * PEQy)
    Psyy3 = PCM - (0.8 * PEQy)
    Psyy4 = 0.75 * PCM + 0.75 * PCV * fred + 0.75 * 0.8 * PEQy
    Psyy5 = 0.75 * PCM + 0.75 * PCV * fred - 0.75 * 0.8 * PEQy
'MOMENTOS EN SERVICIO

```



```

'combo - considerando cargas de gravedad
Msx1 = MCMx + MCVx * fred
Msy1 = MCMy + MCVy * fred
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
Msyy2 = MCMy + (0.8 * MEQy)
Msxy2 = MCMx
Msyy3 = MCMy - (0.8 * MEQy)
Msxy3 = MCMx
Msyy4 = 0.75 * MCMy + 0.75 * MCVy * fred + 0.75 * 0.8 * MEQy
Msxy4 = 0.75 * MCMx + 0.75 * MCVx * fred
Msyy5 = 0.75 * MCMy + 0.75 * MCVy * fred - 0.75 * 0.8 * MEQy
Msxy5 = 0.75 * MCMx + 0.75 * MCVx * fred
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
Msxx2 = MCMx + (0.8 * MEQx)
Msyx2 = MCMy
Msxx3 = MCMx - (0.8 * MEQx)
Msyx3 = MCMy
Msxx4 = 0.75 * MCMx + 0.75 * MCVx * fred + 0.75 * 0.8 * MEQx
Msyx4 = 0.75 * MCMy + 0.75 * MCVy * fred
Msxx5 = 0.75 * MCMx + 0.75 * MCVx * fred - 0.75 * 0.8 * MEQx
Msyx5 = 0.75 * MCMy + 0.75 * MCVy * fred
'EXCENTRICIDAD EN SERVICIO
If VIGA.checkVIGA.Value = 0 Then
'combo - considerando cargas de gravedad
  esx1 = Abs(Msy1 / Ps1 + epx)
  esy1 = Abs(Msx1 / Ps1 + epy)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
  esxx2 = Abs(Msyy2 / Psxx2 + epx)
  esyx2 = Abs(Msxy2 / Psxx2 + epy)
  esxx3 = Abs(Msyy3 / Psxx3 + epx)
  esyx3 = Abs(Msxy3 / Psxx3 + epy)
  esxx4 = Abs(Msyy4 / Psxx4 + epx)
  esyx4 = Abs(Msxy4 / Psxx4 + epy)
  esxx5 = Abs(Msyy5 / Psxx5 + epx)
  esyx5 = Abs(Msxy5 / Psxx5 + epy)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
  esxy2 = Abs(Msyx2 / Psyy2 + epx)
  esyy2 = Abs(Msxx2 / Psyy2 + epy)
  esxy3 = Abs(Msyx3 / Psyy3 + epx)
  esyy3 = Abs(Msxx3 / Psyy3 + epy)
  esxy4 = Abs(Msyx4 / Psyy4 + epx)
  esyy4 = Abs(Msxx4 / Psyy4 + epy)
  esxy5 = Abs(Msyx5 / Psyy5 + epx)
  esyy5 = Abs(Msxx5 / Psyy5 + epy)
ElseIf VIGA.checkVIGA.Value = 1 Then
'combo - considerando cargas de gravedad
  esx1 = Val(0)
  esy1 = Val(0)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
  esxx2 = Val(0)
  esyx2 = Val(0)
  esxx3 = Val(0)
  esyx3 = Val(0)
  esxx4 = Val(0)
  esyx4 = Val(0)
  esxx5 = Val(0)
  esyx5 = Val(0)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
  esxy2 = Val(0)
  esyy2 = Val(0)
  esxy3 = Val(0)

```



```

    esyy3 = Val(0)
    esxy4 = Val(0)
    esyy4 = Val(0)
    esxy5 = Val(0)
    esyy5 = Val(0)
'TENSIONES
'combo - considerando cargas de gravedad
    Tsx1 = (Ps1 * (0.5 * L - Cgx) - Msy1) / C
    Tsy1 = (Ps1 * (0.5 * B - Cgy) - Msx1) / C
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
    Tsxx2 = (Psxx2 * (0.5 * B - Cgy) - Msyy2) / C
    Tsyx2 = (Psxx2 * (0.5 * L - Cgx) - Msxy2) / C
    Tsxx3 = (Psxx3 * (0.5 * B - Cgy) - Msyy3) / C
    Tsyx3 = (Psxx3 * (0.5 * L - Cgx) - Msxy3) / C
    Tsxx4 = (Psxx4 * (0.5 * B - Cgy) - Msyy4) / C
    Tsyx4 = (Psxx4 * (0.5 * L - Cgx) - Msxy4) / C
    Tsxx5 = (Psxx5 * (0.5 * B - Cgy) - Msyy5) / C
    Tsyx5 = (Psxx5 * (0.5 * L - Cgx) - Msxy5) / C
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
    Tsxy2 = (Psyy2 * (0.5 * L - Cgx) - Msyx2) / C
    Tsyy2 = (Psyy2 * (0.5 * B - Cgy) - Msxx2) / C
    Tsxy3 = (Psyy3 * (0.5 * L - Cgx) - Msyx3) / C
    Tsyy3 = (Psyy3 * (0.5 * B - Cgy) - Msxx3) / C
    Tsxy4 = (Psyy4 * (0.5 * L - Cgx) - Msyx4) / C
    Tsyy4 = (Psyy4 * (0.5 * B - Cgy) - Msxx4) / C
    Tsxy5 = (Psyy5 * (0.5 * L - Cgx) - Msyx5) / C
    Tsyy5 = (Psyy5 * (0.5 * B - Cgy) - Msxx5) / C
End If
'Verificación de Excentricidad
    If (0 <= (esx1 / L) And (esx1 / L) <= (1 / 6) And esy1 <= ((-B / L) *
esx1 + (B / 6))) And (0 <= (esxx2 / L) And (esxx2 / L) <= (1 / 6) And esyx2
<= ((-B / L) * esxx2 + (B / 6))) And (0 <= (esxx3 / L) And (esxx3 / L) <=
(1 / 6) And esyx3 <= ((-B / L) * esxx3 + (B / 6))) And (0 <= (esxx4 / L)
And (esxx4 / L) <= (1 / 6) And esyx4 <= ((-B / L) * esxx4 + (B / 6))) And
(0 <= (esxx5 / L) And (esxx5 / L) <= (1 / 6) And esyx5 <= ((-B / L) * esxx5
+ (B / 6))) And (0 <= (esxy2 / L) And (esxy2 / L) <= (1 / 6) And esyy2 <=
((-B / L) * esxy2 + (B / 6))) And (0 <= (esxy3 / L) And (esxy3 / L) <= (1 /
6) And esyy3 <= ((-B / L) * esxy3 + (B / 6))) And (0 <= (esxy4 / L) And
(esxy4 / L) <= (1 / 6) And esyy4 <= ((-B / L) * esxy4 + (B / 6))) And (0 <=
(esxy5 / L) And (esxy5 / L) <= (1 / 6) And esyy5 <= ((-B / L) * esxy5 + (B
/ 6))) And (0 <= (esxy4 / L) And (esxy4 / L) <= (1 / 6) And esyy4 <= ((-B /
L) * esxy4 + (B / 6))) Then
        DIMENSIONAMIENTO.lblesx = "Excentricidad cae dentro del Nucleo
Central"
    ElseIf ((esx1 >= L / 2) Or (esxx2 >= L / 2) Or (esxx3 >= L / 2) Or
(esxx4 >= L / 2) Or (esxx5 >= L / 2) Or (esxy2 >= L / 2) Or (esxy3 >= L /
2) Or (esxy4 >= L / 2) Or (esxy5 >= L / 2)) Or ((esy1 >= B / 2) Or (esyx2
>= B / 2) Or (esyx3 >= B / 2) Or (esyx4 >= B / 2) Or (esyx5 >= B / 2) Or
(esyy2 >= B / 2) Or (esyy3 >= B / 2) Or (esyy4 >= B / 2) Or (esyy5 >= B /
2)) Then
        DIMENSIONAMIENTO.lblesx = "Excentricidad cae fuera de la zapata"
    Else
        DIMENSIONAMIENTO.lblesx = "Excentricidad cae fuera del Nucleo
Central"
    End If
'.....
'PRESIÓN ADMISIBLE POR CORTE
'Ancho el menor de B y L
If B <= L Then
    Bm = B

```

```

Else
    Bm = L
End If
'Nivel Freático
If DATOS_SUELOS.check1.Value = 1 Then
    'gw = Ton/m3
    gw = 1
    gp = gsat - gw
    'NF caso 1
    If 0 <= Dw And Dw <= Df Then
        gm = gp
        q = Dw * Gs + (Df - Dw) * gm
    End If
    'NF caso 2
    If Df < Dw And Dw < Df + Bm Then
        gm = gp + ((Dw - Df) / Bm) * (Gs - gp)
        q = Gs * Df
    End If
    'NF caso 3
    If Df + Bm <= Dw Then
        gm = Gs
        q = gm * Df
    End If
ElseIf DATOS_SUELOS.check1.Value = 0 Then
    gm = Gs
    q = gm * Df
End If
Pi = 3.14159
g = (Pi / 180)
'ÁREA EFECTIVA
Bx1 = B - 2 * esy1
Lx1 = L - 2 * esx1
If Bx1 < Lx1 Then
    Bp1 = Bx1
    Lp1 = Lx1
Else
    Bp1 = Lx1
    Lp1 = Bx1
End If
Bx2 = B - 2 * esyx2
Lx2 = L - 2 * esxx2
If Bx2 < Lx2 Then
    Bp2 = Bx2
    Lp2 = Lx2
Else
    Bp2 = Lx2
    Lp2 = Bx2
End If
Bx3 = B - 2 * esyx3
Lx3 = L - 2 * esxx3
If Bx3 < Lx3 Then
    Bp3 = Bx3
    Lp3 = Lx3
Else
    Bp3 = Lx3
    Lp3 = Bx3
End If
Bx4 = B - 2 * esyx4
Lx4 = L - 2 * esxx4
If Bx4 < Lx4 Then
    Bp4 = Bx4

```

```

        Lp4 = Lx4
    Else
        Bp4 = Lx4
        Lp4 = Bx4
    End If
    Bx5 = B - 2 * esyx5
    Lx5 = L - 2 * esxx5
    If Bx5 < Lx5 Then
        Bp5 = Bx5
        Lp5 = Lx5
    Else
        Bp5 = Lx5
        Lp5 = Bx5
    End If
    Bx6 = B - 2 * esyy2
    Lx6 = L - 2 * esxy2
    If Bx6 < Lx6 Then
        Bp6 = Bx6
        Lp6 = Lx6
    Else
        Bp6 = Lx6
        Lp6 = Bx6
    End If
    Bx7 = B - 2 * esyy3
    Lx7 = L - 2 * esxy3
    If Bx7 < Lx7 Then
        Bp7 = Bx7
        Lp7 = Lx7
    Else
        Bp7 = Lx7
        Lp7 = Bx7
    End If
    Bx8 = B - 2 * esyy4
    Lx8 = L - 2 * esxy4
    If Bx8 < Lx8 Then
        Bp8 = Bx8
        Lp8 = Lx8
    Else
        Bp8 = Lx8
        Lp8 = Bx8
    End If
    Bx9 = B - 2 * esyy5
    Lx9 = L - 2 * esxy5
    If Bx9 < Lx9 Then
        Bp9 = Bx9
        Lp9 = Lx9
    Else
        Bp9 = Lx9
        Lp9 = Bx9
    End If
    ''FACTORES DE CARGA
    Nq = Exp(Pi * Tan(g * f)) * Tan(g * (45 + f / 2)) ^ 2
    If f = 0 Then
        Nc = 5.14
    Else
        Nc = (Nq - 1) / Tan(g * f)
    End If
    Ng = 2 * (Nq + 1) * Tan(g * f)
    'Factores de forma [Utiliza el "B" efectivo y "L" efectivo]
    Fcs1 = 1 + (Bp1 / Lp1) * (Nq / Nc)
    Fqs1 = 1 + (Bp1 / Lp1) * Tan(g * f)

```

```

Fgs1 = 1 - 0.4 * (Bp1 / Lp1)
Fcs2 = 1 + (Bp2 / Lp2) * (Nq / Nc)
Fqs2 = 1 + (Bp2 / Lp2) * Tan(g * f)
Fgs2 = 1 - 0.4 * (Bp2 / Lp2)
Fcs3 = 1 + (Bp3 / Lp3) * (Nq / Nc)
Fqs3 = 1 + (Bp3 / Lp3) * Tan(g * f)
Fgs3 = 1 - 0.4 * (Bp3 / Lp3)
Fcs4 = 1 + (Bp4 / Lp4) * (Nq / Nc)
Fqs4 = 1 + (Bp4 / Lp4) * Tan(g * f)
Fgs4 = 1 - 0.4 * (Bp4 / Lp4)
Fcs5 = 1 + (Bp5 / Lp5) * (Nq / Nc)
Fqs5 = 1 + (Bp5 / Lp5) * Tan(g * f)
Fgs5 = 1 - 0.4 * (Bp5 / Lp5)
Fcs6 = 1 + (Bp6 / Lp6) * (Nq / Nc)
Fqs6 = 1 + (Bp6 / Lp6) * Tan(g * f)
Fgs6 = 1 - 0.4 * (Bp6 / Lp6)
Fcs7 = 1 + (Bp7 / Lp7) * (Nq / Nc)
Fqs7 = 1 + (Bp7 / Lp7) * Tan(g * f)
Fgs7 = 1 - 0.4 * (Bp7 / Lp7)
Fcs8 = 1 + (Bp8 / Lp8) * (Nq / Nc)
Fqs8 = 1 + (Bp8 / Lp8) * Tan(g * f)
Fgs8 = 1 - 0.4 * (Bp8 / Lp8)
Fcs9 = 1 + (Bp9 / Lp9) * (Nq / Nc)
Fqs9 = 1 + (Bp9 / Lp9) * Tan(g * f)
Fgs9 = 1 - 0.4 * (Bp9 / Lp9)
''Factores de profundidad [Utiliza el "B" real y "L" real]
  If Df / Bm > 1 Then
    If f = 0 Then
      Fcd = 1 + 0.4 * Atn(Df / Bm)
      Fqd = 1
      Fgd = 1
    Else
      Fqd = 1 + 2 * Tan(g * f) * ((1 - Sin(g * f)) ^ 2) * Atn(Df /
Bm)
      Fcd = Fqd - ((1 - Fqd) / (Nc * Tan(g * f)))
      Fgd = 1
    End If
  Else
    If f = 0 Then
      Fcd = 1 + 0.4 * (Df / Bm)
      Fqd = 1
      Fgd = 1
    Else
      Fqd = 1 + 2 * Tan(g * f) * ((1 - Sin(g * f)) ^ 2) * (Df / Bm)
      Fcd = Fqd - ((1 - Fqd) / (Nc * Tan(g * f)))
      Fgd = 1
    End If
  End If
''Factor de inclinación de carga [Utiliza el "B" real y "L" real]
  Fci = (1 - (Bt / 90)) ^ 2
  Fqi = (1 - (Bt / 90)) ^ 2
  If f = 0 Then
    Fgi = 1
  Else
    Fgi = (1 - (Bt / f)) ^ 2
  End If
'Cap portante admisible [Se utiliza el "B" efectivo]
  qadmc1 = (co * Nc * Fcs1 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs1 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp1 * Ng * Fgs1 * Fgd * Fgi) / FSs
  qadmc2 = (co * Nc * Fcs2 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs2 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp2 * Ng * Fgs2 * Fgd * Fgi) / FSs

```

```

      qadmc3 = (co * Nc * Fcs3 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs3 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp3 * Ng * Fgs3 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc4 = (co * Nc * Fcs4 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs4 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp4 * Ng * Fgs4 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc5 = (co * Nc * Fcs5 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs5 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp5 * Ng * Fgs5 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc6 = (co * Nc * Fcs6 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs6 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp6 * Ng * Fgs6 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc7 = (co * Nc * Fcs7 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs7 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp7 * Ng * Fgs7 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc8 = (co * Nc * Fcs8 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs8 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp8 * Ng * Fgs8 * Fgd * Fgi) / FSs
      qadmc9 = (co * Nc * Fcs9 * Fcd * Fci + q * Nq * Fqs9 * Fqd * Fqi + 0.5
* gm * Bp9 * Ng * Fgs9 * Fgd * Fgi) / FSs

```

```

'PRESIÓN ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

```

```

Ec = Sqr(fc) * 15000 * 10

```

```

Be = Sqr((4 * Bp1 * Lp1) / Pi)

```

```

If Hr > 4 * Be Then

```

```

    Hi = 4 * Be

```

```

Else

```

```

    Hi = Hr

```

```

End If

```

```

IR = (Pi / 4) + (1 / (4.6 + 10 * (Ec / Es) * ((2 * hc) / Be) ^ 3))

```

```

IE = 1 - (1 / (3.5 * Exp(1.22 * Us - 0.4) * ((Be / Df) + 1.6)))

```

```

IG = (1.6 * (Hi / Be)) / (1 + 1.6 * (Hi / Be))

```

```

      qadma1 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma2 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma3 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma4 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma5 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma6 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma7 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma8 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

      qadma9 = (Se * Es) / ((Be * IG * IR * IE) * (1 - Us ^ 2))

```

```

'PRESIÓN ADMISIBLE NETA

```

```

      If qadmc1 < qadma1 Then

```

```

          qadm1 = qadmc1

```

```

      Else

```

```

          qadm1 = qadma1

```

```

      End If

```

```

      If qadmc2 < qadma2 Then

```

```

          qadm2 = qadmc2

```

```

      Else

```

```

          qadm2 = qadma2

```

```

      End If

```

```

      If qadmc3 < qadma3 Then

```

```

          qadm3 = qadmc3

```

```

      Else

```

```

          qadm3 = qadma3

```

```

      End If

```

```

      If qadmc4 < qadma4 Then

```

```

          qadm4 = qadmc4

```

```

      Else

```

```

          qadm4 = qadma4

```

```

      End If

```

```

      If qadmc5 < qadma5 Then

```

```

        qadm5 = qadmc5
    Else
        qadm5 = qadma5
    End If
    If qadmc6 < qadma6 Then
        qadm6 = qadmc6
    Else
        qadm6 = qadma6
    End If
    If qadmc7 < qadma7 Then
        qadm7 = qadmc7
    Else
        qadm7 = qadma7
    End If
    If qadmc8 < qadma8 Then
        qadm8 = qadmc8
    Else
        qadm8 = qadma8
    End If
    If qadmc9 < qadma9 Then
        qadm9 = qadmc9
    Else
        qadm9 = qadma9
    End If
    qadmn1 = qadm1 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn2 = qadm2 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn3 = qadm3 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn4 = qadm4 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn5 = qadm5 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn6 = qadm6 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn7 = qadm7 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn8 = qadm8 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    qadmn9 = qadm9 - (Gs * hs + Gc * hc + SC)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn1, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn2, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn3, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn4, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn5, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn6, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn7, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn8, 4)
    DIMENSIONAMIENTO.Listqadmn.AddItem Round(qadmn9, 4)
'.....
'PRESIONES EN SERVICIO
CONDICION_S3
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qv1, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvxx2, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvxx3, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvxx4, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvxx5, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvyy2, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvyy3, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvyy4, 4)
DIMENSIONAMIENTO.Listqs.AddItem Round(qvyy5, 4)
'Verificación de Capacidad Portante
If qv1 > qadmn1 Or qvxx2 > qadmn2 Or qvxx3 > qadmn3 Or qvxx4 > qadmn4 Or
qvxx5 > qadmn5 Or qvyy2 > qadmn6 Or qvyy3 > qadmn7 Or qvyy4 > qadmn8 Or
qvyy5 > qadmn9 Then
    DIMENSIONAMIENTO.lblalertaq.Caption = "¡Aumentar área de zapata!"
Else

```

```

DIMENSIONAMIENTO.lblalerta.Caption = "Cumple por Presiones"
End If
End Sub

Private Sub cmdSIGUIENTE_Click()
Unload Me
DISEÑO.Show
'.....
'.....
If VIGA.checkVIGA.Value = 0 Then
    DISEÑO.FrameEu.Visible = True
    DISEÑO.FrameTu.Visible = False
ElseIf VIGA.checkVIGA.Value = 1 Then
    DISEÑO.FrameEu.Visible = False
    DISEÑO.FrameTu.Visible = True
End If
'.....
'.....
'CARGAS ÚLTIMAS
'combo - considerando cargas de gravedad
Pul = 1.4 * PCM + 1.7 * PCV * fred
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
Puxx2 = 1.25 * (PCM + PCV * fred) + PEQx
Puxx3 = 1.25 * (PCM + PCV * fred) - PEQx
Puxx4 = 0.9 * PCM + PEQx
Puxx5 = 0.9 * PCM - PEQx
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
Puyy2 = 1.25 * (PCM + PCV * fred) + PEQy
Puyy3 = 1.25 * (PCM + PCV * fred) - PEQy
Puyy4 = 0.9 * PCM + PEQy
Puyy5 = 0.9 * PCM - PEQy
'MOMENTOS ÚLTIMOS
'combo - considerando cargas de gravedad
Mux1 = 1.4 * MCMx + 1.7 * MCVx * fred
Muy1 = 1.4 * MCMy + 1.7 * MCVy * fred
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
Muyy2 = 1.25 * (MCMy + MCVy * fred) + MEQy
Muxy2 = 1.25 * (MCMx + MCVx * fred)
Muyy3 = 1.25 * (MCMy + MCVy * fred) - MEQy
Muxy3 = 1.25 * (MCMx + MCVx * fred)
Muyy4 = 0.9 * MCMy + MEQy
Muxy4 = 0.9 * MCMx
Muyy5 = 0.9 * MCMy - MEQy
Muxy5 = 0.9 * MCMx
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
Muxx2 = 1.25 * (MCMx + MCVx * fred) + MEQx
Muyx2 = 1.25 * (MCMy + MCVy * fred)
Muxx3 = 1.25 * (MCMx + MCVx * fred) - MEQx
Muyx3 = 1.25 * (MCMy + MCVy * fred)
Muxx4 = 0.9 * MCMx + MEQx
Muyx4 = 0.9 * MCMy
Muxx5 = 0.9 * MCMx - MEQx
Muyx5 = 0.9 * MCMy
'EXCENTRICIDADES ÚLTIMAS
If VIGA.checkVIGA.Value = 0 Then
'combo - considerando cargas de gravedad
eux1 = Abs(Muy1 / Pul + epx)
euy1 = Abs(Mux1 / Pul + epy)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
euxx2 = Abs(Muyy2 / Puxx2 + epx)

```



```

euyx2 = Abs(Muxy2 / Puxx2 + epy)
euxx3 = Abs(Muyy3 / Puxx3 + epx)
euyx3 = Abs(Muxy3 / Puxx3 + epy)
euxx4 = Abs(Muyy4 / Puxx4 + epx)
euyx4 = Abs(Muxy4 / Puxx4 + epy)
euxx5 = Abs(Muyy5 / Puxx5 + epx)
euyx5 = Abs(Muxy5 / Puxx5 + epy)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
euxy2 = Abs(Muyx2 / Puyy2 + epx)
euyy2 = Abs(Muxx2 / Puyy2 + epy)
euxy3 = Abs(Muyx3 / Puyy3 + epx)
euyy3 = Abs(Muxx3 / Puyy3 + epy)
euxy4 = Abs(Muyx4 / Puyy4 + epx)
euyy4 = Abs(Muxx4 / Puyy4 + epy)
euxy5 = Abs(Muyx5 / Puyy5 + epx)
euyy5 = Abs(Muxx5 / Puyy5 + epy)
ElseIf VIGA.checkVIGA.Value = 1 Then
'combo - considerando cargas de gravedad
eux1 = Val(0)
euy1 = Val(0)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
euxx2 = Val(0)
euyx2 = Val(0)
euxx3 = Val(0)
euyx3 = Val(0)
euxx4 = Val(0)
euyx4 = Val(0)
euxx5 = Val(0)
euyx5 = Val(0)
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
euxy2 = Val(0)
euyy2 = Val(0)
euxy3 = Val(0)
euyy3 = Val(0)
euxy4 = Val(0)
euyy4 = Val(0)
euxy5 = Val(0)
euyy5 = Val(0)
'TENSIONES
'combo - considerando cargas de gravedad
Tux1 = (Pu1 * (0.5 * L - Cgx) - Muy1) / C
Tuy1 = (Pu1 * (0.5 * B - Cgy) - Mux1) / C
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en x
Tuxx2 = (Puxx2 * (0.5 * B - Cgy) - Muyy2) / C
Tuyx2 = (Puxx2 * (0.5 * L - Cgx) - Muxy2) / C
Tuxx3 = (Puxx3 * (0.5 * B - Cgy) - Muyy3) / C
Tuyx3 = (Puxx3 * (0.5 * L - Cgx) - Muxy3) / C
Tuxx4 = (Puxx4 * (0.5 * B - Cgy) - Muyy4) / C
Tuyx4 = (Puxx4 * (0.5 * L - Cgx) - Muxy4) / C
Tuxx5 = (Puxx5 * (0.5 * B - Cgy) - Muyy5) / C
Tuyx5 = (Puxx5 * (0.5 * L - Cgx) - Muxy5) / C
'combo - considerando cargas de gravedad + sismo en y
Tuxy2 = (Puyy2 * (0.5 * L - Cgx) - Muyx2) / C
Tuyy2 = (Puyy2 * (0.5 * B - Cgy) - Muxx2) / C
Tuxy3 = (Puyy3 * (0.5 * L - Cgx) - Muyx3) / C
Tuyy3 = (Puyy3 * (0.5 * B - Cgy) - Muxx3) / C
Tuxy4 = (Puyy4 * (0.5 * L - Cgx) - Muyx4) / C
Tuyy4 = (Puyy4 * (0.5 * B - Cgy) - Muxx4) / C
Tuxy5 = (Puyy5 * (0.5 * L - Cgx) - Muyx5) / C
Tuyy5 = (Puyy5 * (0.5 * B - Cgy) - Muxx5) / C
End If

```

```
' .....
' PRESIONES ÚLTIMAS
```

```
    CONDICION_U3
```

```
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qv1, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvxx2, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvxx3, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvxx4, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvxx5, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvyy2, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvyy3, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvyy4, 4)
    DISEÑO.Listqu.AddItem Round(qvyy5, 4)
```

```
' PRESIÓN MÁXIMA DE DISEÑO
```

```
    Dim qud3(9) As Single
```

```
    For i = 1 To 9
```

```
        qud3(1) = qv1
```

```
        qud3(2) = qvxx2
```

```
        qud3(3) = qvxx3
```

```
        qud3(4) = qvxx4
```

```
        qud3(5) = qvxx5
```

```
        qud3(6) = qvyy2
```

```
        qud3(7) = qvyy3
```

```
        qud3(8) = qvyy4
```

```
        qud3(9) = qvyy5
```

```
    Next
```

```
    qumax = qud3(1)
```

```
    For j = 1 To 9
```

```
        If qud3(j) > qumax Then
```

```
            qumax = qud3(j)
```

```
        End If
```

```
    Next
```

```
    DISEÑO.txtqudiseño.Text = Round(qumax, 3)
```

```
' .....
' VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO
```

```
If ENTRADA.cmbTZ.Text = "Concéntrica" Or ENTRADA.cmbTZ.Text = "Excéntrica" Then
```

```
alfa = 40
```

```
    If ENTRADA.cmbTC.Text = "Rectangular" Then
```

```
        bo = 2 * (Xt1 + Yt1 + 2 * d)
```

```
        Ao = (Xt1 + d) * (Yt1 + d)
```

```
        If Xt1 > Yt1 Then
```

```
            r = Xt1
```

```
            s = Yt1
```

```
        Else
```

```
            r = Yt1
```

```
            s = Xt1
```

```
        End If
```

```
        beta = r / s
```

```
    ElseIf ENTRADA.cmbTC.Text = "Circular" Then
```

```
        Pi = 3.14159
```

```
        bo = Pi * (D1 + d)
```

```
        Ao = 0.25 * Pi * (D1 + d) ^ 2
```

```
        beta = 1
```

```
    ElseIf ENTRADA.cmbTC.Text = "T" Then
```

```
        Pi = 3.14159
```

```
        g = (Pi / 180)
```

```
        ii = 0.5 * (Xt1 - Xt2)
```

```
        jj = Yt2
```

```
        If ii = 0 Then
```

```

    A = 0
Else
    A = Atn(jj / ii) * (1 / g)
End If
p = Sqr((ii ^ 2) + (jj ^ 2))
bo = (Xt1 + Xt2 + 2 * Yt1 + 2 * p) + 2 * d * (1 + Tan(g * 0.5 * A)
+ Tan(g * (45 - 0.5 * A)))
Ao = (Xt1 + d) * (Yt1 + 0.5 * d * (1 + Tan(g * 0.5 * A))) + 0.5 *
(Xt1 + Xt2 + d * (1 + Tan(g * (45 - 0.5 * A)))) * (Yt2 - 0.5 * d * (-1 +
0.5 * d * Tan(g * 0.5 * A)))
If Xt1 > (Yt1 + Yt2) Then
    r = Xt1
    s = Yt1 + Yt2
Else
    r = Yt1 + Yt2
    s = Xt1
End If
beta = r / s
ElseIf ENTRADA.cmbTC.Text = "L" Then
    Pi = 3.141593
    g = (Pi / 180)
    ii = (Xt1 - Xt2)
    jj = Yt2
    If ii = 0 Then
        A = 0
    Else
        A = Atn(jj / ii) * (1 / g)
    End If
    p = Sqr((ii ^ 2) + (jj ^ 2))
    bo = (Xt1 + Xt2 + 2 * Yt1 + Yt2 + 3 * d + p) + d * (Tan(g * 0.5 *
A) + Tan(g * (45 - 0.5 * A)))
    Ao = (Yt1 + Yt2 + d) * (0.5 * d * (1 + Tan(g * 0.5 * A)) + Xt2) +
0.5 * (2 * Yt1 + Yt2 + 1.5 * d + 0.5 * d * Tan(g * (45 - 0.5 * A))) * (Xt1
- Xt2 + 0.5 * d - 0.5 * d * Tan(g * 0.5 * A))
    r = (Sqr((Xt1 ^ 2) + (Yt1 + Yt2) ^ 2))
    s = (Sqr((Xt1 ^ 2) + (Yt1 + Yt2) ^ 2) - ii * Sin(g * (90 - A)))
    beta = r / s
End If
End If
DISEÑO.txtbo.Text = Round(bo, 3)
DISEÑO.txtAo.Text = Round(Ao, 3)
'Punzonamiento
Vpmax = qumax * (Azap - Ao)
DISEÑO.txtVuP.Text = Round(Vpmax, 2)
'Resistencia contra el Punzonamiento
Dim Vpci(3) As Single
For i = 1 To 3
    Vpci(1) = (0.53 * (1 + 2 / beta) * Math.Sqrt(fc) * bo * d) * 10
    Vpci(2) = (0.27 * (((alfa * d) / bo) + 2) * Math.Sqrt(fc) * bo * d) * 10
    Vpci(3) = (1.06 * Math.Sqrt(fc) * bo * d) * 10
Next
Vpc = Vpci(1)
For j = 1 To 3
    If Vpci(j) < Vpc Then
        Vpc = Vpci(j)
    End If
Next
phiVpc = 0.85 * Vpc
DISEÑO.txtphiVcP = Round(phiVpc, 2)
If Vpmax > phiVpc Then
    DISEÑO.lblP.Caption = "; Aumentar altura de zapata !"
Else

```

```

    DISEÑO.lblP.Caption = "Cumple por Punzonamiento"
End If
'.....
'.....
'RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO
'Fuerza vertical máxima
    Dim Pu3(9) As Single
    For i = 1 To 9
        Pu3(1) = Pu1
        Pu3(2) = Puxx2
        Pu3(3) = Puxx3
        Pu3(4) = Puxx4
        Pu3(5) = Puxx5
        Pu3(6) = Puyy2
        Pu3(7) = Puyy3
        Pu3(8) = Puyy4
        Pu3(9) = Puyy5
    Next
    pumax = Pu3(1)
    For j = 1 To 9
        If Pu3(j) > pumax Then
            pumax = Pu3(j)
        End If
    Next
If ENTRADA.cmbTZ.Text = "Concéntrica" Or ENTRADA.cmbTZ.Text = "Excéntrica"
Then
    A1 = Xw * Yw
    A2 = (Xw + 4 * d) * (Yw + 4 * d)
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Medianera" Then
    A1 = Xw * Yw
    A2 = Xw * Yw
ElseIf ENTRADA.cmbTZ.Text = "Esquinera" Then
    A1 = Xw * Yw
    A2 = Xw * Yw
End If
DISEÑO.txtA1.Text = Round(A1, 2)
DISEÑO.txtA2.Text = Round(A2, 2)
'Resistencia contra el Aplastamiento
If Math.Sqrt(A2 / A1) <= 2 Then
    rhoPn = (0.65 * 0.75 * fc * Math.Sqrt(A2 / A1) * A1) * 10
Else
    rhoPn = (0.65 * 0.75 * fc * 2 * A1) * 10
End If
If Val(pumax) > rhoPn Then
    DISEÑO.lblA.Caption = ";Reforzar con Dowels !"
Else
    DISEÑO.lblA.Caption = "Cumple por Aplastamiento"
End If

DISEÑO.txtPu.Text = Round(pumax, 2)
DISEÑO.txtrhoPn.Text = Round(rhoPn, 2)
'.....
'.....
'DISEÑO POR CORTANTE
'Fuerza cortante
Vux = qumax * (Lvx - d) * B
Vuy = qumax * (Lvy - d) * L
DISEÑO.txtVuCx.Text = Round(Vux, 2)
DISEÑO.txtVuCy.Text = Round(Vuy, 2)
'Resistencia contra el corte
Vcx = (0.53 * Math.Sqrt(fc) * B * d) * 10

```

```

rhoVcx = 0.85 * Vcx
Vcy = (0.53 * Math.Sqrt(fc) * L * d) * 10
rhoVcy = 0.85 * Vcy
DISEÑO.txtrhoVcCx.Text = Round(rhoVcx, 2)
DISEÑO.txtrhoVcCy.Text = Round(rhoVcy, 2)
If Vux > rhoVcx Or Vuy > rhoVcy Then
    DISEÑO.lblC.Caption = "¡ Aumentar altura de zapata !"
Else
    DISEÑO.lblC.Caption = "Cumple por Cortante"
End If
'.....
'DISEÑO POR FLEXIÓN
'Para la dirección L (eje "X") y para la dirección B (eje "Y")
Mux = 0.5 * qumax * (Lvx ^ 2) * B
Muy = 0.5 * qumax * (Lvy ^ 2) * L
DISEÑO.txtMupx.Text = Round(Mux, 2)
DISEÑO.txtMupy.Text = Round(Muy, 2)
If fc <= 280 Then
    B1 = 0.85
ElseIf 280 < fc And fc < 560 Then
    B1 = 1.05 - 0.714 * (fc / 1000)
ElseIf fc >= 560 Then
    B1 = 0.65
End If
wmax = 0.75 * (0.85 * B1 * 0.588)
pmin = 0.0018
'ACERO DE REFUERZO "L"
Xx = (0.59 * 0.9 * fc * B * (d ^ 2)) * 10
Yx = (-0.9 * fc * B * (d ^ 2)) * 10
Zx = Mux
fiMnx = -Xx * (wmax ^ 2) - Yx * wmax
DISEÑO.txtfiMnx.Text = Round(fiMnx, 2)
'PARA MOMENTO POSITIVO
If ((Yx) ^ 2) - 4 * Xx * Zx < 0 Then
    Wlx = (-Yx - Math.Sqrt(((Yx) ^ 2) - 4 * Xx * -Zx)) / (2 * Xx)
Else
    Wlx = (-Yx - Math.Sqrt(((Yx) ^ 2) - 4 * Xx * Zx)) / (2 * Xx)
End If
'Cuantía de acero
rholx = Wlx * (fc / fy)
If rholx > pmin Then
    rolx = rholx
Else
    rolx = pmin
End If
DISEÑO.txtCpx.Text = Round(rolx, 4)
'Área de acero Positivo
Asx1 = rolx * B * d * (100 ^ 2)
nblx = Asx1 / Abz
nbMlx = nblx / B
Slx = Round((100 / (nbMlx)), 0)
DISEÑO.txtAsx.Text = Round(Asx1, 3)
DISEÑO.txtAPL.Text = Slx
DISEÑO.lblAPL.Caption = "Acero de " + MATERIALES.cmbDBZ.Text
'ACERO DE REFUERZO "B"
Xy = (0.59 * 0.9 * fc * L * (d ^ 2)) * 10
Yy = (-0.9 * fc * L * (d ^ 2)) * 10
Zy = Muy
fiMny = -Xy * (wmax ^ 2) - Yy * wmax
DISEÑO.txtfiMny.Text = Round(fiMny, 2)

```

```

'PARA MOMENTO POSITIVO
If ((Yy) ^ 2) - 4 * Xy * Zy < 0 Then
    Wly = (-Yy - Math.Sqrt(((Yy) ^ 2) - 4 * Xy * Zy)) / (2 * Xy)
Else
    Wly = (-Yy + Math.Sqrt(((Yy) ^ 2) - 4 * Xy * Zy)) / (2 * Xy)
End If
'Cuantía de acero
rholy = Wly * (fc / fy)
If rholy > pmin Then
    roly = rholy
Else
    roly = pmin
End If
DISEÑO.txtCpy.Text = Round(roly, 4)
'Área de acero Positivo
Asy1 = roly * L * d * (100 ^ 2)
nbly = Asy1 / Abz
nbMly = nbly / L
Sly = Round((100 / (nbMly)), 0)
DISEÑO.txtAsy.Text = Round(Asy1, 3)
DISEÑO.txtAPB.Text = Sly
DISEÑO.lblAPB.Caption = "Acero de " + MATERIALES.cmbDBZ.Text
If (((Yx) ^ 2) - 4 * Xx * Zx) < 0 Or (((Yy) ^ 2) - 4 * Xy * Zy < 0) Then
    DISEÑO.lblPf.Caption = "; Agregar acero mínimo superior !"
Else
    DISEÑO.lblPf.Caption = "; Diseño por flexión satisfactorio !"
End If
End Sub

Private Sub CONDICION_U3()
'PRESIONES ÚLTIMAS
'.....
'Combinaciones CASO Nucleo Central
If (0 <= (eux1 / L) And (eux1 / L) <= (1 / 6) And euy1 <= ((-B / L) * eux1 + (B / 6))) Then
    qr1 = (Pul / Azap) - ((6 * Pul * eux1) / (B * L ^ 2)) - ((6 * Pul * euy1) / (L * B ^ 2))
    qs1 = (Pul / Azap) - ((6 * Pul * eux1) / (B * L ^ 2)) + ((6 * Pul * euy1) / (L * B ^ 2))
    qt1 = (Pul / Azap) + ((6 * Pul * eux1) / (B * L ^ 2)) - ((6 * Pul * euy1) / (L * B ^ 2))
    qv1 = (Pul / Azap) + ((6 * Pul * eux1) / (B * L ^ 2)) + ((6 * Pul * euy1) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (euxx2 / L) And (euxx2 / L) <= (1 / 6) And euyx2 <= ((-B / L) * euxx2 + (B / 6))) Then
    grxx2 = (Puxx2 / Azap) - ((6 * Puxx2 * euxx2) / (B * L ^ 2)) - ((6 * Puxx2 * euyx2) / (L * B ^ 2))
    qsxx2 = (Puxx2 / Azap) - ((6 * Puxx2 * euxx2) / (B * L ^ 2)) + ((6 * Puxx2 * euyx2) / (L * B ^ 2))
    qtxx2 = (Puxx2 / Azap) + ((6 * Puxx2 * euxx2) / (B * L ^ 2)) - ((6 * Puxx2 * euyx2) / (L * B ^ 2))
    qvxx2 = (Puxx2 / Azap) + ((6 * Puxx2 * euxx2) / (B * L ^ 2)) + ((6 * Puxx2 * euyx2) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (euxx3 / L) And (euxx3 / L) <= (1 / 6) And euyx3 <= ((-B / L) * euxx3 + (B / 6))) Then
    grxx3 = (Puxx3 / Azap) - ((6 * Psxx3 * euxx3) / (B * L ^ 2)) - ((6 * Puxx3 * euyx3) / (L * B ^ 2))

```

```

    qsx3 = (Pux3 / Azap) - ((6 * Psx3 * eux3) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux3 * euy3) / (L * B ^ 2))
    qtx3 = (Pux3 / Azap) + ((6 * Psx3 * eux3) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Pux3 * euy3) / (L * B ^ 2))
    qvx3 = (Pux3 / Azap) + ((6 * Psx3 * eux3) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux3 * euy3) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (eux4 / L) And (eux4 / L) <= (1 / 6) And euy4 <= ((-B / L) *
eux4 + (B / 6))) Then
    qrx4 = (Pux4 / Azap) - ((6 * Pux4 * eux4) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Pux4 * euy4) / (L * B ^ 2))
    qsx4 = (Pux4 / Azap) - ((6 * Pux4 * eux4) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux4 * euy4) / (L * B ^ 2))
    qtx4 = (Pux4 / Azap) + ((6 * Pux4 * eux4) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Pux4 * euy4) / (L * B ^ 2))
    qvx4 = (Pux4 / Azap) + ((6 * Pux4 * eux4) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux4 * euy4) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (eux5 / L) And (eux5 / L) <= (1 / 6) And euy5 <= ((-B / L) *
eux5 + (B / 6))) Then
    qrx5 = (Pux5 / Azap) - ((6 * Pux5 * eux5) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Pux5 * euy5) / (L * B ^ 2))
    qsx5 = (Pux5 / Azap) - ((6 * Pux5 * eux5) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux5 * euy5) / (L * B ^ 2))
    qtx5 = (Pux5 / Azap) + ((6 * Pux5 * eux5) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Pux5 * euy5) / (L * B ^ 2))
    qvx5 = (Pux5 / Azap) + ((6 * Pux5 * eux5) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Pux5 * euy5) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (euy2 / L) And (euy2 / L) <= (1 / 6) And euyy2 <= ((-B / L) *
euy2 + (B / 6))) Then
    qry2 = (Puy2 / Azap) - ((6 * Puy2 * euy2) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy2 * euyy2) / (L * B ^ 2))
    qsy2 = (Puy2 / Azap) - ((6 * Puy2 * euy2) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy2 * euyy2) / (L * B ^ 2))
    qty2 = (Puy2 / Azap) + ((6 * Puy2 * euy2) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy2 * euyy2) / (L * B ^ 2))
    qvy2 = (Puy2 / Azap) + ((6 * Puy2 * euy2) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy2 * euyy2) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (euy3 / L) And (euy3 / L) <= (1 / 6) And euyy3 <= ((-B / L) *
euy3 + (B / 6))) Then
    qry3 = (Puy3 / Azap) - ((6 * Puy3 * euy3) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy3 * euyy3) / (L * B ^ 2))
    qsy3 = (Puy3 / Azap) - ((6 * Puy3 * euy3) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy3 * euyy3) / (L * B ^ 2))
    qty3 = (Puy3 / Azap) + ((6 * Puy3 * euy3) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy3 * euyy3) / (L * B ^ 2))
    qvy3 = (Puy3 / Azap) + ((6 * Puy3 * euy3) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy3 * euyy3) / (L * B ^ 2))
End If
If (0 <= (euy4 / L) And (euy4 / L) <= (1 / 6) And euyy4 <= ((-B / L) *
euy4 + (B / 6))) Then
    qry4 = (Puy4 / Azap) - ((6 * Puy4 * euy4) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy4 * euyy4) / (L * B ^ 2))
    qsy4 = (Puy4 / Azap) - ((6 * Puy4 * euy4) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy4 * euyy4) / (L * B ^ 2))
    qty4 = (Puy4 / Azap) + ((6 * Puy4 * euy4) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puy4 * euyy4) / (L * B ^ 2))
    qvy4 = (Puy4 / Azap) + ((6 * Puy4 * euy4) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puy4 * euyy4) / (L * B ^ 2))

```



```

End If
If (0 <= (euxy5 / L) And (euxy5 / L) <= (1 / 6) And euyy5 <= ((-B / L) *
euxy5 + (B / 6))) Then
    qryy5 = (Puyy5 / Azap) - ((6 * Puyy5 * euxy5) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puyy5 * euyy5) / (L * B ^ 2))
    qsy5 = (Puyy5 / Azap) - ((6 * Puyy5 * euxy5) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puyy5 * euyy5) / (L * B ^ 2))
    qtyy5 = (Puyy5 / Azap) + ((6 * Puyy5 * euxy5) / (B * L ^ 2)) - ((6 *
Puyy5 * euyy5) / (L * B ^ 2))
    qvy5 = (Puyy5 / Azap) + ((6 * Puyy5 * euxy5) / (B * L ^ 2)) + ((6 *
Puyy5 * euyy5) / (L * B ^ 2))
End If
' .....
' .....
'Combinaciones CASO S-R-T
If ((L / 4) <= eux1 And eux1 < (L / 2) And (B / 4) <= euy1 And euy1 < (B /
2)) Then
    qrl = 0
    qsl = 0
    qtl = 0
    qvl = (3 * Pu1) / (2 * (L - 2 * eux1) * (B - 2 * euy1))
End If
If ((L / 4) <= euxx2 And euxx2 < (L / 2) And (B / 4) <= euyx2 And euyx2 <
(B / 2)) Then
    grxx2 = 0
    qsxx2 = 0
    qtxx2 = 0
    qvxx2 = (3 * Puxx2) / (2 * (L - 2 * euxx2) * (B - 2 * euyx2))
End If
If ((L / 4) <= euxx3 And euxx3 < (L / 2) And (B / 4) <= euyx3 And euyx3 <
(B / 2)) Then
    grxx3 = 0
    qsxx3 = 0
    qtxx3 = 0
    qvxx3 = (3 * Puxx3) / (2 * (L - 2 * euxx3) * (B - 2 * euyx3))
End If
If ((L / 4) <= euxx4 And euxx4 < (L / 2) And (B / 4) <= euyx4 And euyx4 <
(B / 2)) Then
    grxx4 = 0
    qsxx4 = 0
    qtxx4 = 0
    qvxx4 = (3 * Puxx4) / (2 * (L - 2 * euxx4) * (B - 2 * euyx4))
End If
If ((L / 4) <= euxx5 And euxx5 < (L / 2) And (B / 4) <= euyx5 And euyx5 <
(B / 2)) Then
    grxx5 = 0
    qsxx5 = 0
    qtxx5 = 0
    qvxx5 = (3 * Puxx5) / (2 * (L - 2 * euxx5) * (B - 2 * euyx5))
End If
If ((L / 4) <= euxy2 And euxy2 < (L / 2) And (B / 4) <= euyy2 And euyy2 <
(B / 2)) Then
    qryy2 = 0
    qsy2 = 0
    qtyy2 = 0
    qvy2 = (3 * Puyy2) / (2 * (L - 2 * euxy2) * (B - 2 * euyy2))
End If
If ((L / 4) <= euxy3 And euxy3 < (L / 2) And (B / 4) <= euyy3 And euyy3 <
(B / 2)) Then
    qryy3 = 0
    qsy3 = 0

```

```

    qtyy3 = 0
    qvyy3 = (3 * Puyy3) / (2 * (L - 2 * euxy3) * (B - 2 * euyy3))
End If
If ((L / 4) <= euxy4 And euxy4 < (L / 2) And (B / 4) <= euyy4 And euyy4 <
(B / 2)) Then
    qryy4 = 0
    qsy4 = 0
    qtyy4 = 0
    qvyy4 = (3 * Puyy4) / (2 * (L - 2 * euxy4) * (B - 2 * euyy4))
End If
If ((L / 4) <= euxy5 And euxy5 < (L / 2) And (B / 4) <= euyy5 And euyy5 <
(B / 2)) Then
    qryy5 = 0
    qsy5 = 0
    qtyy5 = 0
    qvyy5 = (3 * Puyy5) / (2 * (L - 2 * euxy5) * (B - 2 * euyy5))
End If
'.....
'Combinaciones CASO S-R
If ((L / 6) < eux1 And eux1 <= (L / 4) And 0 <= euy1 And euy1 < ((3 * B *
eux1 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < eux1 And eux1 < (L / 2) And 0 <= euy1
And euy1 < (B / 4)) Then
    If euy1 = 0 Then
        euy1 = 0.0001
    End If
    nul = 2 - (4 * euy1 / B)
    delta1 = (8 - 3 * nul + Sqr(12 * nul - 3 * (nul ^ 2) - 8)) / (12 - 6 *
nul)
    alfa1 = 4 * delta1 * (L / 2 - eux1) * (((delta1 ^ 3) - (delta1 - 1) ^
3) / ((delta1 ^ 4) - (delta1 - 1) ^ 4))
    qr1 = 0
    qs1 = 0
    qv1 = (6 * Pu1 * (delta1 ^ 2)) / (alfa1 * B * ((delta1 ^ 3) - (delta1 -
1) ^ 3))
    qt1 = qv1 * (1 - (1 / delta1))
End If
If ((L / 6) < euxx2 And euxx2 <= (L / 4) And 0 <= euyx2 And euyx2 < ((3 * B
* euxx2 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxx2 And euxx2 < (L / 2) And 0 <=
euyx2 And euyx2 < (B / 4)) Then
    If euyx2 = 0 Then
        euyx2 = 0.0001
    End If
    nuxx2 = 2 - (4 * euyx2 / B)
    deltaxx2 = (8 - 3 * nuxx2 + Sqr(12 * nuxx2 - 3 * (nuxx2 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx2)
    alfaxx2 = 4 * deltaxx2 * (L / 2 - euxx2) * (((deltaxx2 ^ 3) - (deltaxx2
- 1) ^ 3) / ((deltaxx2 ^ 4) - (deltaxx2 - 1) ^ 4))
    grxx2 = 0
    qsxx2 = 0
    qvxx2 = (6 * Puxx2 * (deltaxx2 ^ 2)) / (alfaxx2 * B * ((deltaxx2 ^ 3) -
(deltaxx2 - 1) ^ 3))
    qtxx2 = qvxx2 * (1 - (1 / deltaxx2))
End If
If ((L / 6) < euxx3 And euxx3 <= (L / 4) And 0 <= euyx3 And euyx3 < ((3 * B
* euxx3 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxx3 And euxx3 < (L / 2) And 0 <=
euyx3 And euyx3 < (B / 4)) Then
    If euyx3 = 0 Then
        euyx3 = 0.0001
    End If
    nuxx3 = 2 - (4 * euyx3 / B)

```

```

    deltaxx3 = (8 - 3 * nuxx3 + Sqr(12 * nuxx3 - 3 * (nuxx3 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx3)
    alfaxx3 = 4 * deltaxx3 * (L / 2 - euxx3) * (((deltaxx3 ^ 3) - (deltaxx3
- 1) ^ 3) / ((deltaxx3 ^ 4) - (deltaxx3 - 1) ^ 4))
    qrx3 = 0
    qsxx3 = 0
    qvxx3 = (6 * Puxx3 * (deltaxx3 ^ 2)) / (alfaxx3 * B * ((deltaxx3 ^ 3) -
(deltaxx3 - 1) ^ 3))
    qtxx3 = qvxx3 * (1 - (1 / deltaxx3))
End If
If ((L / 6) < euxx4 And euxx4 <= (L / 4) And 0 <= euyx4 And euyx4 < ((3 * B
* euxx4 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxx4 And euxx4 < (L / 2) And 0 <=
euyx4 And euyx4 < (B / 4)) Then
    If euyx4 = 0 Then
        euyx4 = 0.0001
    End If
    nuxx4 = 2 - (4 * euyx4 / B)
    deltaxx4 = (8 - 3 * nuxx4 + Sqr(12 * nuxx4 - 3 * (nuxx4 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx4)
    alfaxx4 = 4 * deltaxx4 * (L / 2 - euxx4) * (((deltaxx4 ^ 3) - (deltaxx4
- 1) ^ 3) / ((deltaxx4 ^ 4) - (deltaxx4 - 1) ^ 4))
    qrx4 = 0
    qsxx4 = 0
    qvxx4 = (6 * Puxx4 * (deltaxx4 ^ 2)) / (alfaxx4 * B * ((deltaxx4 ^ 3) -
(deltaxx4 - 1) ^ 3))
    qtxx4 = qvxx4 * (1 - (1 / deltaxx4))
End If
If ((L / 6) < euxx5 And euxx5 <= (L / 4) And 0 <= euyx5 And euyx5 < ((3 * B
* euxx5 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxx5 And euxx5 < (L / 2) And 0 <=
euyx5 And euyx5 < (B / 4)) Then
    If euyx5 = 0 Then
        euyx5 = 0.0001
    End If
    nuxx5 = 2 - (4 * euyx5 / B)
    deltaxx5 = (8 - 3 * nuxx5 + Sqr(12 * nuxx5 - 3 * (nuxx5 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx5)
    alfaxx5 = 4 * deltaxx5 * (L / 2 - euxx5) * (((deltaxx5 ^ 3) - (deltaxx5
- 1) ^ 3) / ((deltaxx5 ^ 4) - (deltaxx5 - 1) ^ 4))
    qrx5 = 0
    qsxx5 = 0
    qvxx5 = (6 * Puxx5 * (deltaxx5 ^ 2)) / (alfaxx5 * B * ((deltaxx5 ^ 3) -
(deltaxx5 - 1) ^ 3))
    qtxx5 = qvxx5 * (1 - (1 / deltaxx5))
End If
If ((L / 6) < euyx2 And euyx2 <= (L / 4) And 0 <= euyy2 And euyy2 < ((3 * B
* euyx2 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euyx2 And euyx2 < (L / 2) And 0 <=
euyy2 And euyy2 < (B / 4)) Then
    If euyy2 = 0 Then
        euyy2 = 0.0001
    End If
    nuyy2 = 2 - (4 * euyy2 / B)
    deltayy2 = (8 - 3 * nuyy2 + Sqr(12 * nuyy2 - 3 * (nuyy2 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy2)
    alfayy2 = 4 * deltayy2 * (L / 2 - euyx2) * (((deltayy2 ^ 3) - (deltayy2
- 1) ^ 3) / ((deltayy2 ^ 4) - (deltayy2 - 1) ^ 4))
    qryy2 = 0
    qsy2 = 0
    qvyy2 = (6 * Puyy2 * (deltayy2 ^ 2)) / (alfayy2 * B * ((deltayy2 ^ 3) -
(deltayy2 - 1) ^ 3))
    qtyy2 = qvyy2 * (1 - (1 / deltayy2))
End If

```

```

If ((L / 6) < euxy3 And euxy3 <= (L / 4) And 0 <= euyy3 And euyy3 < ((3 * B
* euxy3 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxy3 And euxy3 < (L / 2) And 0 <=
euyy3 And euyy3 < (B / 4)) Then
  If euyy3 = 0 Then
    euyy3 = 0.0001
  End If
  nuyy3 = 2 - (4 * euyy3 / B)
  deltayy3 = (8 - 3 * nuyy3 + Sqr(12 * nuyy3 - 3 * (nuyy3 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy3)
  alfayy3 = 4 * deltayy3 * (L / 2 - euxy3) * (((deltayy3 ^ 3) - (deltayy3
- 1) ^ 3) / ((deltayy3 ^ 4) - (deltayy3 - 1) ^ 4))
  qryy2 = 0
  qsyy2 = 0
  qvyy3 = (6 * Puyy3 * (deltayy3 ^ 2)) / (alfayy3 * B * ((deltayy3 ^ 3) -
(deltayy3 - 1) ^ 3))
  qtyy3 = qvyy3 * (1 - (1 / deltayy3))
End If
If ((L / 6) < euxy4 And euxy4 <= (L / 4) And 0 <= euyy4 And euyy4 < ((3 * B
* euxy4 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxy4 And euxy4 < (L / 2) And 0 <=
euyy4 And euyy4 < (B / 4)) Then
  If euyy4 = 0 Then
    euyy4 = 0.0001
  End If
  nuyy4 = 2 - (4 * euyy4 / B)
  deltayy4 = (8 - 3 * nuyy4 + Sqr(12 * nuyy4 - 3 * (nuyy4 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy4)
  alfayy4 = 4 * deltayy4 * (L / 2 - euxy4) * (((deltayy4 ^ 3) - (deltayy4
- 1) ^ 3) / ((deltayy4 ^ 4) - (deltayy4 - 1) ^ 4))
  qryy4 = 0
  qsyy4 = 0
  qvyy4 = (6 * Puyy4 * (deltayy4 ^ 2)) / (alfayy4 * B * ((deltayy4 ^ 3) -
(deltayy4 - 1) ^ 3))
  qtyy4 = qvyy4 * (1 - (1 / deltayy4))
End If
If ((L / 6) < euxy5 And euxy5 <= (L / 4) And 0 <= euyy5 And euyy5 < ((3 * B
* euxy5 / L) - (B / 2))) Or ((L / 4) < euxy5 And euxy5 < (L / 2) And 0 <=
euyy5 And euyy5 < (B / 4)) Then
  If euyy5 = 0 Then
    euyy5 = 0.0001
  End If
  nuyy5 = 2 - (4 * euyy5 / B)
  deltayy5 = (8 - 3 * nuyy5 + Sqr(12 * nuyy5 - 3 * (nuyy5 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy5)
  alfayy5 = 4 * deltayy5 * (L / 2 - euxy5) * (((deltayy5 ^ 3) - (deltayy5
- 1) ^ 3) / ((deltayy5 ^ 4) - (deltayy5 - 1) ^ 4))
  qryy5 = 0
  qsyy5 = 0
  qvyy5 = (6 * Puyy5 * (deltayy5 ^ 2)) / (alfayy5 * B * ((deltayy5 ^ 3) -
(deltayy5 - 1) ^ 3))
  qtyy5 = qvyy5 * (1 - (1 / deltayy5))
End If
'.....
'.....
'Combinaciones CASO R-T
If (0 <= eux1 And eux1 < (L / 4) And ((B * eux1 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euy1 And euy1 <= (B / 4)) Or (0 <= eux1 And eux1 < (L / 4) And (B / 4) <
euy1 And euy1 < (B / 2)) Then
  If eux1 = 0 Then
    eux1 = 0.0001
  End If
  nul = 2 - (4 * eux1 / L)

```

```

    delta1 = (8 - 3 * nul + Sqr(12 * nul - 3 * (nul ^ 2) - 8)) / (12 - 6 *
nul)
    alfa1 = 4 * delta1 * (B / 2 - euy1) * (((delta1 ^ 3) - (delta1 - 1) ^
3) / ((delta1 ^ 4) - (delta1 - 1) ^ 4))
    qr1 = 0
    qt1 = 0
    qv1 = (6 * Pu1 * (delta1 ^ 2)) / (alfa1 * L * ((delta1 ^ 3) - (delta1 -
1) ^ 3))
    qs1 = qv1 * (1 - (1 / delta1))
End If
If (0 <= euxx2 And euxx2 < (L / 4) And ((B * euxx2 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyx2 And euyx2 <= (B / 4)) Or (0 <= euxx2 And euxx2 < (L / 4) And (B / 4)
< euyx2 And euyx2 < (B / 2)) Then
    If euxx2 = 0 Then
        euxx2 = 0.0001
    End If
    nuxx2 = 2 - (4 * euxx2 / L)
    deltaxx2 = (8 - 3 * nuxx2 + Sqr(12 * nuxx2 - 3 * (nuxx2 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx2)
    alfaxx2 = 4 * deltaxx2 * (B / 2 - euyx2) * (((deltaxx2 ^ 3) - (deltaxx2
- 1) ^ 3) / ((deltaxx2 ^ 4) - (deltaxx2 - 1) ^ 4))
    qrxx2 = 0
    qtxx2 = 0
    qvxx2 = (6 * Puxx2 * (deltaxx2 ^ 2)) / (alfaxx2 * L * ((deltaxx2 ^ 3) -
(deltaxx2 - 1) ^ 3))
    qsxx2 = qvxx2 * (1 - (1 / deltaxx2))
End If
If (0 <= euxx3 And euxx3 < (L / 4) And ((B * euxx3 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyx3 And euyx3 <= (B / 4)) Or (0 <= euxx3 And euxx3 < (L / 4) And (B / 4)
< euyx3 And euyx3 < (B / 2)) Then
    If euxx3 = 0 Then
        euxx3 = 0.0001
    End If
    nuxx3 = 2 - (4 * euxx3 / L)
    deltaxx3 = (8 - 3 * nuxx3 + Sqr(12 * nuxx3 - 3 * (nuxx3 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx3)
    alfaxx3 = 4 * deltaxx3 * (B / 2 - euyx3) * (((deltaxx3 ^ 3) - (deltaxx3
- 1) ^ 3) / ((deltaxx3 ^ 4) - (deltaxx3 - 1) ^ 4))
    qrxx3 = 0
    qtxx3 = 0
    qvxx3 = (6 * Puxx3 * (deltaxx3 ^ 2)) / (alfaxx3 * L * ((deltaxx3 ^ 3) -
(deltaxx3 - 1) ^ 3))
    qsxx3 = qvxx3 * (1 - (1 / deltaxx3))
End If
If (0 <= euxx4 And euxx4 < (L / 4) And ((B * euxx4 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyx4 And euyx4 <= (B / 4)) Or (0 <= euxx4 And euxx4 < (L / 4) And (B / 4)
< euyx4 And euyx4 < (B / 2)) Then
    If euxx4 = 0 Then
        euxx4 = 0.0001
    End If
    nuxx4 = 2 - (4 * euxx4 / L)
    deltaxx4 = (8 - 3 * nuxx4 + Sqr(12 * nuxx4 - 3 * (nuxx4 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx4)
    alfaxx4 = 4 * deltaxx4 * (B / 2 - euyx4) * (((deltaxx4 ^ 3) - (deltaxx4
- 1) ^ 3) / ((deltaxx4 ^ 4) - (deltaxx4 - 1) ^ 4))
    qrxx4 = 0
    qtxx4 = 0
    qvxx4 = (6 * Puxx4 * (deltaxx4 ^ 2)) / (alfaxx4 * L * ((deltaxx4 ^ 3) -
(deltaxx4 - 1) ^ 3))
    qsxx4 = qvxx4 * (1 - (1 / deltaxx4))
End If

```

```

If (0 <= euxx5 And euxx5 < (L / 4) And ((B * euxx5 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyx5 And euyx5 <= (B / 4)) Or (0 <= euxx5 And euxx5 < (L / 4) And (B / 4)
< euyx5 And euyx5 < (B / 2)) Then
  If euxx5 = 0 Then
    euxx5 = 0.0001
  End If
  nuxx5 = 2 - (4 * euxx5 / L)
  deltaxx5 = (8 - 3 * nuxx5 + Sqr(12 * nuxx5 - 3 * (nuxx5 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuxx5)
  alfaxx5 = 4 * deltaxx5 * (B / 2 - euyx5) * (((deltaxx5 ^ 3) - (deltaxx5
- 1) ^ 3) / ((deltaxx5 ^ 4) - (deltaxx5 - 1) ^ 4))
  qrx5 = 0
  qtx5 = 0
  qvxx5 = (6 * Puxx5 * (deltaxx5 ^ 2)) / (alfaxx5 * L * ((deltaxx5 ^ 3) -
(deltaxx5 - 1) ^ 3))
  qsxx5 = qvxx5 * (1 - (1 / deltaxx5))
End If
If (0 <= euxy2 And euxy2 < (L / 4) And ((B * euxy2 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyy2 And euyy2 <= (B / 4)) Or (0 <= euxy2 And euxy2 < (L / 4) And (B / 4)
< euyy2 And euyy2 < (B / 2)) Then
  If euxy2 = 0 Then
    euxy2 = 0.0001
  End If
  nuyy2 = 2 - (4 * euxy2 / L)
  deltayy2 = (8 - 3 * nuyy2 + Sqr(12 * nuyy2 - 3 * (nuyy2 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy2)
  alfayy2 = 4 * deltayy2 * (B / 2 - euyy2) * (((deltayy2 ^ 3) - (deltayy2
- 1) ^ 3) / ((deltayy2 ^ 4) - (deltayy2 - 1) ^ 4))
  qryy2 = 0
  qtyy2 = 0
  qvyy2 = (6 * Puyy2 * (deltayy2 ^ 2)) / (alfayy2 * L * ((deltayy2 ^ 3) -
(deltayy2 - 1) ^ 3))
  qsy2 = qvyy2 * (1 - (1 / deltayy2))
End If
If (0 <= euxy3 And euxy3 < (L / 4) And ((B * euxy3 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyy3 And euyy3 <= (B / 4)) Or (0 <= euxy3 And euxy3 < (L / 4) And (B / 4)
< euyy3 And euyy3 < (B / 2)) Then
  If euxy3 = 0 Then
    euxy3 = 0.0001
  End If
  nuyy3 = 2 - (4 * euxy3 / L)
  deltayy3 = (8 - 3 * nuyy3 + Sqr(12 * nuyy3 - 3 * (nuyy3 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy3)
  alfayy3 = 4 * deltayy3 * (B / 2 - euyy3) * (((deltayy3 ^ 3) - (deltayy3
- 1) ^ 3) / ((deltayy3 ^ 4) - (deltayy3 - 1) ^ 4))
  qryy3 = 0
  qtyy3 = 0
  qvyy3 = (6 * Puyy3 * (deltayy3 ^ 2)) / (alfayy3 * L * ((deltayy3 ^ 3) -
(deltayy3 - 1) ^ 3))
  qsy3 = qvyy3 * (1 - (1 / deltayy3))
End If
If (0 <= euxy4 And euxy4 < (L / 4) And ((B * euxy4 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyy4 And euyy4 <= (B / 4)) Or (0 <= euxy4 And euxy4 < (L / 4) And (B / 4)
< euyy4 And euyy4 < (B / 2)) Then
  If euxy4 = 0 Then
    euxy4 = 0.0001
  End If
  nuyy4 = 2 - (4 * euxy4 / L)
  deltayy4 = (8 - 3 * nuyy4 + Sqr(12 * nuyy4 - 3 * (nuyy4 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy4)

```

```

    alfayy4 = 4 * deltayy4 * (B / 2 - euyy4) * (((deltayy4 ^ 3) - (deltayy4
- 1) ^ 3) / ((deltayy4 ^ 4) - (deltayy4 - 1) ^ 4))
    qryy4 = 0
    qtyy4 = 0
    qvyy4 = (6 * Puyy4 * (deltayy4 ^ 2)) / (alfayy4 * L * ((deltayy4 ^ 3) -
(deltayy4 - 1) ^ 3))
    qsy4 = qvyy4 * (1 - (1 / deltayy4))
End If
If (0 <= euxy5 And euxy5 < (L / 4) And ((B * euxy5 / (3 * L)) + (B / 6)) <
euyy5 And euyy5 <= (B / 4)) Or (0 <= euxy5 And euxy5 < (L / 4) And (B / 4)
< euyy5 And euyy5 < (B / 2)) Then
    If euxy5 = 0 Then
        euxy5 = 0.0001
    End If
    nuyy5 = 2 - (4 * euxy5 / L)
    deltayy5 = (8 - 3 * nuyy5 + Sqr(12 * nuyy5 - 3 * (nuyy5 ^ 2) - 8)) /
(12 - 6 * nuyy5)
    alfayy5 = 4 * deltayy5 * (B / 2 - euyy5) * (((deltayy5 ^ 3) - (deltayy5
- 1) ^ 3) / ((deltayy5 ^ 4) - (deltayy5 - 1) ^ 4))
    qryy5 = 0
    qtyy5 = 0
    qvyy5 = (6 * Puyy5 * (deltayy5 ^ 2)) / (alfayy5 * L * ((deltayy5 ^ 3) -
(deltayy5 - 1) ^ 3))
    qsy5 = qvyy5 * (1 - (1 / deltayy5))
End If
'.....
'Combinaciones CASO R
If (0 < eux1 And eux1 < (L / 4) And euy1 > ((-B * eux1 / L) + (B / 6))) And
(euy1 <= ((B * eux1 / (3 * L)) + (B / 6)) And euy1 >= ((3 * B * eux1 / L) -
(B / 2))) Then
    A1 = 4 * ((eux1 / L) + (euy1 / B))
    C1 = (B * eux1) / (L * euy1)
    A01 = -(4 * ((C1 + 1) ^ 2) * (((3 * A1) - 2) ^ 2))
    A11 = (144 * (A1 ^ 2) * C1)
    A21 = ((-48 * A1 * (A1 + 4) * C1) + (12 * ((C1 - 1) ^ 2) * A1 * ((6 *
A1) - 4)) + (12 * A1 * ((3 * A1) - 2) * (C1 + 1) ^ 2))
    A31 = ((-72 * (A1 ^ 2) * ((C1 ^ 2) + 1)) + (4 * ((A1 + 4) ^ 2) * C1) +
(4 * ((C1 - 1) ^ 2) * (A1 + 4) * (2 - (3 * A1))) - (4 * ((C1 - 1) ^ 2) *
((3 * A1) - 2) ^ 2))
    A41 = ((24 * A1 * (A1 + 4) * ((C1 ^ 2) + 1)) + (12 * ((C1 - 1) ^ 2) *
A1 * ((3 * A1) - 4)) - (((C1 + 1) ^ 2) * (((3 * A1) - 2) * ((3 * A1) + 6) +
4)))
    A51 = ((36 * (A1 ^ 2) * C1) - (2 * ((A1 + 4) ^ 2) * ((C1 ^ 2) + 1)) +
(2 * ((C1 - 1) ^ 2) * (A1 + 4) * (4 - (3 * A1))) + (8 * ((C1 - 1) ^ 2) *
((3 * A1) - 2)))
    A61 = ((-12 * A1 * (A1 + 4) * C1) - (12 * ((C1 - 1) ^ 2) * A1) + (6 *
((C1 + 1) ^ 2) * A1))
    A71 = ((C1 * (A1 + 4) ^ 2) + (2 * ((C1 - 1) ^ 2) * (A1 + 4)) - (4 *
((C1 - 1) ^ 2)))
    A81 = -((C1 + 1) ^ 2)
    av1 = 0
    bv1 = 0.7
    For t = 1 To 100
        f_av1 = A01 + A11 * (av1) + A21 * (av1 ^ 2) + A31 * (av1 ^ 3) + A41 *
(av1 ^ 4) + A51 * (av1 ^ 5) + A61 * (av1 ^ 6) + A71 * (av1 ^ 7) + A81 *
(av1 ^ 8)
        f_bv1 = A01 + A11 * (bv1) + A21 * (bv1 ^ 2) + A31 * (bv1 ^ 3) + A41 *
(bv1 ^ 4) + A51 * (bv1 ^ 5) + A61 * (bv1 ^ 6) + A71 * (bv1 ^ 7) + A81 *
(bv1 ^ 8)
        mv1 = ((av1 * f_bv1) - (bv1 * f_av1)) / (f_bv1 - f_av1)
    
```



```

f_mv1 = A01 + A11 * (mv1) + A21 * (mv1 ^ 2) + A31 * (mv1 ^ 3) + A41 *
(mv1 ^ 4) + A51 * (mv1 ^ 5) + A61 * (mv1 ^ 6) + A71 * (mv1 ^ 7) + A81 *
(mv1 ^ 8)
If f_av1 * f_mv1 > 0 Then
    av1 = mv1
Else
    bv1 = mv1
End If
Next
nul = mv1 * ((6 * A1 - (A1 + 4) * mv1) / (3 * A1 - 2 - mv1 ^ 2))
betal = (nul * ((mv1 ^ 2) - 2 * C1) + 2 * (mv1 ^ 2) * (C1 - 1)) / ((C1
+ 1) * ((mv1 ^ 2) - 2))
alfal = (nul * (C1 * (mv1 ^ 2) - 2) - 2 * (mv1 ^ 2) * (C1 - 1)) / ((C1
+ 1) * ((mv1 ^ 2) - 2))
qrlp = (2 * Pul * alfa1 * betal) / (L * B * (alfa1 + betal - 2 * alfa1
* betal + ((alfa1 ^ 2) * (betal ^ 2) / 3)))
qrl = 0
qvl = qrlp * ((1 / alfa1) + (1 / betal) - 1)
qsl = qrlp * ((1 / betal) - 1)
qtl = qrlp * ((1 / alfa1) - 1)
End If
If (0 < euxx2 And euxx2 < (L / 4) And euyx2 > ((-B * euxx2 / L) + (B / 6)))
And (euyx2 <= ((B * euxx2 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyx2 >= ((3 * B *
euxx2 / L) - (B / 2))) Then
    Axx2 = 4 * ((euxx2 / L) + (euyx2 / B))
    Cxx2 = (B * euxx2) / (L * euyx2)
    A0xx2 = -(4 * ((Cxx2 + 1) ^ 2) * (((3 * Axx2) - 2) ^ 2))
    A1xx2 = (144 * (Axx2 ^ 2) * Cxx2)
    A2xx2 = ((-48 * Axx2 * (Axx2 + 4) * Cxx2) + (12 * ((Cxx2 - 1) ^ 2) *
Axx2 * ((6 * Axx2) - 4)) + (12 * Axx2 * ((3 * Axx2) - 2) * (Cxx2 + 1) ^ 2))
    A3xx2 = ((-72 * (Axx2 ^ 2) * ((Cxx2 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Axx2 + 4) ^ 2)
* Cxx2) + (4 * ((Cxx2 - 1) ^ 2) * (Axx2 + 4) * (2 - (3 * Axx2))) - (4 *
((Cxx2 - 1) ^ 2) * (((3 * Axx2) - 2) ^ 2))
    A4xx2 = ((24 * Axx2 * (Axx2 + 4) * ((Cxx2 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cxx2 -
1) ^ 2) * Axx2 * ((3 * Axx2) - 4)) - (((Cxx2 + 1) ^ 2) * (((3 * Axx2) - 2)
* ((3 * Axx2) + 6) + 4)))
    A5xx2 = ((36 * (Axx2 ^ 2) * Cxx2) - (2 * ((Axx2 + 4) ^ 2) * ((Cxx2 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cxx2 - 1) ^ 2) * (Axx2 + 4) * (4 - (3 * Axx2))) + (8 *
((Cxx2 - 1) ^ 2) * (((3 * Axx2) - 2)))
    A6xx2 = ((-12 * Axx2 * (Axx2 + 4) * Cxx2) - (12 * ((Cxx2 - 1) ^ 2) *
Axx2) + (6 * ((Cxx2 + 1) ^ 2) * Axx2))
    A7xx2 = ((Cxx2 * (Axx2 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cxx2 - 1) ^ 2) * (Axx2 + 4))
- (4 * ((Cxx2 - 1) ^ 2)))
    A8xx2 = -((Cxx2 + 1) ^ 2)
    avxx2 = 0
    bvxx2 = 0.7
    For t = 1 To 100
        f_avxx2 = A0xx2 + A1xx2 * (avxx2) + A2xx2 * (avxx2 ^ 2) + A3xx2 *
(avxx2 ^ 3) + A4xx2 * (avxx2 ^ 4) + A5xx2 * (avxx2 ^ 5) + A6xx2 * (avxx2 ^
6) + A7xx2 * (avxx2 ^ 7) + A8xx2 * (avxx2 ^ 8)
        f_bvxx2 = A0xx2 + A1xx2 * (bvxx2) + A2xx2 * (bvxx2 ^ 2) + A3xx2 *
(bvxx2 ^ 3) + A4xx2 * (bvxx2 ^ 4) + A5xx2 * (bvxx2 ^ 5) + A6xx2 * (bvxx2 ^
6) + A7xx2 * (bvxx2 ^ 7) + A8xx2 * (bvxx2 ^ 8)
        mvxx2 = ((avxx2 * f_bvxx2) - (bvxx2 * f_avxx2)) / (f_bvxx2 - f_avxx2)
        f_mvxx2 = A0xx2 + A1xx2 * (mvxx2) + A2xx2 * (mvxx2 ^ 2) + A3xx2 *
(mvxx2 ^ 3) + A4xx2 * (mvxx2 ^ 4) + A5xx2 * (mvxx2 ^ 5) + A6xx2 * (mvxx2 ^
6) + A7xx2 * (mvxx2 ^ 7) + A8xx2 * (mvxx2 ^ 8)
        If f_avxx2 * f_mvxx2 > 0 Then
            avxx2 = mvxx2
        Else
            bvxx2 = mvxx2
        End If
    Next
End If

```

```

End If
Next
nuxx2 = mvxx2 * ((6 * Axx2 - (Axx2 + 4) * mvxx2) / (3 * Axx2 - 2 -
mvxx2 ^ 2))
betaxx2 = (nuxx2 * ((mvxx2 ^ 2) - 2 * Cxx2) + 2 * (mvxx2 ^ 2) * (Cxx2 -
1)) / ((Cxx2 + 1) * ((mvxx2 ^ 2) - 2))
alfaxx2 = (nuxx2 * (Cxx2 * (mvxx2 ^ 2) - 2) - 2 * (mvxx2 ^ 2) * (Cxx2 -
1)) / ((Cxx2 + 1) * ((mvxx2 ^ 2) - 2))
qrxx2p = (2 * Puxx2 * alfaxx2 * betaxx2) / (L * B * (alfaxx2 + betaxx2
- 2 * alfaxx2 * betaxx2 + ((alfaxx2 ^ 2) * (betaxx2 ^ 2) / 3)))
qrxx2 = 0
qvxx2 = qrxx2p * ((1 / alfaxx2) + (1 / betaxx2) - 1)
qsxx2 = qrxx2p * ((1 / betaxx2) - 1)
qtxx2 = qrxx2p * ((1 / alfaxx2) - 1)
End If
If (0 < euxx3 And euxx3 < (L / 4) And euyx3 > ((-B * euxx3 / L) + (B / 6)))
And (euyx3 <= ((B * euxx3 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyx3 >= ((3 * B *
euxx3 / L) - (B / 2))) Then
Axx3 = 4 * ((euxx3 / L) + (euyx3 / B))
Cxx3 = (B * euxx3) / (L * euyx3)
A0xx3 = -(4 * ((Cxx3 + 1) ^ 2) * (((3 * Axx3) - 2) ^ 2))
A1xx3 = (144 * (Axx3 ^ 2) * Cxx3)
A2xx3 = ((-48 * Axx3 * (Axx3 + 4) * Cxx3) + (12 * ((Cxx3 - 1) ^ 2) *
Axx3 * ((6 * Axx3) - 4)) + (12 * Axx3 * ((3 * Axx3) - 2) * (Cxx3 + 1) ^ 2))
A3xx3 = ((-72 * (Axx3 ^ 2) * ((Cxx3 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Axx3 + 4) ^ 2)
* Cxx3) + (4 * ((Cxx3 - 1) ^ 2) * (Axx3 + 4) * (2 - (3 * Axx3))) - (4 *
((Cxx3 - 1) ^ 2) * ((3 * Axx3) - 2) ^ 2))
A4xx3 = ((24 * Axx3 * (Axx3 + 4) * ((Cxx3 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cxx3 -
1) ^ 2) * Axx3 * ((3 * Axx3) - 4)) - (((Cxx3 + 1) ^ 2) * (((3 * Axx3) - 2)
* ((3 * Axx3) + 6) + 4)))
A5xx3 = ((36 * (Axx3 ^ 2) * Cxx3) - (2 * ((Axx3 + 4) ^ 2) * ((Cxx3 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cxx3 - 1) ^ 2) * (Axx3 + 4) * (4 - (3 * Axx3))) + (8 *
((Cxx3 - 1) ^ 2) * (((3 * Axx3) - 2))))
A6xx3 = ((-12 * Axx3 * (Axx3 + 4) * Cxx3) - (12 * ((Cxx3 - 1) ^ 2) *
Axx3) + (6 * ((Cxx3 + 1) ^ 2) * Axx3))
A7xx3 = ((Cxx3 * (Axx3 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cxx3 - 1) ^ 2) * (Axx3 + 4))
- (4 * ((Cxx3 - 1) ^ 2)))
A8xx3 = -((Cxx3 + 1) ^ 2)
avxx3 = 0
bvxx3 = 0.7
For t = 1 To 100
f_avxx3 = A0xx3 + A1xx3 * (avxx3) + A2xx3 * (avxx3 ^ 2) + A3xx3 *
(avxx3 ^ 3) + A4xx3 * (avxx3 ^ 4) + A5xx3 * (avxx3 ^ 5) + A6xx3 * (avxx3 ^
6) + A7xx3 * (avxx3 ^ 7) + A8xx3 * (avxx3 ^ 8)
f_bvxx3 = A0xx3 + A1xx3 * (bvxx3) + A2xx3 * (bvxx3 ^ 2) + A3xx3 *
(bvxx3 ^ 3) + A4xx3 * (bvxx3 ^ 4) + A5xx3 * (bvxx3 ^ 5) + A6xx3 * (bvxx3 ^
6) + A7xx3 * (bvxx3 ^ 7) + A8xx3 * (bvxx3 ^ 8)
mvxx3 = ((avxx3 * f_bvxx3) - (bvxx3 * f_avxx3)) / (f_bvxx3 - f_avxx3)
f_mvxx3 = A0xx3 + A1xx3 * (mvxx3) + A2xx3 * (mvxx3 ^ 2) + A3xx3 *
(mvxx3 ^ 3) + A4xx3 * (mvxx3 ^ 4) + A5xx3 * (mvxx3 ^ 5) + A6xx3 * (mvxx3 ^
6) + A7xx3 * (mvxx3 ^ 7) + A8xx3 * (mvxx3 ^ 8)
If f_avxx3 * f_mvxx3 > 0 Then
avxx3 = mvxx3
Else
bvxx3 = mvxx3
End If
Next
nuxx3 = mvxx3 * ((6 * Axx3 - (Axx3 + 4) * mvxx3) / (3 * Axx3 - 2 -
mvxx3 ^ 2))
betaxx3 = (nuxx3 * ((mvxx3 ^ 2) - 2 * Cxx3) + 2 * (mvxx3 ^ 2) * (Cxx3 -
1)) / ((Cxx3 + 1) * ((mvxx3 ^ 2) - 2))

```

```

    alfaxx3 = (nuxx3 * (Cxx3 * (mvxx3 ^ 2) - 2) - 2 * (mvxx3 ^ 2) * (Cxx3 -
1)) / ((Cxx3 + 1) * ((mvxx3 ^ 2) - 2))
    qrx3p = (2 * Puxx3 * alfaxx3 * betaxx3) / (L * B * (alfaxx3 + betaxx3
- 2 * alfaxx3 * betaxx3 + ((alfaxx3 ^ 2) * (betaxx3 ^ 2) / 3)))
    qrx3 = 0
    qvxx3 = qrx3p * ((1 / alfaxx3) + (1 / betaxx3) - 1)
    qsxx3 = qrx3p * ((1 / betaxx3) - 1)
    qtxx3 = qrx3p * ((1 / alfaxx3) - 1)
End If
If (0 < euxx4 And euxx4 < (L / 4) And euyx4 > ((-B * euxx4 / L) + (B / 6)))
And (euyx4 <= ((B * euxx4 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyx4 >= ((3 * B *
euxx4 / L) - (B / 2))) Then
    Axx4 = 4 * ((euxx4 / L) + (euyx4 / B))
    Cxx4 = (B * euxx4) / (L * euyx4)
    A0xx4 = -(4 * ((Cxx4 + 1) ^ 2) * (((3 * Axx4) - 2) ^ 2))
    A1xx4 = (144 * (Axx4 ^ 2) * Cxx4)
    A2xx4 = ((-48 * Axx4 * (Axx4 + 4) * Cxx4) + (12 * ((Cxx4 - 1) ^ 2) *
Axx4 * ((6 * Axx4) - 4)) + (12 * Axx4 * ((3 * Axx4) - 2) * (Cxx4 + 1) ^ 2))
    A3xx4 = ((-72 * (Axx4 ^ 2) * ((Cxx4 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Axx4 + 4) ^ 2)
* Cxx4) + (4 * ((Cxx4 - 1) ^ 2) * (Axx4 + 4) * (2 - (3 * Axx4))) - (4 *
((Cxx4 - 1) ^ 2) * ((3 * Axx4) - 2) ^ 2))
    A4xx4 = ((24 * Axx4 * (Axx4 + 4) * ((Cxx4 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cxx4 -
1) ^ 2) * Axx4 * ((3 * Axx4) - 4)) - (((Cxx4 + 1) ^ 2) * ((3 * Axx4) - 2)
* ((3 * Axx4) + 6) + 4)))
    A5xx4 = ((36 * (Axx4 ^ 2) * Cxx4) - (2 * ((Axx4 + 4) ^ 2) * ((Cxx4 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cxx4 - 1) ^ 2) * (Axx4 + 4) * (4 - (3 * Axx4))) + (8 *
((Cxx4 - 1) ^ 2) * ((3 * Axx4) - 2)))
    A6xx4 = ((-12 * Axx4 * (Axx4 + 4) * Cxx4) - (12 * ((Cxx4 - 1) ^ 2) *
Axx4) + (6 * ((Cxx4 + 1) ^ 2) * Axx4))
    A7xx4 = ((Cxx4 * (Axx4 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cxx4 - 1) ^ 2) * (Axx4 + 4))
- (4 * ((Cxx4 - 1) ^ 2)))
    A8xx4 = -((Cxx4 + 1) ^ 2)
    avxx4 = 0
    bvxx4 = 0.7
    For t = 1 To 100
        f_avxx4 = A0xx4 + A1xx4 * (avxx4) + A2xx4 * (avxx4 ^ 2) + A3xx4 *
(avxx4 ^ 3) + A4xx4 * (avxx4 ^ 4) + A5xx4 * (avxx4 ^ 5) + A6xx4 * (avxx4 ^
6) + A7xx4 * (avxx4 ^ 7) + A8xx4 * (avxx4 ^ 8)
        f_bvxx4 = A0xx4 + A1xx4 * (bvxx4) + A2xx4 * (bvxx4 ^ 2) + A3xx4 *
(bvxx4 ^ 3) + A4xx4 * (bvxx4 ^ 4) + A5xx4 * (bvxx4 ^ 5) + A6xx4 * (bvxx4 ^
6) + A7xx4 * (bvxx4 ^ 7) + A8xx4 * (bvxx4 ^ 8)
        mvxx4 = ((avxx4 * f_bvxx4) - (bvxx4 * f_avxx4)) / (f_bvxx4 - f_avxx4)
        f_mvxx4 = A0xx4 + A1xx4 * (mvxx4) + A2xx4 * (mvxx4 ^ 2) + A3xx4 *
(mvxx4 ^ 3) + A4xx4 * (mvxx4 ^ 4) + A5xx4 * (mvxx4 ^ 5) + A6xx4 * (mvxx4 ^
6) + A7xx4 * (mvxx4 ^ 7) + A8xx4 * (mvxx4 ^ 8)
        If f_avxx4 * f_mvxx4 > 0 Then
            avxx4 = mvxx4
        Else
            bvxx4 = mvxx4
        End If
    Next
    nuxx4 = mvxx4 * ((6 * Axx4 - (Axx4 + 4) * mvxx4) / (3 * Axx4 - 2 -
mvxx4 ^ 2))
    betaxx4 = (nuxx4 * ((mvxx4 ^ 2) - 2 * Cxx4) + 2 * (mvxx4 ^ 2) * (Cxx4 -
1)) / ((Cxx4 + 1) * ((mvxx4 ^ 2) - 2))
    alfaxx4 = (nuxx4 * (Cxx4 * (mvxx4 ^ 2) - 2) - 2 * (mvxx4 ^ 2) * (Cxx4 -
1)) / ((Cxx4 + 1) * ((mvxx4 ^ 2) - 2))
    qrx4p = (2 * Puxx4 * alfaxx4 * betaxx4) / (L * B * (alfaxx4 + betaxx4
- 2 * alfaxx4 * betaxx4 + ((alfaxx4 ^ 2) * (betaxx4 ^ 2) / 3)))
    qrx4 = 0
    qvxx4 = qrx4p * ((1 / alfaxx4) + (1 / betaxx4) - 1)

```

```

    qsxx4 = qrxx4p * ((1 / betaxx4) - 1)
    qtxx4 = qrxx4p * ((1 / alfaxx4) - 1)
End If
If (0 < euxx5 And euxx5 < (L / 4) And euyx5 > ((-B * euxx5 / L) + (B / 6)))
And (euyx5 <= ((B * euxx5 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyx5 >= ((3 * B *
euxx5 / L) - (B / 2))) Then
    Axx5 = 4 * ((euxx5 / L) + (euyx5 / B))
    Cxx5 = (B * euxx5) / (L * euyx5)
    A0xx5 = -(4 * ((Cxx5 + 1) ^ 2) * ((3 * Axx5) - 2) ^ 2))
    A1xx5 = (144 * (Axx5 ^ 2) * Cxx5)
    A2xx5 = ((-48 * Axx5 * (Axx5 + 4) * Cxx5) + (12 * ((Cxx5 - 1) ^ 2) *
Axx5 * ((6 * Axx5) - 4)) + (12 * Axx5 * ((3 * Axx5) - 2) * (Cxx5 + 1) ^ 2))
    A3xx5 = ((-72 * (Axx5 ^ 2) * ((Cxx5 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Axx5 + 4) ^ 2)
* Cxx5) + (4 * ((Cxx5 - 1) ^ 2) * (Axx5 + 4) * (2 - (3 * Axx5))) - (4 *
((Cxx5 - 1) ^ 2) * ((3 * Axx5) - 2) ^ 2))
    A4xx5 = ((24 * Axx5 * (Axx5 + 4) * ((Cxx5 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cxx5 -
1) ^ 2) * Axx5 * ((3 * Axx5) - 4)) - (((Cxx5 + 1) ^ 2) * ((3 * Axx5) - 2)
* ((3 * Axx5) + 6) + 4)))
    A5xx5 = ((36 * (Axx5 ^ 2) * Cxx5) - (2 * ((Axx5 + 4) ^ 2) * ((Cxx5 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cxx5 - 1) ^ 2) * (Axx5 + 4) * (4 - (3 * Axx5))) + (8 *
((Cxx5 - 1) ^ 2) * ((3 * Axx5) - 2)))
    A6xx5 = ((-12 * Axx5 * (Axx5 + 4) * Cxx5) - (12 * ((Cxx5 - 1) ^ 2) *
Axx5) + (6 * ((Cxx5 + 1) ^ 2) * Axx5))
    A7xx5 = ((Cxx5 * (Axx5 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cxx5 - 1) ^ 2) * (Axx5 + 4))
- (4 * ((Cxx5 - 1) ^ 2)))
    A8xx5 = -((Cxx5 + 1) ^ 2)
    avxx5 = 0
    bvxx5 = 0.7
    For t = 1 To 100
        f_avxx5 = A0xx5 + A1xx5 * (avxx5) + A2xx5 * (avxx5 ^ 2) + A3xx5 *
(avxx5 ^ 3) + A4xx5 * (avxx5 ^ 4) + A5xx5 * (avxx5 ^ 5) + A6xx5 * (avxx5 ^
6) + A7xx5 * (avxx5 ^ 7) + A8xx5 * (avxx5 ^ 8)
        f_bvxx5 = A0xx5 + A1xx5 * (bvxx5) + A2xx5 * (bvxx5 ^ 2) + A3xx5 *
(bvxx5 ^ 3) + A4xx5 * (bvxx5 ^ 4) + A5xx5 * (bvxx5 ^ 5) + A6xx5 * (bvxx5 ^
6) + A7xx5 * (bvxx5 ^ 7) + A8xx5 * (bvxx5 ^ 8)
        mvxx5 = ((avxx5 * f_bvxx5) - (bvxx5 * f_avxx5)) / (f_bvxx5 - f_avxx5)
        f_mvxx5 = A0xx5 + A1xx5 * (mvxx5) + A2xx5 * (mvxx5 ^ 2) + A3xx5 *
(mvxx5 ^ 3) + A4xx5 * (mvxx5 ^ 4) + A5xx5 * (mvxx5 ^ 5) + A6xx5 * (mvxx5 ^
6) + A7xx5 * (mvxx5 ^ 7) + A8xx5 * (mvxx5 ^ 8)
    Next
    If f_avxx5 * f_mvxx5 > 0 Then
        avxx5 = mvxx5
    Else
        bvxx5 = mvxx5
    End If
    nuxx5 = mvxx5 * ((6 * Axx5 - (Axx5 + 4) * mvxx5) / (3 * Axx5 - 2 -
mvxx5 ^ 2))
    betaxx5 = (nuxx5 * ((mvxx5 ^ 2) - 2 * Cxx5) + 2 * (mvxx5 ^ 2) * (Cxx5 -
1)) / ((Cxx5 + 1) * ((mvxx5 ^ 2) - 2))
    alfaxx5 = (nuxx5 * (Cxx5 * (mvxx5 ^ 2) - 2) - 2 * (mvxx5 ^ 2) * (Cxx5 -
1)) / ((Cxx5 + 1) * ((mvxx5 ^ 2) - 2))
    qrxx5p = (2 * Puxx5 * alfaxx5 * betaxx5) / (L * B * (alfaxx5 + betaxx5
- 2 * alfaxx5 * betaxx5 + ((alfaxx5 ^ 2) * (betaxx5 ^ 2) / 3)))
    qrxx5 = 0
    qvxx5 = qrxx5p * ((1 / alfaxx5) + (1 / betaxx5) - 1)
    qsxx5 = qrxx5p * ((1 / betaxx5) - 1)
    qtxx5 = qrxx5p * ((1 / alfaxx5) - 1)
End If
If (0 < euxy2 And euxy2 < (L / 4) And euyy2 > ((-B * euxy2 / L) + (B / 6)))
And (euyy2 <= ((B * euxy2 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyy2 >= ((3 * B *
euxy2 / L) - (B / 2))) Then

```

```

Ayy2 = 4 * ((euxy2 / L) + (euyy2 / B))
Cyy2 = (B * euxy2) / (L * euyy2)
A0yy2 = -(4 * ((Cyy2 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy2) - 2) ^ 2))
A1yy2 = (144 * (Ayy2 ^ 2) * Cyy2)
A2yy2 = ((-48 * Ayy2 * (Ayy2 + 4) * Cyy2) + (12 * ((Cyy2 - 1) ^ 2) *
Ayy2 * ((6 * Ayy2) - 4)) + (12 * Ayy2 * ((3 * Ayy2) - 2) * (Cyy2 + 1) ^ 2))
A3yy2 = ((-72 * (Ayy2 ^ 2) * ((Cyy2 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Ayy2 + 4) ^ 2)
* Cyy2) + (4 * ((Cyy2 - 1) ^ 2) * (Ayy2 + 4) * (2 - (3 * Ayy2)))) - (4 *
((Cyy2 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy2) - 2) ^ 2))
A4yy2 = ((24 * Ayy2 * (Ayy2 + 4) * ((Cyy2 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cyy2 -
1) ^ 2) * Ayy2 * ((3 * Ayy2) - 4)) - (((Cyy2 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy2) - 2)
* ((3 * Ayy2) + 6) + 4)))
A5yy2 = ((36 * (Ayy2 ^ 2) * Cyy2) - (2 * ((Ayy2 + 4) ^ 2) * ((Cyy2 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cyy2 - 1) ^ 2) * (Ayy2 + 4) * (4 - (3 * Ayy2)))) + (8 *
((Cyy2 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy2) - 2)))
A6yy2 = ((-12 * Ayy2 * (Ayy2 + 4) * Cyy2) - (12 * ((Cyy2 - 1) ^ 2) *
Ayy2) + (6 * ((Cyy2 + 1) ^ 2) * Ayy2))
A7yy2 = ((Cyy2 * (Ayy2 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cyy2 - 1) ^ 2) * (Ayy2 + 4))
- (4 * ((Cyy2 - 1) ^ 2)))
A8yy2 = -((Cyy2 + 1) ^ 2)
avyy2 = 0
bvyy2 = 0.7
For t = 1 To 100
    f_avyy2 = A0yy2 + A1yy2 * (avyy2) + A2yy2 * (avyy2 ^ 2) + A3yy2 *
(avyy2 ^ 3) + A4yy2 * (avyy2 ^ 4) + A5yy2 * (avyy2 ^ 5) + A6yy2 * (avyy2 ^
6) + A7yy2 * (avyy2 ^ 7) + A8yy2 * (avyy2 ^ 8)
    f_bvyy2 = A0yy2 + A1yy2 * (bvyy2) + A2yy2 * (bvyy2 ^ 2) + A3yy2 *
(bvyy2 ^ 3) + A4yy2 * (bvyy2 ^ 4) + A5yy2 * (bvyy2 ^ 5) + A6yy2 * (bvyy2 ^
6) + A7yy2 * (bvyy2 ^ 7) + A8yy2 * (bvyy2 ^ 8)
    mvyy2 = ((avyy2 * f_bvyy2) - (bvyy2 * f_avyy2)) / (f_bvyy2 - f_avyy2)
    f_mvyy2 = A0yy2 + A1yy2 * (mvyy2) + A2yy2 * (mvyy2 ^ 2) + A3yy2 *
(mvyy2 ^ 3) + A4yy2 * (mvyy2 ^ 4) + A5yy2 * (mvyy2 ^ 5) + A6yy2 * (mvyy2 ^
6) + A7yy2 * (mvyy2 ^ 7) + A8yy2 * (mvyy2 ^ 8)
    If f_avyy2 * f_mvyy2 > 0 Then
        avyy2 = mvyy2
    Else
        bvyy2 = mvyy2
    End If
Next
nuyy2 = mvyy2 * ((6 * Ayy2 - (Ayy2 + 4) * mvyy2) / (3 * Ayy2 - 2 -
mvyy2 ^ 2))
betayy2 = (nuyy2 * ((mvyy2 ^ 2) - 2 * Cyy2) + 2 * (mvyy2 ^ 2) * (Cyy2 -
1)) / ((Cyy2 + 1) * ((mvyy2 ^ 2) - 2))
alfayy2 = (nuyy2 * (Cyy2 * (mvyy2 ^ 2) - 2) - 2 * (mvyy2 ^ 2) * (Cyy2 -
1)) / ((Cyy2 + 1) * ((mvyy2 ^ 2) - 2))
qrry2p = (2 * Puyy2 * alfoy2 * betayy2) / (L * B * (alfayy2 + betayy2
- 2 * alfoy2 * betayy2 + ((alfayy2 ^ 2) * (betayy2 ^ 2) / 3)))
qrry2 = 0
qvy2 = qrry2p * ((1 / alfoy2) + (1 / betayy2) - 1)
qsyy2 = qrry2p * ((1 / betayy2) - 1)
qty2 = qrry2p * ((1 / alfoy2) - 1)
End If
If (0 < euxy3 And euxy3 < (L / 4) And euyy3 > ((-B * euxy3 / L) + (B / 6)))
And (euyy3 <= ((B * euxy3 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyy3 >= ((3 * B *
euxy3 / L) - (B / 2))) Then
    Ayy3 = 4 * ((euxy3 / L) + (euyy3 / B))
    Cyy3 = (B * euxy3) / (L * euyy3)
    A0yy3 = -(4 * ((Cyy3 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy3) - 2) ^ 2))
    A1yy3 = (144 * (Ayy3 ^ 2) * Cyy3)
    A2yy3 = ((-48 * Ayy3 * (Ayy3 + 4) * Cyy3) + (12 * ((Cyy3 - 1) ^ 2) *
Ayy3 * ((6 * Ayy3) - 4)) + (12 * Ayy3 * ((3 * Ayy3) - 2) * (Cyy3 + 1) ^ 2))

```

```

A3yy3 = ((-72 * (Ayy3 ^ 2) * ((Cyy3 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Ayy3 + 4) ^ 2)
* Cyy3) + (4 * ((Cyy3 - 1) ^ 2) * (Ayy3 + 4) * (2 - (3 * Ayy3))) - (4 *
((Cyy3 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy3) - 2) ^ 2))
A4yy3 = ((24 * Ayy3 * (Ayy3 + 4) * ((Cyy3 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cyy3 -
1) ^ 2) * Ayy3 * ((3 * Ayy3) - 4)) - (((Cyy3 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy3) - 2)
* ((3 * Ayy3) + 6) + 4)))
A5yy3 = ((36 * (Ayy3 ^ 2) * Cyy3) - (2 * ((Ayy3 + 4) ^ 2) * ((Cyy3 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cyy3 - 1) ^ 2) * (Ayy3 + 4) * (4 - (3 * Ayy3))) + (8 *
((Cyy3 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy3) - 2)))
A6yy3 = ((-12 * Ayy3 * (Ayy3 + 4) * Cyy3) - (12 * ((Cyy3 - 1) ^ 2) *
Ayy3) + (6 * ((Cyy3 + 1) ^ 2) * Ayy3))
A7yy3 = ((Cyy3 * (Ayy3 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cyy3 - 1) ^ 2) * (Ayy3 + 4))
- (4 * ((Cyy3 - 1) ^ 2)))
A8yy3 = -((Cyy3 + 1) ^ 2)
avyy3 = 0
bvyy3 = 0.7
For t = 1 To 100
f_avyy3 = A0yy3 + A1yy3 * (avyy3) + A2yy3 * (avyy3 ^ 2) + A3yy3 *
(avyy3 ^ 3) + A4yy3 * (avyy3 ^ 4) + A5yy3 * (avyy3 ^ 5) + A6yy3 * (avyy3 ^
6) + A7yy3 * (avyy3 ^ 7) + A8yy3 * (avyy3 ^ 8)
f_bvyy3 = A0yy3 + A1yy3 * (bvyy3) + A2yy3 * (bvyy3 ^ 2) + A3yy3 *
(bvyy3 ^ 3) + A4yy3 * (bvyy3 ^ 4) + A5yy3 * (bvyy3 ^ 5) + A6yy3 * (bvyy3 ^
6) + A7yy3 * (bvyy3 ^ 7) + A8yy3 * (bvyy3 ^ 8)
mvyy3 = ((avyy3 * f_bvyy3) - (bvyy3 * f_avyy3)) / (f_bvyy3 - f_avyy3)
f_mvyy3 = A0yy3 + A1yy3 * (mvyy3) + A2yy3 * (mvyy3 ^ 2) + A3yy3 *
(mvyy3 ^ 3) + A4yy3 * (mvyy3 ^ 4) + A5yy3 * (mvyy3 ^ 5) + A6yy3 * (mvyy3 ^
6) + A7yy3 * (mvyy3 ^ 7) + A8yy3 * (mvyy3 ^ 8)
If f_avyy3 * f_mvyy3 > 0 Then
avyy3 = mvyy3
Else
bvyy3 = mvyy3
End If
Next
nuyy3 = mvyy3 * ((6 * Ayy3 - (Ayy3 + 4) * mvyy3) / (3 * Ayy3 - 2 -
mvyy3 ^ 2))
betayy3 = (nuyy3 * ((mvyy3 ^ 2) - 2 * Cyy3) + 2 * (mvyy3 ^ 2) * (Cyy3 -
1)) / ((Cyy3 + 1) * ((mvyy3 ^ 2) - 2))
alfayy3 = (nuyy3 * (Cyy3 * (mvyy3 ^ 2) - 2) - 2 * (mvyy3 ^ 2) * (Cyy3 -
1)) / ((Cyy3 + 1) * ((mvyy3 ^ 2) - 2))
qryy3p = (2 * Puyy3 * alfoy3 * betayy3) / (L * B * (alfayy3 + betayy3
- 2 * alfoy3 * betayy3 + ((alfayy3 ^ 2) * (betayy3 ^ 2) / 3)))
qryy3 = 0
qvyy3 = qryy3p * ((1 / alfoy3) + (1 / betayy3) - 1)
qsyy3 = qryy3p * ((1 / betayy3) - 1)
qtyy3 = qryy3p * ((1 / alfoy3) - 1)
End If
If (0 < euxy4 And euxy4 < (L / 4) And euyy4 > ((-B * euxy4 / L) + (B / 6)))
And (euyy4 <= ((B * euxy4 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyy4 >= ((3 * B *
euxy4 / L) - (B / 2))) Then
Ayy4 = 4 * ((euxy4 / L) + (euyy4 / B))
Cyy4 = (B * euxy4) / (L * euyy4)
A0yy4 = -(4 * ((Cyy4 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy4) - 2) ^ 2))
A1yy4 = (144 * (Ayy4 ^ 2) * Cyy4)
A2yy4 = ((-48 * Ayy4 * (Ayy4 + 4) * Cyy4) + (12 * ((Cyy4 - 1) ^ 2) *
Ayy4 * ((6 * Ayy4) - 4)) + (12 * Ayy4 * ((3 * Ayy4) - 2) * (Cyy4 + 1) ^ 2))
A3yy4 = ((-72 * (Ayy4 ^ 2) * ((Cyy4 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Ayy4 + 4) ^ 2)
* Cyy4) + (4 * ((Cyy4 - 1) ^ 2) * (Ayy4 + 4) * (2 - (3 * Ayy4))) - (4 *
((Cyy4 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy4) - 2) ^ 2))
A4yy4 = ((24 * Ayy4 * (Ayy4 + 4) * ((Cyy4 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cyy4 -
1) ^ 2) * Ayy4 * ((3 * Ayy4) - 4)) - (((Cyy4 + 1) ^ 2) * (((3 * Ayy4) - 2)
* ((3 * Ayy4) + 6) + 4)))

```



```

A5yy4 = ((36 * (Ayy4 ^ 2) * Cyy4) - (2 * ((Ayy4 + 4) ^ 2) * ((Cyy4 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cyy4 - 1) ^ 2) * (Ayy4 + 4) * (4 - (3 * Ayy4)))) + (8 *
((Cyy4 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy4) - 2)))
A6yy4 = ((-12 * Ayy4 * (Ayy4 + 4) * Cyy4) - (12 * ((Cyy4 - 1) ^ 2) *
Ayy4) + (6 * ((Cyy4 + 1) ^ 2) * Ayy4))
A7yy4 = ((Cyy4 * (Ayy4 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cyy4 - 1) ^ 2) * (Ayy4 + 4))
- (4 * ((Cyy4 - 1) ^ 2)))
A8yy4 = -((Cyy4 + 1) ^ 2)
avyy4 = 0
bvyy4 = 0.7
For t = 1 To 100
    f_avyy4 = A0yy4 + A1yy4 * (avyy4) + A2yy4 * (avyy4 ^ 2) + A3yy4 *
(avyy4 ^ 3) + A4yy4 * (avyy4 ^ 4) + A5yy4 * (avyy4 ^ 5) + A6yy4 * (avyy4 ^
6) + A7yy4 * (avyy4 ^ 7) + A8yy4 * (avyy4 ^ 8)
    f_bvyy4 = A0yy4 + A1yy4 * (bvyy4) + A2yy4 * (bvyy4 ^ 2) + A3yy4 *
(bvyy4 ^ 3) + A4yy4 * (bvyy4 ^ 4) + A5yy4 * (bvyy4 ^ 5) + A6yy4 * (bvyy4 ^
6) + A7yy4 * (bvyy4 ^ 7) + A8yy4 * (bvyy4 ^ 8)
    mvyy4 = ((avyy4 * f_bvyy4) - (bvyy4 * f_avyy4)) / (f_bvyy4 - f_avyy4)
    f_mvyy4 = A0yy4 + A1yy4 * (mvyy4) + A2yy4 * (mvyy4 ^ 2) + A3yy4 *
(mvyy4 ^ 3) + A4yy4 * (mvyy4 ^ 4) + A5yy4 * (mvyy4 ^ 5) + A6yy4 * (mvyy4 ^
6) + A7yy4 * (mvyy4 ^ 7) + A8yy4 * (mvyy4 ^ 8)
    If f_avyy4 * f_mvyy4 > 0 Then
        avyy4 = mvyy4
    Else
        bvyy4 = mvyy4
    End If
Next
nuyy4 = mvyy4 * ((6 * Ayy4 - (Ayy4 + 4) * mvyy4) / (3 * Ayy4 - 2 -
mvyy4 ^ 2))
betayy4 = (nuyy4 * ((mvyy4 ^ 2) - 2 * Cyy4) + 2 * (mvyy4 ^ 2) * (Cyy4 -
1)) / ((Cyy4 + 1) * ((mvyy4 ^ 2) - 2))
alfayy4 = (nuyy4 * (Cyy4 * (mvyy4 ^ 2) - 2) - 2 * (mvyy4 ^ 2) * (Cyy4 -
1)) / ((Cyy4 + 1) * ((mvyy4 ^ 2) - 2))
qryy4p = (2 * Puyy4 * alfoy4 * betayy4) / (L * B * (alfayy4 + betayy4
- 2 * alfoy4 * betayy4 + ((alfayy4 ^ 2) * (betayy4 ^ 2) / 3)))
qryy4 = 0
qvyy4 = qryy4p * ((1 / alfoy4) + (1 / betayy4) - 1)
qsyy4 = qryy4p * ((1 / betayy4) - 1)
qtyy4 = qryy4p * ((1 / alfoy4) - 1)
End If
If (0 < euxy5 And euxy5 < (L / 4) And euyy5 > ((-B * euxy5 / L) + (B / 6)))
And (euyy5 <= ((B * euxy5 / (3 * L)) + (B / 6)) And euyy5 >= ((3 * B *
euxy5 / L) - (B / 2))) Then
    Ayy5 = 4 * ((euxy5 / L) + (euyy5 / B))
    Cyy5 = (B * euxy5) / (L * euyy5)
    A0yy5 = -(4 * ((Cyy5 + 1) ^ 2) * ((3 * Ayy5) - 2) ^ 2)
    A1yy5 = (144 * (Ayy5 ^ 2) * Cyy5)
    A2yy5 = ((-48 * Ayy5 * (Ayy5 + 4) * Cyy5) + (12 * ((Cyy5 - 1) ^ 2) *
Ayy5 * ((6 * Ayy5) - 4)) + (12 * Ayy5 * ((3 * Ayy5) - 2) * (Cyy5 + 1) ^ 2))
    A3yy5 = ((-72 * (Ayy5 ^ 2) * ((Cyy5 ^ 2) + 1)) + (4 * ((Ayy5 + 4) ^ 2)
* Cyy5) + (4 * ((Cyy5 - 1) ^ 2) * (Ayy5 + 4) * (2 - (3 * Ayy5))) - (4 *
((Cyy5 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy5) - 2) ^ 2))
    A4yy5 = ((24 * Ayy5 * (Ayy5 + 4) * ((Cyy5 ^ 2) + 1)) + (12 * ((Cyy5 -
1) ^ 2) * Ayy5 * ((3 * Ayy5) - 4)) - (((Cyy5 + 1) ^ 2) * ((3 * Ayy5) - 2)
* ((3 * Ayy5) + 6) + 4)))
    A5yy5 = ((36 * (Ayy5 ^ 2) * Cyy5) - (2 * ((Ayy5 + 4) ^ 2) * ((Cyy5 ^ 2)
+ 1)) + (2 * ((Cyy5 - 1) ^ 2) * (Ayy5 + 4) * (4 - (3 * Ayy5)))) + (8 *
((Cyy5 - 1) ^ 2) * ((3 * Ayy5) - 2)))
    A6yy5 = ((-12 * Ayy5 * (Ayy5 + 4) * Cyy5) - (12 * ((Cyy5 - 1) ^ 2) *
Ayy5) + (6 * ((Cyy5 + 1) ^ 2) * Ayy5))

```



```

A7yy5 = ((Cyy5 * (Ayy5 + 4) ^ 2) + (2 * ((Cyy5 - 1) ^ 2) * (Ayy5 + 4))
- (4 * ((Cyy5 - 1) ^ 2)))
A8yy5 = -((Cyy5 + 1) ^ 2)
avyy5 = 0
bvyy5 = 0.7
For t = 1 To 100
    f_avyy5 = A0yy5 + A1yy5 * (avyy5) + A2yy5 * (avyy5 ^ 2) + A3yy5 *
(avyy5 ^ 3) + A4yy5 * (avyy5 ^ 4) + A5yy5 * (avyy5 ^ 5) + A6yy5 * (avyy5 ^
6) + A7yy5 * (avyy5 ^ 7) + A8yy5 * (avyy5 ^ 8)
    f_bvyy5 = A0yy5 + A1yy5 * (bvyy5) + A2yy5 * (bvyy5 ^ 2) + A3yy5 *
(bvyy5 ^ 3) + A4yy5 * (bvyy5 ^ 4) + A5yy5 * (bvyy5 ^ 5) + A6yy5 * (bvyy5 ^
6) + A7yy5 * (bvyy5 ^ 7) + A8yy5 * (bvyy5 ^ 8)
    mvyy5 = ((avyy5 * f_bvyy5) - (bvyy5 * f_avyy5)) / (f_bvyy5 - f_avyy5)
    f_mvyy5 = A0yy5 + A1yy5 * (mvyy5) + A2yy5 * (mvyy5 ^ 2) + A3yy5 *
(mvyy5 ^ 3) + A4yy5 * (mvyy5 ^ 4) + A5yy5 * (mvyy5 ^ 5) + A6yy5 * (mvyy5 ^
6) + A7yy5 * (mvyy5 ^ 7) + A8yy5 * (mvyy5 ^ 8)
    If f_avyy5 * f_mvyy5 > 0 Then
        avyy5 = mvyy5
    Else
        bvyy5 = mvyy5
    End If
Next
nuyy5 = mvyy5 * ((6 * Ayy5 - (Ayy5 + 4) * mvyy5) / (3 * Ayy5 - 2 -
mvyy5 ^ 2))
betayy5 = (nuyy5 * ((mvyy5 ^ 2) - 2 * Cyy5) + 2 * (mvyy5 ^ 2) * (Cyy5 -
1)) / ((Cyy5 + 1) * ((mvyy5 ^ 2) - 2))
alfayy5 = (nuyy5 * (Cyy5 * (mvyy5 ^ 2) - 2) - 2 * (mvyy5 ^ 2) * (Cyy5 -
1)) / ((Cyy5 + 1) * ((mvyy5 ^ 2) - 2))
qryy5p = (2 * Puyy5 * alfoy5 * betayy5) / (L * B * (alfayy5 + betayy5
- 2 * alfoy5 * betayy5 + ((alfayy5 ^ 2) * (betayy5 ^ 2) / 3)))
qryy5 = 0
qvyy5 = qryy5p * ((1 / alfoy5) + (1 / betayy5) - 1)
qsyy5 = qryy5p * ((1 / betayy5) - 1)
qtyy5 = qryy5p * ((1 / alfoy5) - 1)
End If
End Sub

```

Apéndice F

Verificación del software con hojas de cálculo

EJEMPLO 1) ZAPATA CENTRADA CON COLUMNA RECTANGULAR

1. VARIABLES DE ENTRADA

TIPO DE ZAPATA

CENTRADA

TIPO DE COLUMNA

RECTANGULAR

SOLICITACIONES DE ENTRADA

AXIAL DE CARGA MUERTA	PCM	40.52	ton
AXIAL DE CARGA VIVA	PCV	15	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO X	PEQX	7.5	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO Y	PEQY	5.5	ton
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE Y	MCMY	2.2	ton*m
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE X	MCMX	3	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE Y	MCVY	1.3	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE X	MCVX	1.8	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE Y	MEQY	3.5	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE X	MEQX	2.5	ton*m
FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA VIVA	fred	1	

DATOS DE LA ZAPATA

PESO ESPECIFICO DEL CONCRETO	yc	2.4	ton/m ³
PROFUNDIDAD DEL FONDO DE ZAPATA	Df	1.2	m
DIAMETRO DEL ACERO DE ZAPATA	φz	1/2	Pulg
ALTURA DE LA ZAPATA	hc	0.40	m
ANCHO DE LA ZAPATA	B	2.1	m
LARGO DE LA ZAPATA	L	2.1	m

DATOS DE LA COLUMNA

DIMENSIONES DE LA COLUMNA	Xt1	0.5	m
	Yt1	0.3	m

DATOS DEL SUELO

PESO ESPECIFICO DEL SUELO	Gs	1.7	ton/m ³
PESO ESPECIFICO DEL SUELO SATURADO (SI CONOCES NF)	Gsat	1.7	ton/m ³
PROFUNDIDAD DE LA NAPA FREÁTICA	Dw	20	m
ÁNGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO	φ'	18	°
COHESIÓN DEL SUELO	c'	2.1	ton/m ²
MÓDULO DE POISSON DEL SUELO	μs	0.32	
MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO	Eprom	3000	ton/m ²
ALTURA DEL ESTRATO DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL SUELO RÍGIDO	H	5	m
ASENTAMIENTO MÁXIMO PERMISIBLE	Smax	2.5	cm

MATERIALES

RESISTENCIA DEL CONCRETO	f _c	210	kg/cm ²
FLUENCIA DEL ACERO	f _y	4200	kg/cm ²

OTROS DATOS

SOBRECARGA	S/c	0	ton/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD GRAVITACIONAL	FSg	3	
FACTOR DE SEGURIDAD SÍSMICO	FSs	2.5	

2. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES EN SERVICIO

PERALTE DE LA ZAPATA	d	0.31	m
CENTROS DE GRAVEDAD	CGX	0.25	m
	CGY	0.150	m
SIMPLIFICACIONES	Xt	0.5	m
	Yt	0.3	m
VOLADIZOS	Lvx1	0.80	m
	Lvx2	0.80	m
	Lvy1	0.90	m
	Lvy2	0.90	m
	Lvx	0.80	m
	Lvy	0.90	m

CARGAS EN SERVICIO

BIAXIAL CON SISMO

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	55.52	3.5	0.063

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	55.5	3.5	0.063
COMB2	46.5	5.0	0.107
COMB3	34.5	-0.6	0.017
COMB4	46.1	4.7	0.102
COMB5	37.1	0.5	0.014

CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MSX	MSY	esX	esY
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	55.52	3.5	4.8	0.063	0.086

CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

COMBOS	CARGAS AXIALES (PS)	MOMENTO X	MOMENTO Y	EXCENRICIDAD X	EXCENRICIDAD Y
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1 X1	55.5	4.8	3.5	0.063	0.086
COMB2 XX2	46.5	3.0	5.0	0.107	0.064
COMB3 XX3	34.5	3.0	-0.6	0.017	0.087
COMB4 XX4	46.1	3.6	4.7	0.102	0.078
COMB5 XX5	37.1	3.6	0.5	0.014	0.097
COMB6 YY2	44.9	5.0	2.2	0.049	0.111
COMB7 YY3	36.1	1.0	2.2	0.061	0.028
COMB8 YY4	44.9	5.1	2.6	0.058	0.113
COMB9 YY5	38.3	2.1	2.6	0.068	0.055

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DEL SUELO (q_{adm})
AFECTACIÓN POR EXCENTRICIDAD

CASO	COMBOS	L' m	B' m
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.97	2.10
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	1.97	2.10
	COMB2	1.89	
	COMB3	2.07	
	COMB4	1.90	
	COMB5	2.07	
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1'	1.97	1.93
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	1.974	1.927
	COMB2 xx2	1.885	1.971
	COMB3 xx3	2.065	1.926
	COMB4 xx4	1.895	1.944
	COMB5 xx5	2.072	1.906
	COMB6 yy2	2.002	1.877
	COMB7 yy3	1.978	2.045
	COMB8 yy4	1.983	1.873
	COMB9 yy5	1.963	1.990

AFECTACIÓN POR NAPA FREÁTICA

CASO 3

COHESIÓN DEL SUELO

Gw	1	ton/m ³
Gp	0.7	ton/m ³
Gm	1.70	ton/m ³
q	2.04	ton/m ²
c'	2.10	ton/m ²

FACTORES DE FORMA

CASO	COMBO	Fcs	Fqs	Fys
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.38	1.31	0.62
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	1.38	1.31	0.62
	COMB2	1.36	1.29	0.64
	COMB3	1.39	1.32	0.61
	COMB4	1.36	1.29	0.64
	COMB5	1.40	1.32	0.61
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.39	1.32	0.61
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	1.39	1.32	0.61
	COMB2 xx2	1.38	1.31	0.62
	COMB3 xx3	1.37	1.30	0.63
	COMB4 xx4	1.39	1.32	0.61
	COMB5 xx5	1.37	1.30	0.63
	COMB6 yy2	1.38	1.30	0.62
	COMB7 yy3	1.39	1.31	0.61
	COMB8 yy4	1.38	1.31	0.62
	COMB9 yy5	1.40	1.32	0.61

SUBINDICE	FACTORES DE CARGA	FACTORES DE PROF	FACTOR DE INCLI DE CARGA			
	N	Fd	Fi			
c	13.10	1.22	1			
q	5.26	1.18	1			
y	4.07	1	1			
CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA POR CORTE, ADMISIBLE						
CASOS		COMBOS	q'u Ton/m^2	q'admC Ton/m^2		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	66.9	22.31		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1	66.9	22.31		
		COMB2	66.1	26.44		
		COMB3	67.8	27.11		
		COMB4	66.2	26.48		
		COMB5	67.8	27.13		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	67.4	22.46		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1 x1	67.4	22.46		
		COMB2 xx2	67.0	26.80		
		COMB3 xx3	66.7	26.69		
		COMB4 xx4	67.3	26.91		
		COMB5 xx5	66.5	26.60		
		COMB6 yy2	66.7	26.68		
		COMB7 yy3	67.4	26.94		
		COMB8 yy4	66.8	26.71		
		COMB9 yy5	67.6	27.04		
CAPACIDAD PORTANTE POR ASENTAMIENTO						
CASO	MODELO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	DIÁMETRO EQUIVALENTE	FACTORES			
	Ef	Be	IG	IR		IE
	ton/m^2	m				
UNIAxIAL	2173706.512	2.30	0.7769	0.7886	0.9179	
BIAxIAL		2.20	0.7843	0.7882	0.9160	
CASOS		COMBOS	q'permA Ton/m^2			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	64.67			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1	64.67			
		COMB2	64.67			
		COMB3	64.67			
		COMB4	64.67			
		COMB5	64.67			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	67.51			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1 x1	67.51			
		COMB2 xx2	67.51			
		COMB3 xx3	67.51			
		COMB4 xx4	67.51			
		COMB5 xx5	67.51			
		COMB6 yy2	67.51			
		COMB7 yy3	67.51			
		COMB8 yy4	67.51			
		COMB9 yy5	67.51			

CAPACIDAD PORTANTE QUE GOBIERNA EL DISEÑO Y CAPACIDAD PORTANTE NETA

CASOS	COMBOS	q'admC	q'permA	q'adm	q'neto
		Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	22.31	64.67	22.31	20.0
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	22.31	64.67	22.31	20.0
	COMB2	26.44	64.67	26.44	24.1
	COMB3	27.11	64.67	27.11	24.8
	COMB4	26.48	64.67	26.48	24.2
	COMB5	27.13	64.67	27.13	24.8
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	22.46	67.51	22.46	20.1
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	22.46	67.51	22.46	20.1
	COMB2 xx2	26.80	67.51	26.80	24.5
	COMB3 xx3	26.69	67.51	26.69	24.4
	COMB4 xx4	26.91	67.51	26.91	24.6
	COMB5 xx5	26.60	67.51	26.60	24.3
	COMB6 yy2	26.68	67.51	26.68	24.4
	COMB7 yy3	26.94	67.51	26.94	24.6
	COMB8 yy4	26.71	67.51	26.71	24.4
	COMB9 yy5	27.04	67.51	27.04	24.7

PRESIONES EN SERVICIO

CASO	COMBOS	qs1x		qs2x		qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
CASO UNIAxIAL (GRAVS)	COMB1	10.3		14.9		20.0	CUMPLE
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	10.3		14.9		20.0	CUMPLE
	COMB2	7.3		13.8		24.1	CUMPLE
	COMB3	7.4		8.2		24.8	CUMPLE
	COMB4	7.4		13.5		24.2	CUMPLE
	COMB5	8.1		8.8		24.8	CUMPLE
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMBOS	σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 - CASO CN		18.0	13.4	7.2	11.7	20.1	CUMPLE
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 X1 - CASO CN		18.0	13.4	7.2	11.7	20.1	CUMPLE
COMB2 XX2 - CASO CN		15.7	9.3	5.4	11.8	24.5	CUMPLE
COMB3 XX3 - CASO CN		10.2	9.4	5.5	6.3	24.4	CUMPLE
COMB4 XX4 - CASO CN		15.9	9.7	5.1	11.2	24.6	CUMPLE
COMB5 XX5 - CASO CN		11.1	10.4	5.7	6.4	24.3	CUMPLE
COMB6 YY2 - CASO CN		14.9	12.0	5.5	8.4	24.4	CUMPLE
COMB7 YY3 - CASO CN		10.3	7.4	6.1	9.0	24.6	CUMPLE
COMB8 YY4 - CASO CN		15.2	11.8	5.2	8.6	24.4	CUMPLE
COMB9 YY5 - CASO CN		11.8	8.4	5.6	9.0	24.7	CUMPLE

ASENTAMIENTO

ASENTAMIENTO UNIAxIAL	δ	0.57433006	cm
ASENTAMIENTO BIAxIAL	δ	0.55395381	cm

3. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES ÚLTIMAS					
CARGAS ÚLTIMAS			BIAXIAL CON SISMO		
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	PU	MU	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	82.23	5.29	0.064		
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	Pu	Mu	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	82.23	5.29	0.064		
COMB2	76.90	7.88	0.102		
COMB3	61.90	0.88	0.014		
COMB4	43.97	5.48	0.125		
COMB5	28.97	-1.52	0.052		
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	Pu	Mux	Muy	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	82.23	5.29	7.26	0.064	0.088
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	PuX1	MuX	MuY	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	82.23	7.26	5.29	0.064	0.088
COMB2 xx2	76.90	6	7.875	0.102	0.078
COMB3 xx3	61.90	6	0.875	0.014	0.097
COMB4 xx4	43.97	2.7	5.48	0.125	0.061
COMB5 xx5	28.97	2.7	-1.52	0.052	0.093
COMB6 yy2	74.90	8.5	4.375	0.058	0.113
COMB7 yy3	63.90	3.5	4.375	0.068	0.055
COMB8 yy4	41.97	5.2	1.98	0.047	0.124
COMB9 yy5	30.97	0.2	1.98	0.064	0.006

PRESIONES ÚLTIMAS						
CASO	COMBOS	qu1x		qu2x		QMAX
		ton/m ²		ton/m ²		ton/m ²
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)	COMB1	15.2		22.1		22.1
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	15.2		22.1		22.1
	COMB2	12.3		22.5		22.5
	COMB3	13.5		14.6		14.6
	COMB4	6.4		13.5		13.5
	COMB5	5.6		7.6		7.6
CASO	COMBOS	σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 - CASO CN		26.8	19.9	10.5	17.4	26.8
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 X1 - CASO CN		26.8	19.9	10.5	17.4	26.8
COMB2 XX2 - CASO CN		26.4	16.2	8.4	18.7	26.4
COMB3 XX3 - CASO CN		18.5	17.4	9.6	10.7	18.5
COMB4 XX4 - CASO CN		15.3	8.2	4.7	11.8	15.3
COMB5 XX5 - CASO CN		9.3	7.3	3.8	5.8	9.3
COMB6 YY2 - CASO CN		25.3	19.7	8.6	14.3	25.3
COMB7 YY3 - CASO CN		19.6	13.9	9.4	15.1	19.6
COMB8 YY4 - CASO CN		14.2	11.6	4.9	7.4	14.2
COMB9 YY5 - CASO CN		8.4	5.9	5.6	8.2	8.4

PRESIÓN DE DISEÑO	Qu	26.8	ton/m ²
-------------------	----	------	--------------------

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO

PERIMETRO DE PUNZONAMIENTO	B_o	2.85	m
AREA CRÍTICA DE PUNZONAMIENTO	A_o	0.50	m ²
RELACIÓN DE DIMENSION DE LA COLUMNA	β	1.7	
ALFA	α_o	40	
PUNZONAMIENTO	V_p	104.77	Ton
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ϕV_{PC}	116.18	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL PUNZONAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

AREA DE LA COLUMNA	A_1	0.15	
AREA DE DESARROLLO	A_2	2.710	
CARGA ULTIMA MAXIMA	P_u	82.228	Ton
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	ϕP_n	307.13	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL APLASTAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE

CORTANTE EN LA DIRECCIÓN X	V_{ux}	27.4	Ton
CORTANTE EN LA DIRECCIÓN Y	V_{uy}	33.0	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE X	ϕV_{cx}	42.81	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE Y	ϕV_{cy}	42.81	Ton

CUMPLE RESISTENCIA AL CORTANTE

DISEÑO POR FLEXIÓN

MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN X	M_{ux}	17.99	Ton*m
MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN Y	M_{uy}	22.77	Ton*m
calculo del β_1	β_1	0.85	
ACERO DIRECCION X	W_{max}	0.42	
CÁLCULO DEL MOMENTO MAX EN LA DIRECCIÓN X	M_{max}	123.2	Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL M_{max} POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	228.4	
	b	-387.1	
	c	18.0	
	W	0.048	
CUANTIA DE ACERO	ρ	0.0024	
AREA DE ACERO	A_s	15.7	cm ²
# BARRAS	#	12.4	
# BARRAS / m	# / m	5.9	
ESPACIAMIENTO	S	16.00	cm

ACERO DIRECCION Y			
CÁLCULO DEL MOMENTO MÁXIMO EN LA DIRECCIÓN Y	Mmax	123.2	Ton*m
EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR			
	a	228.4	
	b	-387.1	
CÁLCULO DE W	c	22.8	
	W	0.061	
CUANTIA DE ACERO	p	0.0031	
ÁREA DE ACERO	As	20.0	cm²
# BARRAS	#	15.8	
# BARRAS / m	# / m	7.5	
ESPACIAMIENTO	S	13.00	cm

EJEMPLO 2) ZAPATA EXCÉNTRICA CON COLUMNA RECTANGULAR

1. VARIABLES DE ENTRADA

TIPO DE ZAPATA

EXCÉNTRICA

TIPO DE COLUMNA

RECTANGULAR

SOLICITACIONES DE ENTRADA

AXIAL DE CARGA MUERTA	PCM	70	ton
AXIAL DE CARGA VIVA	PCV	25	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO X	PEQX	12	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO Y	PEQY	5	ton
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE Y	MCMY	15	ton*m
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE X	MCMX	8	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE Y	MCVY	12	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE X	MCVX	3	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE Y	MEQY	12	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE X	MEQX	15	ton*m
FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA VIVA	fred	1	

DATOS DE LA ZAPATA

PESO ESPECÍFICO DEL CONCRETO	yc	2.4	ton/m ³
PROFUNDIDAD DEL FONDO DE ZAPATA	Df	1.3	m
DIÁMETRO DEL ACERO DE ZAPATA	φz	5/8	Pulg
ALTURA DE LA ZAPATA	hc	0.80	m
ANCHO DE LA ZAPATA	B	2.4	m
LARGO DE LA ZAPATA	L	2.4	m
VOLADIZO 1 EN EJE X	Lvx1	0.7	m
VOLADIZO 1 EN EJE Y	Lvy1	0.8	m

DATOS DE LA COLUMNA

DIMENSIONES DE LA COLUMNA	Xt1	0.5	m
	Yt1	0.6	m

DATOS DEL SUELO

PESO ESPECÍFICO DEL SUELO	Gs	1.65	ton/m ³
PESO ESPECÍFICO DEL SUELO SATURADO (SI CONOCES NF)	Gsat	1.65	ton/m ³
PROFUNDIDAD DE LA NAPA FREÁTICA	Dw	20	m
ÁNGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO	φ'	21	°
COHESIÓN DEL SUELO	c'	1.3	ton/m ²
MÓDULO DE POISSON DEL SUELO	μs	0.4	
MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO	Eprom	1500	ton/m ²
ALTURA DEL ESTRATO DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL SUELO RÍGIDO	H	20	m
ASENTAMIENTO MÁXIMO PERMISIBLE	Smax	2.5	cm

MATERIALES

RESISTENCIA DEL CONCRETO	f'c	210	kg/cm ²
FLUENCIA DEL ACERO	fy	4200	kg/cm ²

OTROS DATOS

SOBRECARGA	S/c		ton/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD GRAVITACIONAL	FSg	3	
FACTOR DE SEGURIDAD SÍSMICO	FSs	2.5	
		NO	

2. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES EN SERVICIO

PERALTE DE LA ZAPATA	d	0.51	m
CENTROS DE GRAVEDAD	CGX	0.25	m
	CGY	0.300	m
SIMPLIFICACIONES	Xt	0.5	m
	Yt	0.6	m
VOLADIZOS	Lvx1	0.70	m
	Lvx2	1.20	m
	Lvy1	0.80	m
	Lvy2	1.00	m
	Lvx	1.20	m
	Lvy	1.00	m

CARGAS EN SERVICIO

BIAXIAL CON SISMO

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	95	27	0.034

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	95.0	27.0	0.034
COMB2	79.6	24.6	0.059
COMB3	60.4	5.4	0.161
COMB4	78.5	27.5	0.100
COMB5	64.1	13.1	0.046

CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MSX	MSY	esX	esY
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	95	27	11	0.034	0.016

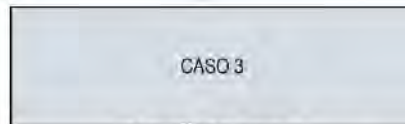
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

COMBOS	CARGAS AXIALES (PS)	MOMENTO X	MOMENTO Y	EXCENRICIDAD X	EXCENRICIDAD Y
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1 X1	95.0	11.0	27.0	0.034	0.016
COMB2 XX2	79.6	8.0	24.6	0.059	0.001
COMB3 XX3	60.4	8.0	5.4	0.161	0.032
COMB4 XX4	78.5	8.3	27.5	0.100	0.005
COMB5 XX5	64.1	8.3	13.1	0.046	0.029
COMB6 YY2	74.0	20.0	15.0	0.047	0.170
COMB7 YY3	66.0	-4.0	15.0	0.023	0.161
COMB8 YY4	74.3	17.3	20.3	0.023	0.132
COMB9 YY5	68.3	-0.8	20.3	0.047	0.111

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DEL SUELO (q_{adm})
AFECTACIÓN POR EXCENTRICIDAD

CASO	COMBOS	L'	B'
		m	m
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	2.33	2.40
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	2.33	2.40
	COMB2	2.28	
	COMB3	2.08	
	COMB4	2.20	
	COMB5	2.31	
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1'	2.33	2.37
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	2.332	2.368
	COMB2 xx2	2.282	2.399
	COMB3 xx3	2.079	2.335
	COMB4 xx4	2.200	2.390
	COMB5 xx5	2.307	2.342
	COMB6 yy2	2.305	2.059
	COMB7 yy3	2.355	2.079
	COMB8 yy4	2.355	2.135
	COMB9 yy5	2.307	2.178

AFECTACIÓN POR NAPA FREÁTICA



COHESIÓN DEL SUELO

Gw	1	ton/m ³
Gp	0.65	ton/m ³
Gm	1.65	ton/m ³
q	2.15	ton/m ²
c'	1.30	ton/m ²

FACTORES DE FORMA

CASO	COMBO	Fcs	Fqs	Fys
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.43	1.37	0.61
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	1.43	1.37	0.61
	COMB2	1.43	1.36	0.62
	COMB3	1.39	1.33	0.65
	COMB4	1.41	1.35	0.63
	COMB5	1.43	1.37	0.62
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.44	1.38	0.61
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	1.44	1.38	0.61
	COMB2 xx2	1.43	1.37	0.62
	COMB3 xx3	1.40	1.34	0.64
	COMB4 xx4	1.41	1.35	0.63
	COMB5 xx5	1.44	1.38	0.61
	COMB6 yy2	1.40	1.34	0.64
	COMB7 yy3	1.39	1.34	0.65
	COMB8 yy4	1.41	1.35	0.64
	COMB9 yy5	1.42	1.36	0.62

SUBINDICE	FACTORES DE CARGA	FACTORES DE PROF	FACTOR DE INCLI DE CARGA			
	N	Fd	Fi			
q	15.81	1.20	1			
q	7.07	1.17	1			
y	6.20	1	1			
CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA POR CORTE, ADMISIBLE						
CASOS		COMBOS	q'u Ton/m^2	q'admC Ton/m^2		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	67.0	22.35		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1	67.0	22.35		
		COMB2	66.6	26.65		
		COMB3	64.8	25.93		
		COMB4	65.9	26.36		
		COMB5	66.8	26.73		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	67.2	22.40		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1 x1	67.2	22.40		
		COMB2 xx2	66.6	26.65		
		COMB3 xx3	65.1	26.06		
		COMB4 xx4	66.0	26.38		
		COMB5 xx5	67.1	26.86		
		COMB6 yy2	65.1	26.05		
		COMB7 yy3	65.0	26.02		
		COMB8 yy4	65.6	26.22		
		COMB9 yy5	66.2	26.48		
CAPACIDAD PORTANTE POR ASENTAMIENTO						
CASO	MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	DIÁMETRO EQUIVALENTE	FACTORES			
	Ef	Be	IG	IR		IE
	ton/m^2	m				
UNIAxIAL	2173706.512	2.67	0.8649	0.7862	0.9284	
BIAxIAL		2.65	0.8649	0.7861	0.9281	
CASOS		COMBOS	q'permA Ton/m^2			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	26.50			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1	26.50			
		COMB2	26.50			
		COMB3	26.50			
		COMB4	26.50			
		COMB5	26.50			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	26.67			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		COMB1 x1	26.67			
		COMB2 xx2	26.67			
		COMB3 xx3	26.67			
		COMB4 xx4	26.67			
		COMB5 xx5	26.67			
		COMB6 yy2	26.67			
		COMB7 yy3	26.67			
		COMB8 yy4	26.67			
		COMB9 yy5	26.67			

CAPACIDAD PORTANTE QUE GOBIERNA EL DISEÑO Y CAPACIDAD PORTANTE NETA

CASOS	COMBOS	q'admC	q'permA	q'adm	q _{neto}
		Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	22.35	26.50	22.35	19.8
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	22.35	26.50	22.35	19.8
	COMB2	26.65	26.50	26.50	23.9
	COMB3	25.93	26.50	25.93	23.3
	COMB4	26.36	26.50	26.36	23.8
	COMB5	26.73	26.50	26.50	23.9
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	22.40	26.67	22.40	19.8
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	22.40	26.67	22.40	19.8
	COMB2 xx2	26.65	26.67	26.65	24.1
	COMB3 xx3	26.06	26.67	26.06	23.5
	COMB4 xx4	26.38	26.67	26.38	23.8
	COMB5 xx5	26.86	26.67	26.67	24.1
	COMB6 yy2	26.05	26.67	26.05	23.5
	COMB7 yy3	26.02	26.67	26.02	23.4
	COMB8 yy4	26.22	26.67	26.22	23.6
	COMB9 yy5	26.48	26.67	26.48	23.9

PRESIONES EN SERVICIO

CASO	COMBOS	qs1x	qs2x	qneta	verificación		
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2			
CASO UNIAxIAL (GRAVS)	COMB1	15.1	17.9	19.8	CUMPLE		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	15.1	17.9	19.8	CUMPLE		
	COMB2	11.8	15.9	23.9	CUMPLE		
	COMB3	6.3	14.7	23.3	CUMPLE		
	COMB4	10.2	17.0	23.8	CUMPLE		
	COMB5	9.8	12.4	23.9	CUMPLE		
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMBOS	σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 - CASO CN		18.6	15.7	14.4	17.3	19.8	CUMPLE
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 X1 - CASO CN		18.6	15.7	14.4	17.3	19.8	CUMPLE
COMB2 XX2 - CASO CN		15.9	11.8	11.8	15.8	24.1	CUMPLE
COMB3 XX3 - CASO CN		15.5	7.1	5.4	13.8	23.5	CUMPLE
COMB4 XX4 - CASO CN		17.2	10.4	10.0	16.8	23.8	CUMPLE
COMB5 XX5 - CASO CN		13.2	10.6	9.0	11.6	24.1	CUMPLE
COMB6 YY2 - CASO CN		19.8	16.8	5.9	8.9	23.5	CUMPLE
COMB7 YY3 - CASO CN		16.7	15.4	6.2	7.5	23.4	CUMPLE
COMB8 YY4 - CASO CN		17.9	16.4	7.9	9.4	23.6	CUMPLE
COMB9 YY5 - CASO CN		16.5	13.8	7.2	9.9	23.9	CUMPLE

ASENTAMIENTO

ASENTAMIENTO			
ASENTAMIENTO UNIAxIAL	δ	1.68926368	cm
ASENTAMIENTO BIAxIAL	δ	1.67759959	cm

3. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES ÚLTIMAS					
CARGAS ÚLTIMAS			BIAXIAL CON SISMO		
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	PU	MU	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	140.50	41.4	0.045		
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	Pu	Mu	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	140.50	41.4	0.045		
COMB2	130.75	45.75	0.100		
COMB3	106.75	21.75	0.046		
COMB4	75.00	25.5	0.090		
COMB5	51.00	1.5	0.221		
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	Pu	Mux	Muy	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	140.50	41.4	16.3	0.045	0.016
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	PuX1	MuX	MuY	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	140.50	16.3	41.4	0.045	0.016
COMB2 xx2	130.75	13.75	45.75	0.100	0.005
COMB3 xx3	106.75	13.75	21.75	0.046	0.029
COMB4 xx4	75.00	7.2	25.5	0.090	0.004
COMB5 xx5	51.00	7.2	1.5	0.221	0.041
COMB6 yy2	123.75	28.75	33.75	0.023	0.132
COMB7 yy3	113.75	-1.25	33.75	0.047	0.111
COMB8 yy4	68.00	22.2	13.5	0.051	0.226
COMB9 yy5	58.00	-7.8	13.5	0.017	0.234

PRESIONES ÚLTIMAS						
CASO	COMBOS	qu1x	qu2x		QMAX	
		ton/m ²	ton/m ²		ton/m ²	
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)	COMB1	21.7	27.1		27.1	
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	21.7	27.1		27.1	
	COMB2	17.0	28.4		28.4	
	COMB3	16.4	20.7		20.7	
	COMB4	10.1	16.0		16.0	
	COMB5	4.0	13.7		13.7	
CASO	COMBOS	σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 - CASO CN		28.1	22.6	20.7	26.1	28.1
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 X1 - CASO CN		28.1	22.6	20.7	26.1	28.1
COMB2 XX2 - CASO CN		28.7	17.3	16.7	28.1	28.7
COMB3 XX3 - CASO CN		22.0	17.7	15.1	19.3	22.0
COMB4 XX4 - CASO CN		16.1	10.2	10.0	15.8	16.1
COMB5 XX5 - CASO CN		14.6	4.9	3.1	12.8	14.6
COMB6 YY2 - CASO CN		29.8	27.4	13.2	15.6	29.8
COMB7 YY3 - CASO CN		27.5	22.9	12.0	16.6	27.5
COMB8 YY4 - CASO CN		20.0	17.0	3.6	6.6	20.0
COMB9 YY5 - CASO CN		16.4	15.5	3.7	4.6	16.4

PRESIÓN DE DISEÑO	Qu	29.8	ton/m ²
-------------------	----	------	--------------------

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO

PERIMETRO DE PUNZONAMIENTO	B_o	4.24	m
AREA CRÍTICA DE PUNZONAMIENTO	A_o	1.12	m ²
RELACIÓN DE DIMENSION DE LA COLUMNA	β	1.2	
ALFA	α	40	
PUNZONAMIENTO	V_p	138.35	Ton
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ϕV_{PC}	281.62	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL PUNZONAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

AREA DE LA COLUMNA	A_1	0.3	
AREA DE DESARROLLO	A_2	6.687	
CARGA ULTIMA MAXIMA	P_u	140.5	Ton
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	ϕP_n	614.25	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL APLASTAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE

CORTANTE EN LA DIRECCIÓN X	V_{ux}	49.4	Ton
CORTANTE EN LA DIRECCIÓN Y	V_{uy}	35.1	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE X	ϕV_{cx}	79.77	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE Y	ϕV_{cy}	79.77	Ton

CUMPLE RESISTENCIA AL CORTANTE

DISEÑO POR FLEXIÓN

MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN X	M_{ux}	51.52	Ton*m
MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN Y	M_{uy}	35.77	Ton*m
calculo del β_1	β_1	0.85	
ACERO DIRECCION X	W_{max}	0.42	
CÁLCULO DEL MOMENTO MAX EN LA DIRECCIÓN X	M_{max}	374.3	Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL M_{max} POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	693.7	
	b	-1175.8	
	c	51.5	
	W	0.045	
CUANTIA DE ACERO	ρ	0.0023	
AREA DE ACERO	A_s	27.5	cm ²
# BARRAS	#	13.9	
# BARRAS / m	# / m	5.8	
ESPACIAMIENTO	S	17.00	cm

ACERO DIRECCION Y

CÁLCULO DEL MOMENTO MAXIMO EN LA DIRECCIÓN Y

Mmax

374.3

Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	693.7	
	b	-1175.8	
CALCULO DE W	c	35.8	
	W	0.031	
CUANTIA DE ACERO	p	0.0018	
AREA DE ACERO	As	22.0	cm ²
# BARRAS	#	11.1	
# BARRAS / m	# / m	4.6	
ESPACIAMIENTO	S	21.00	cm

EJEMPLO 3) ZAPATA MEDIANERA CON COLUMNA T

1. VARIABLES DE ENTRADA

TIPO DE ZAPATA

MEDIANERA

TIPO DE COLUMNA

T

SOLICITACIONES DE ENTRADA

AXIAL DE CARGA MUERTA	PCM	40	ton
AXIAL DE CARGA VIVA	PCV	12	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO X	PEQX	8	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO Y	PEQY	0	ton
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE Y	MCMY	18	ton*m
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE X	MCMX	3.5	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE Y	MCVY	4	ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE X	MCVX	3.36	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE Y	MEQY	12	ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE X	MEQX	0	ton*m
FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA VIVA	fred	1	

DATOS DE LA ZAPATA

PESO ESPECIFICO DEL CONCRETO	yc	2.4	ton/m ³
PROFUNDIDAD DEL FONDO DE ZAPATA	Df	1.5	m
DIAMETRO DEL ACERO DE ZAPATA	φz	5/8	Pulg
ALTURA DE LA ZAPATA	hc	0.50	m
ANCHO DE LA ZAPATA	B	2.8	m
LARGO DE LA ZAPATA	L	1.6	m

DATOS DE LA COLUMNA

DIMENSIONES DE LA COLUMNA	Xt1	0.3	m
	Yt1	0.6	m
	Xt2	0.3	m
	Yt2	0.3	m

DATOS DEL SUELO

PESO ESPECIFICO DEL SUELO	Gs	1.6	ton/m ³
PESO ESPECIFICO DEL SUELO SATURADO (SI CONOCES NF)	Gsat	1.6	ton/m ³
PROFUNDIDAD DE LA NAPA FREÁTICA	Dw	20	m
ÁNGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO	φ'	18	°
COHESIÓN DEL SUELO	c'	2.15	ton/m ²
MÓDULO DE POISSON DEL SUELO	μs	0.4	
MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO	Eprom	2000	ton/m ²
ALTURA DEL ESTRATO DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL SUELO RÍGIDO	H	20	m
ASENTAMIENTO MÁXIMO PERMISIBLE	Smax	2.5	cm

MATERIALES

RESISTENCIA DEL CONCRETO	f'c	210	kg/cm ²
FLUENCIA DEL ACERO	fy	4200	kg/cm ²

OTROS DATOS

SOBRECARGA	S/c	0.2	ton/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD GRAVITACIONAL	FSg	2.5	
FACTOR DE SEGURIDAD SÍSMICO	FSs	2	
¿USAR VIGA AÉREA?(SI ó NO)		NO	
ALTURA DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL EJE VIGA AEREA	C		m

2. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES EN SERVICIO

PERALTE DE LA ZAPATA	d	0.41	m
CENTROS DE GRAVEDAD	CGX	0.25	m
	CGY	0.300	m
SIMPLIFICACIONES	Xt	0.6	m
	Yt	0.6	m
VOLADIZOS	Lvx1	0.00	m
	Lvx2	1.00	m
	Lvy1	1.10	m
	Lvy2	1.10	m
	Lvx	1.00	m
	Lvy	1.10	m

CARGAS EN SERVICIO

BIAXIAL CON SISMO

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	52	22	0.127

CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	52.0	22.0	0.127
COMB2	46.4	27.6	0.045
COMB3	33.6	8.4	0.300
COMB4	43.8	23.7	0.009
COMB5	34.2	9.3	0.278

CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MSX	MSY	esX	esY
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	52	22	6.86	0.127	0.132

CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)

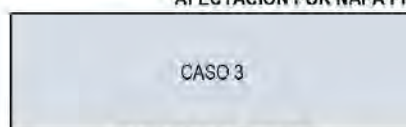
COMBOS	CARGAS AXIALES (PS)	MOMENTO X	MOMENTO Y	EXCENRICIDAD X	EXCENRICIDAD Y
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1 X1	52.0	6.9	22.0	0.127	0.132
COMB2 XX2	46.4	3.5	27.6	0.045	0.075
COMB3 XX3	33.6	3.5	8.4	0.300	0.104
COMB4 XX4	43.8	5.1	23.7	0.009	0.117
COMB5 XX5	34.2	5.1	9.3	0.278	0.150
COMB6 YY2	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
COMB7 YY3	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
COMB8 YY4	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
COMB9 YY5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DEL SUELO (q_{adm})

AFECTACIÓN POR EXCENTRICIDAD

CASO	COMBOS	L'	B'
		m	m
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.35	2.80
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	1.35	2.80
	COMB2	1.51	
	COMB3	1.00	
	COMB4	1.58	
	COMB5	1.04	
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1'	1.35	2.54
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	1.346	2.536
	COMB2 xx2	1.510	2.649
	COMB3 xx3	1.000	2.592
	COMB4 xx4	1.582	2.585
	COMB5 xx5	1.044	2.499
	COMB6 yy2	0.000	0.000
	COMB7 yy3	0.000	0.000
	COMB8 yy4	0.000	0.000
	COMB9 yy5	0.000	0.000

AFECTACIÓN POR NAPA FREÁTICA



COHESIÓN DEL SUELO

Gw	1	ton/m ³
Gp	0.6	ton/m ³
Gm	1.60	ton/m ³
q	2.40	ton/m ²
c'	2.15	ton/m ²

FACTORES DE FORMA

CASO	COMBO	Fcs	Fqs	Fys
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.19	1.16	0.81
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	1.19	1.16	0.81
	COMB2	1.22	1.18	0.78
	COMB3	1.14	1.12	0.86
	COMB4	1.23	1.18	0.77
	COMB5	1.15	1.12	0.85
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.21	1.17	0.79
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	1.21	1.17	0.79
	COMB2 xx2	1.23	1.19	0.77
	COMB3 xx3	1.15	1.13	0.85
	COMB4 xx4	1.25	1.20	0.75
	COMB5 xx5	1.17	1.14	0.83
	COMB6 yy2	0.00	0.00	0.00
	COMB7 yy3	0.00	0.00	0.00
	COMB8 yy4	0.00	0.00	0.00
	COMB9 yy5	0.00	0.00	0.00

SUBINDICE	FACTORES DE CARGA	FACTORES DE PROF	FACTOR DE INCLI DE CARGA		
	N	Fd	Fi		
c	13.10	1.36	1		
q	5.26	1.29	1		
y	4.07	1	1		
CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA POR CORTE, ADMISIBLE					
CASOS	COMBOS	q'u Ton/m^2	q'admC Ton/m^2		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	68.0	27.22		
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	68.0	27.22		
	COMB2	69.6	34.79		
	COMB3	64.7	32.37		
	COMB4	70.2	35.12		
	COMB5	65.2	32.59		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	69.0	27.60		
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	69.0	27.60		
	COMB2 xx2	70.2	35.08		
	COMB3 xx3	65.3	32.65		
	COMB4 xx4	71.2	35.60		
	COMB5 xx5	66.0	33.02		
	COMB6 yy2	0.0	0.00		
	COMB7 yy3	0.0	0.00		
	COMB8 yy4	0.0	0.00		
	COMB9 yy5	0.0	0.00		
CAPACIDAD PORTANTE POR ASENTAMIENTO					
CASO	MODELO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	DIÁMETRO EQUIVALENTE	FACTORES		
	Ef	Be	IG	IR	IE
	ton/m^2	m			
UNIAxIAL	2173706.512	2.19	0.8649	0.7864	0.9145
BIAxIAL		2.08	0.8649	0.7862	0.9125
CASOS	COMBOS	q'permA Ton/m^2			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	43.69			
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	43.69			
	COMB2	43.69			
	COMB3	43.69			
	COMB4	43.69			
	COMB5	43.69			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	45.90			
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	45.90			
	COMB2 xx2	45.90			
	COMB3 xx3	45.90			
	COMB4 xx4	45.90			
	COMB5 xx5	45.90			
	COMB6 yy2	45.90			
	COMB7 yy3	45.90			
	COMB8 yy4	45.90			
	COMB9 yy5	45.90			

CAPACIDAD PORTANTE QUE GOBIERNA EL DISEÑO Y CAPACIDAD PORTANTE NETA

CASOS	COMBOS	q'admC	q'permA	q'adm	q'netA
		Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	27.22	43.69	27.22	24.2
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	27.22	43.69	27.22	24.2
	COMB2	34.79	43.69	34.79	31.8
	COMB3	32.37	43.69	32.37	29.4
	COMB4	35.12	43.69	35.12	32.1
	COMB5	32.59	43.69	32.59	29.6
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	27.60	45.90	27.60	24.6
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1 x1	27.60	45.90	27.60	24.6
	COMB2 xx2	35.08	45.90	35.08	32.1
	COMB3 xx3	32.65	45.90	32.65	29.7
	COMB4 xx4	35.60	45.90	35.60	32.6
	COMB5 xx5	33.02	45.90	33.02	30.0
	COMB6 yy2	0.00	45.90	0.00	-3.0
	COMB7 yy3	0.00	45.90	0.00	-3.0
	COMB8 yy4	0.00	45.90	0.00	-3.0
	COMB9 yy5	0.00	45.90	0.00	-3.0

PRESIONES EN SERVICIO

CASO	COMBOS	qs1x		qs2x		qneta	verificación
		ton/m^2		ton/m^2		ton/m^2	
CASO UNIAxIAL (GRAVS)	COMB1	6.1		17.1		24.2	CUMPLE
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	6.1		17.1		24.2	CUMPLE
	COMB2	8.6		12.1		31.8	CUMPLE
	COMB3	-0.9		15.9		29.4	CUMPLE
	COMB4	9.5		10.1		32.1	CUMPLE
	COMB5	-0.3		15.6		29.6	CUMPLE
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMBOS	σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 - CASO CN		20.4	9.4	2.8	13.9	24.6	CUMPLE
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σV	σS	σR	σT	qneta	verificación
		ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	ton/m^2	
COMB1 X1 - CASO CN		20.4	9.4	2.8	13.9	24.6	CUMPLE
COMB2 XX2 - CASO CN		13.8	10.3	6.9	10.4	32.1	CUMPLE
COMB3 XX3 - CASO S-R		17.9	0.0	0.0	14.3	29.7	CUMPLE
COMB4 XX4 - CASO CN		12.6	11.9	7.0	7.6	32.6	CUMPLE
COMB5 XX5 - CASO R		18.3	2.0	0.0	13.1	30.0	CUMPLE
COMB6 YY2 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0	NO CUMPLE
COMB7 YY3 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0	NO CUMPLE
COMB8 YY4 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0	NO CUMPLE
COMB9 YY5 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0	NO CUMPLE

ASENTAMIENTO

ASENTAMIENTO			
ASENTAMIENTO UNIAxIAL	δ	0.98036721	cm
ASENTAMIENTO BIAxIAL	δ	0.93082047	cm

3. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES ÚLTIMAS					
CARGAS ÚLTIMAS			BIAXIAL CON SISMO		
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	PU	MU	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	76.40	32	0.131		
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	Pu	Mu	eu		
	ton	ton*m	m		
COMB1	76.40	32	0.131		
COMB2	73.00	39.50	0.009		
COMB3	57.00	15.50	0.278		
COMB4	44.00	28.2	0.091		
COMB5	28.00	4.2	0.400		
CASO BIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)					
COMBOS	Pu	Mux	Muy	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	76.40	32	10.612	0.131	0.139
CASO BIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)					
COMBOS	PuX1	MuX	MuY	eux	euy
	ton	ton*m	ton*m	m	m
COMB1	76.40	10.612	32	0.131	0.139
COMB2 xx2	73.00	8.575	39.5	0.009	0.117
COMB3 xx3	57.00	8.575	15.5	0.278	0.150
COMB4 xx4	44.00	3.15	28.2	0.091	0.072
COMB5 xx5	28.00	3.15	4.2	0.400	0.113
COMB6 yy2	0.00	0	0	0.000	0.000
COMB7 yy3	0.00	0	0	0.000	0.000
COMB8 yy4	0.00	0	0	0.000	0.000
COMB9 yy5	0.00	0	0	0.000	0.000

PRESIONES ÚLTIMAS						
CASO	COMBOS	qu1x	qu2x		QMAX	
		ton/m ²	ton/m ²		ton/m ²	
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)	COMB1	8.7	25.4		25.4	
CASO UNIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)	COMB1	8.7	25.4		25.4	
	COMB2	15.8	16.8		16.8	
	COMB3	-0.5	26.0		26.0	
	COMB4	6.5	13.2		13.2	
	COMB5	-3.1	15.6		15.6	
CASO	COMBOS	σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
CASO BIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVS)		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 - CASO CN		30.5	13.7	3.6	20.4	30.5
CASO BIAxIAL (CARGAS GRAVITACIONALES + CARGA DE SISMO)		σ_V	σ_S	σ_R	σ_T	QMAX
		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
COMB1 X1 - CASO CN		30.5	13.7	3.6	20.4	30.5
COMB2 XX2 - CASO CN		20.9	19.9	11.6	12.7	20.9
COMB3 XX3 - CASO R		30.5	3.4	0.0	21.9	30.5
COMB4 XX4 - CASO CN		14.7	8.0	5.0	11.7	14.7
COMB5 XX5 - CASO S-R		18.8	0.0	0.0	14.7	18.8
COMB6 YY2 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMB7 YY3 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMB8 YY4 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMB9 YY5 - CASO CN		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PRESIÓN DE DISEÑO	Qu	30.5	ton/m ²
-------------------	----	------	--------------------

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO

PERIMETRO DE PUNZONAMIENTO	Bo	3.28	m
AREA CRÍTICA DE PUNZONAMIENTO	Ao	0.77	m ²
RELACIÓN DE DIMENSION DE LA COLUMNA	β	3.0	
ALFA	α	30	
PUNZONAMIENTO	Vp	113.32	Ton
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ϕV_{PC}	145.96	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL PUNZONAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

AREA DE LA COLUMNA	A1	0.36	
AREA DE DESARROLLO	A2	1.018	
CARGA ULTIMA MAXIMA	Pu	76.4	Ton
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	ϕP_n	619.86	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL APLASTAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE

CORTANTE EN LA DIRECCIÓN X	Vux	50.5	Ton
CORTANTE EN LA DIRECCIÓN Y	Vuy	33.7	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE X	ϕV_{cx}	74.79	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE Y	ϕV_{cy}	42.73	Ton

CUMPLE RESISTENCIA AL CORTANTE

DISEÑO POR FLEXIÓN

MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN X	Mux	42.72	Ton*m
MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN Y	Muy	29.54	Ton*m
calculo del β_1	β_1	0.85	
ACERO DIRECCION X	Wmax	0.42	
CÁLCULO DEL MOMENTO MAX EN LA DIRECCIÓN X	Mmax	282.0	Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	522.6	
	b	-885.8	
	c	42.7	
	W	0.050	
CUANTIA DE ACERO	p	0.0025	
AREA DE ACERO	As	28.5	cm ²
# BARRAS	#	14.4	
# BARRAS / m	# / m	5.1	
ESPACIAMIENTO	S	19.00	cm

ACERO DIRECCION Y

CÁLCULO DEL MOMENTO MÁXIMO EN LA DIRECCIÓN Y

Mmax

161.1

Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

CÁLCULO DE W

a 298.6

b -506.2

c 29.5

W 0.061

CUANTIA DE ACERO

p 0.0030

ÁREA DE ACERO

As 19.8 cm²

BARRAS

10.0

BARRAS / m

/ m 6.3

ESPACIAMIENTO

S 15.00 cm

EJEMPLO 4) ZAPATA MEDIANERA CON COLUMNA RECTANGULAR

1. VARIABLES DE ENTRADA

TIPO DE ZAPATA

MEDIANERA

TIPO DE COLUMNA

RECTANGULAR

SOLICITACIONES DE ENTRADA

AXIAL DE CARGA MUERTA	PCM	85	ton
AXIAL DE CARGA VIVA	PCV	30	ton
CARGA AXIAL DEL SISMO X	PEQX		ton
CARGA AXIAL DEL SISMO Y	PEQY		ton
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE Y	MCMY		ton*m
MOMENTO DE CARGA MUERTA EN EJE X	MCMX		ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE Y	MCVY		ton*m
MOMENTO DE CARGA VIVA EN EJE X	MCVX		ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE Y	MEQY		ton*m
MOMENTO DE SISMO EN EJE X	MEQX		ton*m
FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA VIVA	fred	1	

DATOS DE LA ZAPATA

PESO ESPECIFICO DEL CONCRETO	yc	2.4	ton/m ³
PROFUNDIDAD DEL FONDO DE ZAPATA	Df	1.2	m
DIAMETRO DEL ACERO DE ZAPATA	φz	5/8	Pulg
ALTURA DE LA ZAPATA	hc	0.80	m
ANCHO DE LA ZAPATA	B	2.35	m
LARGO DE LA ZAPATA	L	1.1	m

DATOS DE LA COLUMNA

DIMENSIONES DE LA COLUMNA	Xt1	0.75	m
	Yt1	0.3	m

DATOS DEL SUELO

PESO ESPECIFICO DEL SUELO	Gs	2.1	ton/m ³
PESO ESPECIFICO DEL SUELO SATURADO (SI CONOCES NF)	Gsat	2.1	ton/m ³
PROFUNDIDAD DE LA NAPA FREÁTICA	Dw	20	m
ÁNGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO	φ'	29	°
COHESIÓN DEL SUELO	c'	1.5	ton/m ²
MÓDULO DE POISSON DEL SUELO	μs	0.43	
MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO	Eprom	1600	ton/m ²
ALTURA DEL ESTRATO DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL SUELO RÍGIDO	H	1.6	m
ASENTAMIENTO MÁXIMO PERMISIBLE	Smax	2.5	cm

MATERIALES

RESISTENCIA DEL CONCRETO	f'c	210	kg/cm ²
FLUENCIA DEL ACERO	fy	4200	kg/cm ²

OTROS DATOS

SOBRECARGA	S/c	0.4	ton/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD GRAVITACIONAL	FSg	3	
FACTOR DE SEGURIDAD SÍSMICO	FSs	1	
¿USAR VIGA AÉREA?(SI ó NO)		si	
ALTURA DESDE EL FONDO DE ZAPATA AL EJE VIGA AÉREA	C	4.8	m

2. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES EN SERVICIO

PERALTE DE LA ZAPATA	d	0.51	m
CENTROS DE GRAVEDAD	CGX	0.375	m
	CGY	0.150	m
SIMPLIFICACIONES	Xt	0.75	m
	Yt	0.3	m
VOLADIZOS	Lvx1	0.00	m
	Lvx2	0.35	m
	Lvy1	1.03	m
	Lvy2	1.03	m
	Lvx	0.35	m
	Lvy	1.03	m

CARGAS EN SERVICIO

UNIAXIAL SIN SISMO

CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)

COMB	PS	MS	es
	ton	ton*m	m
COMB1	95	0	0.000

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DEL SUELO (q_{adm})

AFECTACIÓN POR EXCENTRICIDAD

CASO	COMBOS	L'	B'
		m	m
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.10	2.35

AFECTACIÓN POR NAPA FREÁTICA

CASO 3

Gw	1	ton/m ³
Gp	1.1	ton/m ³
Gm	2.10	ton/m ³
q	2.52	ton/m ²
c'	1.50	ton/m ²

COHESIÓN DEL SUELO

FACTORES DE FORMA

CASO	COMBO	Fcs	Fqs	Fys
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	1.28	1.26	0.81

SUBINDICE	FACTORES DE CARGA	FACTORES DE PROF	FACTOR DE INCL DE CARGA
	N	Fd	Fi
c	27.86	1.26	1
q	16.44	1.24	1
γ	19.34	1	1

CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA POR CORTE, ADMISIBLE

CASOS	COMBOS	q'u	q'admC
		Ton/m ²	Ton/m ²
CASO UNIAXIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	150.3	50.09

CAPACIDAD PORTANTE POR ASENTAMIENTO					
CASO	MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	DIÁMETRO EQUIVALENTE	FACTORES		
	Ef	Be	IG	IR	IE
	ton/m ²	m			
UNIAXIAL	2173706.512	1.81	0.8649	0.7857	0.9189
CASOS		COMBOS	q'permA		
			Ton/m ²		
CASO UNIAXIAL (CARGAS GRAVS)		COMB1	43.32		

CAPACIDAD PORTANTE QUE GOBIERNA EL DISEÑO Y CAPACIDAD PORTANTE NETA					
CASOS	COMBOS	q'admC	q'permA	q'adm	q'netA
		Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²
CASO UNIAXIAL (CARGAS GRAVS)	COMB1	50.09	43.32	43.32	40.2

PRESIONES EN SERVICIO					
CASO	COMBOS	qs1x	qs2x	q'netA	verificación
		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	
CASO UNIAXIAL (GRAVS)	COMB1	36.8	36.8	40.2	CUMPLE

ASENTAMIENTO			
ASENTAMIENTO UNIAXIAL	δ	2.12082785	cm

TENSIONES DE LA VIGA AEREA EN SERVICIO		TX	TY	
		ton	ton	
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)		COMB1	3.46	
3. PROCEDIMIENTO PARA CONDICIONES ÚLTIMAS				
CARGAS ÚLTIMAS		UNIAXIAL SIN SISMO		
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)				
COMBOS	PU	MU	eu	
	ton	ton*m	m	
COMB1	142.00	0	0.000	

PRESIONES ÚLTIMAS				
CASO	COMBOS	qu1x	qu2x	QMAX
		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
CASO UNIAXIAL (SOLO CARGAS GRAVS)	COMB1	54.9	54.9	54.9
PRESIÓN DE DISEÑO		Qu	54.9	ton/m ²

TENSIONES DE DISEÑO DE LA VIGA AEREA		TX	TY
		ton	ton
CASO UNIAxIAL (SOLO CARGAS GRAVITACIONALES)	COMB1	5.18	

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO

PERIMETRO DE PUNZONAMIENTO	B_o	2.82	m
AREA CRÍTICA DE PUNZONAMIENTO	A_o	0.81	m ²
RELACIÓN DE DIMENSION DE LA COLUMNA	β	2.5	
ALFA	α_o	30	
PUNZONAMIENTO	V_p	97.35	Ton
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ϕV_{PC}	168.61	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL PUNZONAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

AREA DE LA COLUMNA	A_1	0.225	
AREA DE DESARROLLO	A_2	1.019	
CARGA ULTIMA MAXIMA	P_u	142	Ton
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	ϕP_n	460.69	Ton

CUMPLE RESISTENCIA CONTRA EL APLASTAMIENTO

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE

CORTANTE EN LA DIRECCIÓN X	V_{ux}	-20.5	Ton
CORTANTE EN LA DIRECCIÓN Y	V_{uy}	31.2	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE X	ϕV_{cx}	78.11	Ton
RESISTENCIA DEL CONCRETO EJE Y	ϕV_{cy}	36.56	Ton

CUMPLE RESISTENCIA AL CORTANTE

DISEÑO POR FLEXIÓN

MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN X	Mux	7.91	Ton*m
MOMENTO DE DISEÑO EN LA DIRECCIÓN Y	Muy	31.74	Ton*m
calculo del β_1	β_1	0.85	
ACERO DIRECCION X	Wmax	0.42	
CÁLCULO DEL MOMENTO MAX EN LA DIRECCIÓN X	Mmax	366.5	Ton*m

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	679.3	
	b	-1151.3	
	c	7.9	
CÁLCULO DE W	W	0.007	
CUANTIA DE ACERO	p	0.0018	
ÁREA DE ACERO	As	21.5	cm ²
# BARRAS	#	10.9	
# BARRAS / m	# / m	4.6	
ESPACIAMIENTO	S	21.00	cm

ACERO DIRECCION Y

CÁLCULO DEL MOMENTO MAXIMO EN LA DIRECCIÓN Y	Mmax	171.6	Ton*m
--	------	-------	-------

EL MOMENTO DE DISEÑO ES MENOR QUE EL Mmax POR TANTO SE PUEDE DISEÑAR

	a	317.9	
	b	-538.9	
	c	31.7	
	W	0.061	
CUANTIA DE ACERO	p	0.0031	
ÁREA DE ACERO	As	17.1	cm ²
# BARRAS	#	8.6	
# BARRAS / m	# / m	7.9	
ESPACIAMIENTO	S	12.00	cm