



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO
DE ZAPATAS AISLADAS CENTRALES UTILIZANDO
SMATHSTUDIO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

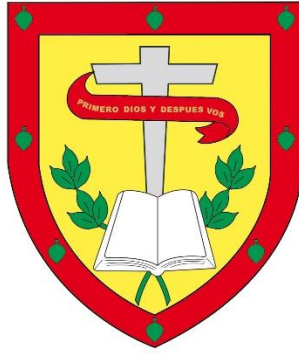
AUTOR: JONNATHAN PAUL CRIOLLO CHIMBO

**DIRECTOR: MSC. ING. EDUARDO DONEY PALMA
ZAMBRANO.**

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO
DE ZAPATAS AISLADAS CENTRALES UTILIZANDO
SMATHSTUDIO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JONNATHAN PAUL CRIOLLO CHIMBO

**DIRECTOR: MSC. ING. EDUARDO DONEY PALMA
ZAMBRANO.**

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Jonnathan Paul Criollo Chimbo portador de la cédula de ciudadanía N° 0106556954. Declaro ser el autor de la obra: "Optimización para el predimensionamiento de zapatas aisladas centrales utilizando SmathStudio", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 12 de octubre de 2023



F:

Jonnathan Paul Criollo Chimbo
0106556954

CERTIFICADO

Certifico que el presente trabajo de titulación con el tema "Optimización Para El Predimensionamiento De Zapatas Aisladas Centrales Utilizando Smath Studio", fue desarrollado por Jonnathan Paul Criollo Chimbo, bajo mi supervisión.

Atentamente,

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO



Ing. Eduardo Palma Zambrano

C.I. 1716685191

DOCENTE - TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado primeramente a Dios por iluminar mi mente, por inspirar mi investigación y por brindarme la fe necesaria para superar los desafíos.

A mis queridos padres, vuestra inquebrantable dedicación y apoyo han sido los cimientos sobre los cuales he construido mi educación y mi vida. Vuestra confianza en mí ha sido mi motivación constante. Este logro es también vuestro logro, y estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mi querida hermana, por siempre estar presente, tu ánimo y comprensión han sido un regalo invaluable durante esta travesía académica, nuestra relación de apoyo es invaluable: y a toda mi familia por estar siempre al pendiente de mí y ser un apoyo siempre.

-Jonnathan Criollo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por regalarme la vida y por acompañarme en cada paso de este viaje, le expreso mi profundo agradecimiento.

A mi padre, quien me ha brindado su apoyo, le agradezco por su esfuerzo constante para darme la oportunidad de educarme.

A mi madre, le agradezco por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable en los momentos difíciles. Ella ha sido mi fuente de inspiración y fortaleza.

A mi familia, por su presencia constante y apoyo constante a lo largo de mi proceso de estudio.

A mi alma mater, la Universidad Católica de Cuenca, le agradezco por brindarme el espacio y los conocimientos necesarios para mi formación como profesional. Ha sido un honor ser parte de esta institución.

Al Ing. Eduardo Palma, quien, con su conocimiento, enseñanza y apoyo constante, ha sido fundamental para llevar a cabo este trabajo de la mejor manera posible, le expreso mi más sincera gratitud.

A mis amigos, tanto dentro como fuera de las aulas, les agradezco de corazón por su apoyo inquebrantable, que de una u otra manera me ha impulsado a seguir adelante en este camino.

-Jonnathan Criollo

Resumen

Las zapatas son elementos críticos en la cimentación de cualquier edificación, ya que soportan las cargas de la estructura. Por ello, es crucial que las zapatas sean eficientes para prevenir el colapso de la estructura. Este documento aborda la problemática de diseñar zapatas aisladas centrales de hormigón armado de manera eficiente y confiable.

En el pasado, los cálculos de zapatas se realizaban manualmente utilizando calculadoras, papel y lápiz, esto era propenso a errores, produciendo resultados poco confiables. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, hoy en día se pueden optimizar estos procesos utilizando programas computacionales, lo que brinda resultados confiables.

Este trabajo busca desarrollar una herramienta usando el software SmathStudio para optimizar el diseño de zapatas aisladas centrales de hormigón armado, utilizando las normativas NEC 15 y ACI 318-19. Parte del propósito con esta herramienta es evitar los costos y limitaciones de programas comerciales dedicados a uso profesional. Además, esta herramienta no solo facilitará los procesos de cálculo, sino que también proporcionará una guía de uso para que los usuarios comprendan el algoritmo utilizado, esto les permitirá realizar cálculos y obtener resultados confiables ya que a la herramienta se la valoró con un software privado denominado SAFE.

En conclusión, la hipótesis de este trabajo es que la herramienta desarrollada utilizando SmathStudio será eficiente, confiable y accesible para el diseño de zapatas aisladas centrales de hormigón armado. Al proporcionar una guía de uso y un algoritmo, esta herramienta permitirá realizar la optimización de cálculos y comprender el proceso detrás de ellos.

Palabras clave: cimentación, diseño, normativa, resultados, manual.

Abstract

Footings are critical elements in the foundation of any building, since they support the loads of the structure. Therefore, it is crucial that the footings are efficient to prevent the collapse of the structure. This document addresses the problem of designing central isolated reinforced concrete footings in an efficient and reliable manner.

In the past, footing calculations were done manually using calculators, paper and pencil, this was prone to errors, producing unreliable results. However, thanks to technological advances, today these processes can be optimized using computer programs, which provides reliable results.

This work seeks to develop a tool using the SmathStudio software to optimize the design of central isolated reinforced concrete footings, using the NEC 15 and ACI 318-19 regulations. Part of the purpose with this tool is to avoid the costs and limitations of commercial programs dedicated to professional use. In addition, this tool will not only facilitate the calculation processes, but will also provide a user guide so that users understand the algorithm used, this will allow them to perform calculations and obtain reliable results since the tool was evaluated with private software called SAFE.

In conclusion, the hypothesis of this work is that the tool developed using SmathStudio will be efficient, reliable and accessible for the design of reinforced concrete central insulated footings. By providing a user guide and an algorithm, this tool will allow you to optimize calculations and understand the process behind them.

Keywords: foundation, design, regulations, results, manual

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
Capítulo 1 Introducción	1
A. Formulación del Problema	2
B. Delimitación del Problema.....	3
C. Justificación del Problema	4
D. Objetivos	4
1. General	4
2. Específicos	5
Capítulo 2 Revisión de la literatura	6
A. Estado del Arte	6
B. Marco Teórico	8
1. Conceptos Claves	8
1.1. Hormigón	8
1.2. Resistencia a compresión del hormigón.....	8
1.3. Peso Específico del Hormigón.....	8
1.4. Acero de Refuerzo.....	9
1.5. Resistencia a la fluencia del acero.....	9
1.6. Concreto reforzado.....	9
1.7. Presión admisible del suelo	9
1.8. Cargas y factores de carga.....	10
2. Normativas Empleadas.....	12
2.1. NEC 15.....	12
2.2. ACI 318-19.....	13
3. Bases Teóricas.....	14
3.1. Cimentación.....	14
3.2. Clasificación de las cimentaciones.....	15
3.3. Clasificación de las Cimentaciones Superficiales	16
3.4. Criterios para el Diseño de Cimentaciones.....	17
3.5. Diseño por Cortante.....	18

3.6. Diseño por Flexión.....	19
3.7. Diseño Estructural.....	19
Capítulo 3 Metodología.....	37
Capítulo 4 Resultados y discusión.....	70
A. Ejercicios empleados para la verificación del programa.....	82
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....	106
A. Conclusiones.....	106
B. Recomendaciones.....	107
Referencias Bibliográficas.....	108
Índice de Anexos.....	111
A. Anexo 1 Codificación del Programa.....	111
B. Anexo 2 Catálogo Adelca de varillas de refuerzo.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinación de Cargas de Servicio.....	20
Tabla 2. Combinación de Momentos de Servicio.....	20
Tabla 3. Combinaciones de Cargas de Diseño para Resistencia Última.	21
Tabla 4. Presión máxima permisible del suelo	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Excentricidad.....	22
Figura 2. Cortante en una dirección.....	26
Figura 3. Sección Crítica y Área Resistente.	26
Figura 4. Cortante por Punzonamiento.....	28
Figura 5. Sección Crítica por Punzonamiento.	29
Figura 6. Perímetro de la sección crítica.	30
Figura 7. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.	37
Figura 8. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.	38
Figura 9. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.	38
Figura 10. Cálculo preliminar, algoritmo, paso 2.	39
Figura 11. Dimensiones propuestas para zapata, algoritmo, paso 2.	39
Figura 12. Cálculo de cargas y momentos, algoritmo, paso 3.	40
Figura 13. Determinan excentricidades y esfuerzos, algoritmo, paso 4.	40
Figura 14. Esfuerzos máximo y mínimo, algoritmo, paso 5.	41
Figura 15. Cortante por punzonamiento, algoritmo, paso 6.	42
Figura 16. Aplastamiento de columna-zapata, algoritmo, paso 7.	43
Figura 17. Diseño de acero de refuerzo, algoritmo, paso 8.	43
Figura 18. Diseño de acero de refuerzo longitudinal, algoritmo, paso 8.	44
Figura 19. Diseño de acero de refuerzo transversal, algoritmo, paso 8.	45
Figura 20. Longitud de desarrollo, algoritmo, paso 8.	46
Figura 21. Corte unidireccional en dirección “X”, algoritmo, paso 9.	47
Figura 22. Cortante unidireccional en dirección “Y”, algoritmo, paso 9.	48
Figura 23. Plano, algoritmo, paso 10.	49
Figura 24. Diagrama de flujo del programa realizado por el autor.	53
Figura 25. Pestañas que hay en el programa JPZAP.	54
Figura 26. Lista desplegable con los diámetros de varillas.	55
Figura 27. Funciones para crear figuras en 2D.	55
Figura 28. Línea de programación para calcular el cortante en sentido x.	56
Figura 29. Línea de programación para calcular el cortante en sentido y.	56
Figura 30. Comando if.	57
Figura 31. Cálculo de acero de refuerzo longitudinal.	58
Figura 32. Cálculo de acero de refuerzo transversal.	58

Figura 33. Longitud de desarrollo para lado B.....	59
Figura 34. Longitud de desarrollo para lado H.....	59
Figura 35. Matriz para las verificaciones.	61
Figura 36. Tabla de verificaciones.....	62
Figura 37. Matriz de las características en los datos de salida.	63
Figura 38. Matriz del acero de refuerzo en los datos de salida.	63
Figura 39. Tabla de las características de la zapata.	64
Figura 40. Tabla de resultados del refuerzo de acero.	64
Figura 41. Gráfico en datos de salida.	65
Figura 42. Bucle “for” para el acero en planta.	65
Figura 43. Bucle “for” para el acero en corte A-A.	65
Figura 44. Bucle “for” para el acero en corte B-B.	65
Figura 45. Matriz para títulos del plano.	66
Figura 46. Plano final.	66
Figura 47. Datos finales de la zapata aislada.....	67
Figura 48. Primera parte de la ventada de los Datos de Entrada.	70
Figura 49. Segunda parte de la ventada de los Datos de Entrada y gráfico de dimensiones.	71
Figura 50. Ventana de verificaciones.....	71
Figura 51. Primera parte de la ventana de Datos de Salida.	72
Figura 52. Segunda parte de la ventana de Datos de Salida.	72
Figura 53. Gráfico de dimensiones en la ventana de Datos de Salida.....	73
Figura 54. Plano.....	73
Figura 55. Planilla de refuerzo y cantidad de materiales.....	74
Figura 56. Guía del Usuario.	74
Figura 57. Guía del Usuario.	75
Figura 58. Guía del Usuario.	76
Figura 59. Guía del Usuario.	76
Figura 60. Guía del Usuario.	77
Figura 61. Guía del Usuario.	77
Figura 62. Guía del Usuario.	78
Figura 63. Guía del Usuario.	79
Figura 64. Guía del Usuario.	80
Figura 65. Guía del Usuario.	80
Figura 66. Guía del Usuario.	81

Figura 67. Guía del Usuario.	81
Figura 68. Datos de entrada mejorados.	102
Figura 69. Datos de entrada mejorados.	103
Figura 70. Verificaciones.	103
Figura 71. Datos de salida.	104
Figura 72. Datos de salida.	104
Figura 73. Plano.....	104
Figura 74. Planilla de materiales.	105

Capítulo 1

Introducción

En Ecuador, el diseño de cimentaciones superficiales se lleva a cabo por el método de Estados Límite de Servicio, además, se emplea el método de Estado Límite de Falla según lo estipulado en La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), al utilizar estos dos métodos se obtienen diseños que pueden llegar a ser seguros, racionales y económicos a la vez. Para obtener estas características, el profesional a cargo del diseño debe cumplir con lo estipulado en la normativa y los códigos adecuados.

En el mercado actual existen varios programas o herramientas computacionales que han sido desarrollados para el diseño de distintos elementos estructurales que en la mayoría tienen un considerable valor económico, a pesar de ello, el procedimiento para desarrollar o manejarlos es desconocido o complicado, debido a esto, el presente documento identifica la necesidad de crear una herramienta usando el software Smath Studio (programa matemático de código abierto que permite ingresar y resolver expresiones matemáticas complejas, en este trabajo se ha empleado la versión gratuita del mismo.) para facilitar el análisis y diseño de cimentaciones superficiales centrales con la posibilidad de visualizar los resultados de los cálculos de variables (dimensiones de zapata y acero de refuerzo) que se establecen tanto en la norma ACI, como en la normativa nacional.

Esta herramienta tiene como premisa recolectar un conjunto de datos o variables de entrada, tales como, el esfuerzo admisible del suelo, cargas y momentos, dimensiones de columna y zapata, en el proceso de cálculo en el apartado geotécnico se realiza la verificación de la capacidad admisible del suelo, no se calculan asentamientos ya que se considera que las cimentaciones diseñadas no sufren asentamientos, en el

apartado estructural se verifican cortantes unidireccional y de punzonamiento, así como el diseño por flexión que serán empleados para el cálculo de la zapata aislada central. El profesional o estudiante debe estar familiarizado con los parámetros necesarios para el diseño. Por consiguiente, el programa computacional hace óptimo el pre dimensionamiento de estos elementos estructurales. Los estudiantes universitarios como los profesionales de la rama de la construcción podrán usarla de forma libre y gratuita.

A. Formulación del Problema

La problemática que se plantea en la investigación se enfoca en la necesidad de optimizar el diseño de zapatas aisladas centrales en construcciones u obras civiles. El diseño de zapatas es un elemento crítico en la construcción de estructuras y está íntimamente ligado a las características del suelo en donde se colocarán. Si el diseño no está optimizado, puede haber sobregastos económicos y el riesgo de que la estructura colapse. Por lo tanto, se busca desarrollar un método más eficiente para el cálculo de zapatas aisladas centrales que reduzca el tiempo de trabajo y minimice los errores.

En la actualidad, existen programas en el mercado que pueden ayudar en el cálculo de zapatas, pero su uso puede ser costoso para la mayoría de estudiantes y posiblemente para algunos profesionales, también pueden ser limitados por su interfaz difícil de entender. Además, estos programas no siempre dan a conocer sus procesos o normativas usadas, lo que puede llevar a errores en los cálculos. Por lo tanto, la investigación busca desarrollar una herramienta que sea accesible para estudiantes y profesionales y que permita un cálculo más eficiente y preciso de las zapatas.

B. Delimitación del Problema

Esta investigación se centra en la elaboración de una herramienta que permita desarrollar el cálculo y diseño de una zapata aislada central de hormigón armado. Se excluyen otros tipos de zapatas, como las zapatas aisladas de borde, de esquina, entre otras. Además, se trabajará únicamente con materiales de hormigón armado, descartando cualquier otro tipo de material o combinación. Así también, los cálculos se centrarán en dos normas: la norma NEC 15 que recoge una serie de normativas, las cuales establecen los requisitos mínimos de seguridad y calidad que deben cumplir las edificaciones a nivel nacional, en todas las etapas del proceso constructivo y el ACI 318 - 19, es un reglamento que incluye requisitos para el diseño de hormigón usado con propósitos estructurales.

La herramienta a desarrollar tendrá la capacidad de modificar los parámetros de entrada, tales como, las cargas, la resistencia de los materiales y la geometría de la cimentación, la carga admisible del suelo (donde se deben introducir valores que previamente el usuario obtiene de un estudio de suelo in situ). Como resultado, la herramienta brindará la capacidad resistente del suelo y dimensiones de la zapata como verificación geotécnica, para las verificaciones estructurales se revisan cortante unidireccional y por punzonamiento, verificación por aplastamiento del hormigón, además se mostrarán resultados del acero de refuerzo necesario y la cantidad de los materiales a tomarse en cuenta para su construcción. Además, se presentará una ventana gráfica para comprender mejor los resultados obtenidos.

C. Justificación del Problema

La justificación de esta investigación se basa en la necesidad de optimizar el proceso de diseño y cálculo de zapatas aisladas centrales de hormigón armado. Como se menciona en el texto, el diseño y análisis de zapatas aisladas es fundamental para la construcción de la mayoría de las obras civiles, por lo que, cualquier mejora en el proceso tendrá un impacto significativo en la eficiencia y calidad de las obras. Además, el proceso de cálculo puede ser tedioso y propenso a errores debido a la gran cantidad de iteraciones y comprobaciones necesarias. Por lo tanto, desarrollar una herramienta que permita optimizar el tiempo necesario para el diseño de zapatas aisladas centrales evitando errores en el proceso de cálculo sería de gran beneficio para los ingenieros civiles y la industria de la construcción en general. Además, la misma se pueda ejecutar en casi cualquier computadora ya que no se requiere que el equipo en el que trabaje con esta herramienta tenga características avanzadas o sea un equipo sofisticado. Esta investigación es muy factible ya que se harán uso de las normativas antes mencionadas y de la información o metodologías encontradas en la bibliografía recopilada, así también, el software en el que se desarrollará es libre y está disponible en su versión gratuita.

D. Objetivos

1. General

Desarrollar una herramienta implementando el software Smath Studio, para optimizar el pre dimensionamiento de zapatas aisladas centrales de hormigón armado.

2. Específicos

- Desarrollar los respectivos algoritmos y programación necesaria que permitan dar a conocer el proceso lógico que seguirá la herramienta.
- Validar el programa diseñado con resultados de casos planteados que se tenga en el material bibliográfico y con un software privado.
- Crear una guía de cómo funciona el programa para el usuario.

Capítulo 2

Revisión de la literatura

A. Estado del Arte

En la actualidad, existe una variedad de herramientas que sirven para el diseño y verificación de zapatas aisladas, algunos de los cuales pueden presentar un lenguaje difícil de interpretar o, por otro lado, pueden tener un alto costo monetario para adquirirlos. Se han desarrollado ejecutables para optimizar el cálculo de cimentaciones superficiales a través de la implementación de herramientas computacionales como: SAFE o ETABS que facilitan la comprobación de los cálculos manuales que se realizan en el ámbito estudiantil y profesional. Por otra parte, también se han hecho uso de hojas de cálculo para optimizar el cálculo de estos elementos. Por ello, hay algunas alternativas que el usuario puede elegir para facilitar el trabajo de diseño.

Algunos de las herramientas más populares o usados para el diseño de cimentaciones superficiales son los siguientes:

EL GEO5 software Geotécnico, este programa se utiliza para diseñar zapatas (aisladas y continuas) sometidas a una carga general. Se calcula la capacidad portante vertical y horizontal, el asentamiento, la rotación de la base, y determina el esfuerzo longitudinal y el corte requerido (perforación). Los análisis están basados en un gran número de teorías (EC 7, PN, IS, Brinch-Hansen, Meyerhof, Vesic, DIN 4017, CTE-DB SE-C). Admite varias teorías de análisis de asientos (Janbu, Buismann, suelos blandos, usando el índice y el coeficiente de compresión, asientos secundarios según Ladd). El análisis de verificación puede ser llevado a cabo utilizando EN 1997-1, LRFD o el método clásico (Estados Límite, Factor de Seguridad). Diseño de hormigón armado según EN 1992 (EC2), BS, PN, IS, ACI, GP, SNIP. A la fecha en que se realiza

esta investigación este software tiene una suscripción anual de \$320, cuenta con una licencia local de \$800 y un mantenimiento anual de \$120.(Fine Software, 2023)

Shallow Foundation Design Software, es un programa que ayuda de forma sencilla para analizar cimentaciones superficiales. Este programa tiene la capacidad de calcular la capacidad portante de zapatas cuadradas, rectangulares, continuas y circulares en distintos tipos de suelos tiene un enfoque especial en la geotecnia y también presenta el diseño de acero de esfuerzo, sus reportes se resumen a 3 hojas fáciles de imprimir. A la fecha en que se realiza esta investigación la licencia anual tiene un costo de \$295 mientras que la llave USB sin límite de uso tiene un costo de \$600.(Soil Structure, 2023)

Software de diseño de la Fundación SkyCiv, para cimientos y pilotes de concreto con facilidad. Integrado con 3D estructural, importar fuerzas directamente desde el análisis de su modelo 3D. Personaliza capas de suelo, ubicaciones de columna, tipos de cimientos, y refuerzo para obtener el diseño más eficiente. Se puede comunicar los resultados del diseño mediante los cálculos manuales detallados con referencias de código, modelado potente, se puede colaborar y compartir el Software de diseño de cimientos SkyCiv. A la fecha en que se realiza esta investigación el costo mensual de la licencia mensual por usuario va desde \$69 hasta \$500.(SkyCiv, 2023)

B. Marco Teórico

1. Conceptos Claves

1.1.Hormigón

El hormigón es el material artificial más utilizado en la construcción a nivel mundial, ya que se lo emplea en diversas estructuras, como edificios, puentes, túneles, presas, pavimentos y elementos de cimentación. El hormigón se compone de cemento de Portland, áridos (arena y grava), agua, en ocasiones, aditivos.(Mamlouk & Zaniewski, 2009)

1.2.Resistencia a compresión del hormigón

La resistencia a la compresión se refiere a la calidad del material en MPa que se emplea en el diseño de los elementos estructurales. Según lo que dicta la ASTM, se calcula como el promedio de las resistencias obtenidas de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o al menos tres probetas de 100 por 200 mm. Estas probetas se preparan utilizando la misma muestra de concreto y son sometidas a ensayos a los 28 días o a la edad de ensayo especificada.(Segura Franco, 2011)

1.3.Peso Específico del Hormigón.

En el hormigón, el peso específico podría ser variable, esto se debe a que depende de su contenido de agua, densidad y composición. En términos generales el valor del peso específico del hormigón se encuentra entre 2200 a 2500 kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). (Crespo Escobar, 2013)

1.4.Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo en concreto armado consiste en varillas de sección redonda que presentan corrugaciones. Estas corrugaciones tienen como propósito limitar el desplazamiento longitudinal de las varillas con respecto al concreto circundante.(Morales, 2013)

1.5.Resistencia a la fluencia del acero

La calidad del material se refiere a la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión en MPa en el límite o punto de fluencia (f_y) que se utiliza en el diseño de los elementos estructurales.(Segura Franco, 2011)

1.6.Concreto reforzado.

El concreto reforzado, se refiere al concreto que se le ha incorporado barras de acero, mallas electrosoldadas, pernos con cabeza, etc., que permiten absorber esfuerzos que el concreto solo no puede manejar. Ambos materiales trabajan en conjunto, aprovechando la compatibilidad de sus deformaciones. Esta combinación mejora la capacidad del concreto para resistir tensiones y cargas de flexión, resultando en una estructura más segura y duradera.(Segura Franco, 2011)

1.7.Presión admisible del suelo

La presión admisible del suelo es la carga máxima que puede soportar sin causar una deformación o dañar la estructura que se construye sobre el mismo. Esta presión admisible varía según el tipo de suelo, densidad, contenido de humedad, etc. que afectan su capacidad para soportar carga.(Calavera Ruiz, 2000)

Cuando se toma en cuenta cargas de sismo o de viento, se puede aumentar en un 33% el esfuerzo admisible del suelo. Cabe recalcar que estas cargas son de duración corta.(Guerra A., 2013)

Las presiones permisibles del suelo son fundamentales para el diseño de la cimentación, y se obtienen mediante la intervención del profesional especializado en geotecnia y ensayos de laboratorio in situ. En la mayoría de los casos, los códigos de construcción proporcionan valores aproximados de presiones admisibles de apoyo para facilitar el proceso de diseño. Se recomienda realizar un estudio de suelos previo al uso de la herramienta desarrollada en este trabajo de investigación,(Cifuentes Rueda & Malagon Torres, 2018)

El suelo de fundación no es adecuado para soportar tracciones, pero puede resistir compresiones y esfuerzos cortantes limitados. Si las compresiones aumentan considerablemente, puede ocurrir la falla por corte en alguna superficie interna del suelo. Es esencial considerar estos aspectos al diseñar cimentaciones y estructuras para garantizar la estabilidad y seguridad del proyecto.(Fratelli, 1993)

1.8.Cargas y factores de carga

Los factores de carga tienen como objetivo proporcionar una seguridad adecuada contra un aumento en las cargas de servicio que excedan las

especificaciones del diseño, con el fin de hacer que la probabilidad de falla sea sumamente baja. Además, estos factores de carga contribuyen a garantizar que las deformaciones bajo las cargas de servicio no sean excesivas.(Morales, 2013)

Las cargas usadas para el diseño de elementos de cimentación superficial son:

Cargas permanentes.

Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas, incluyen los pesos de todos los elementos estructurales, como paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas y cualquier artefacto que forme parte permanente de la estructura.(NEC-15, 2014a)

Cargas variables.

También conocidas como cargas vivas, dependen de la ocupación prevista en el inmueble y comprenden los pesos de las personas, muebles, equipos y otros elementos que puedan estar presentes de forma transitoria en el espacio.(NEC-15, 2014a)

Cargas accidentales.

En las cargas accidentales se toma en cuenta las cargas sísmicas y, por otro lado, las cargas ocasionadas por incendios, choques de vehículos, etc.(NEC-15, 2014a)

Cuando se toma en cuenta cargas de sismo o de viento, se puede aumentar en un 33% el esfuerzo admisible del suelo. Cabe recalcar que estas cargas son de duración corta.(Guerra A., 2013)

1.9.Smath Studio

Es un programa matemático compacto pero potente que brinda un completo soporte para unidades de medida. Ofrece una amplia variedad de funciones informáticas y una interfaz intuitiva que facilita a los usuarios la introducción de ecuaciones y expresiones matemáticas utilizando una amplia variedad de símbolos y funciones, disponible en 40 idiomas. Además, el programa ofrece una completa biblioteca de funciones y constantes matemáticas.(Ivashov, 2006)

Este programa matemático de código abierto permite a los usuarios ingresar y resolver ecuaciones complejas, así como también, graficar diversas funciones estadísticas, algebraicas y trigonométricas y visualizarlos en tiempo real.

2. Normativas Empleadas.

2.1.NEC 15

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) es una regulación que contiene especificaciones y reglas técnicas que se deben seguir para la construcción de estructuras y edificaciones en Ecuador. Esta norma da a conocer las exigencias mínimas sobre seguridad, resistencia y calidad que deben cumplir las edificaciones, así como, las técnicas de construcción que el profesional debe emplear.

Esta normativa presenta los requisitos y métodos adecuados para el diseño sísmico resistente de estructuras ingenieriles, incorporando también normas extranjeras reconocidas y aceptadas. También se establecen los procesos para la inspección, prueba y evaluación de estructuras, así como, de los materiales empleados para la construcción.

Es importante mencionar que esta normativa se basa en la norma americana ACI 318-14.

2.2.ACI 318-19

El ACI 318-19 es la versión más reciente de la norma técnica de construcción del American Concrete Institute (ACI) que se utiliza para diseñar y construir estructuras de hormigón en los Estados Unidos. Esta norma establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción y evaluación de la resistencia de las estructuras de hormigón.(ACI Committee 318, 2019)

El código abarca una amplia gama de temas, que incluyen los materiales de hormigón, el refuerzo, el diseño y análisis, los componentes y sistemas, la resistencia y capacidad de servicio, así como los requisitos de construcción. Es una referencia fundamental para los profesionales de la construcción y garantiza que las estructuras de hormigón cumplan con los estándares necesarios de seguridad y rendimiento. Es esencial adherirse a los requisitos de esta normativa al diseñar cualquier estructura de hormigón. La norma establece los mínimos necesarios para los materiales utilizados, los procesos de diseño, construcción y pruebas de resistencia de elementos y sistemas de hormigón estructural.(ACI Committee 318, 2019)

Los cambios en la forma en que trabajan los ingenieros y profesionales de la construcción han motivado ajustes en el código previo al ACI 318-19. Estos cambios se centran principalmente en el uso de computadoras para el diseño y análisis, lo que ha resultado en un enfoque más exhaustivo. La versión actualizada presenta mejoras significativas, incluido un mejor entendimiento en los requisitos de diseño, incorporación de nuevas tecnologías y materiales, y una mayor importancia al impacto ambiental y a la sostenibilidad.

3. Bases Teóricas.

Es relevante señalar que la herramienta está específicamente diseñada para el cálculo de cimientos que tienen su carga ubicada dentro de su tercio central, es decir, cuando la excentricidad es menor a $L/6$ o cuando se asume una distribución uniforme de la carga sobre el cimiento. Esta consideración es importante para garantizar la precisión y adecuación de los cálculos realizados en el diseño de las cimentaciones.

3.1.Cimentación.

Una cimentación o fundación es una parte de una estructura, generalmente debajo de la superficie terrestre, y transmite cargas generadas por la edificación al suelo o roca que se encuentra debajo. Los dos requisitos principales en el diseño de cimientos son limitar el asentamiento general de la estructura a un valor bajo aceptable y eliminar tanto como sea posible el asentamiento desigual de las diferentes partes de la estructura.(Darwin et al., 2016)

Para limitar el asentamiento es necesario (1) transferir la carga de la estructura a una capa de suelo de suficiente resistencia y (2) distribuir la carga sobre un área suficientemente grande de esta capa para minimizar la presión de apoyo.(Darwin et al., 2016)

Dado que la resistencia del suelo suele ser menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente mayor que los elementos que soporta. Es esencial prestar atención a este aspecto, ya que la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno en el que se asienta.(Viloria Arias, 2014)

3.2. Clasificación de las cimentaciones.

La elección del tipo de cimentación se determinará según la capacidad de carga que el suelo pueda soportar, su ubicación y las propiedades mecánicas del terreno. Por lo tanto, existen dos categorías principales de cimentaciones: superficiales y profundas. (Barrera Romero, 2022)

Cimentaciones Superficiales.

Cuando el terreno en la zona inferior de la estructura, o en su proximidad, muestra características apropiadas desde el punto de vista técnico y económico para soportar la cimentación, se utiliza una cimentación superficial o directa. En este tipo de cimientos, la base de la estructura se apoya directamente sobre el suelo con poca excavación. Las cimentaciones superficiales pueden estar constituidas por varios elementos, tales como zapatas, muros, vigas y placas, o incluso por combinaciones de estos elementos. (Calavera Ruiz, 2000)

En el pasado, las zapatas solían construirse con entramados de madera o metal, a veces con capas de grava, entre otros materiales. En la actualidad, casi sin excepción, las zapatas se construyen con hormigón armado. Se las conoce también como cimentaciones directas, ya que los elementos verticales de la superestructura se extienden hasta el terreno de cimentación, apoyándose directamente sobre él. Se logra esto ensanchando su sección transversal para reducir el esfuerzo unitario que se transmite al suelo. (Cabrera Palacios, 2010)

Cimentaciones Profundas

En situaciones donde el nivel adecuado para la cimentación está considerablemente más profundo que la zona inferior de la estructura, la excavación necesaria para llevar a cabo una cimentación directa sería costosa. En estos casos, se recurre a una cimentación profunda que consiste en pilotes, elementos verticales que se hunden en el suelo para transmitir la carga de la estructura a capas de suelo más resistentes en profundidad.(Calavera Ruiz, 2000)

3.3. Clasificación de las Cimentaciones Superficiales

Las cimentaciones superficiales se las pueden clasificar de distintos tipos y va de acuerdo a su función:

Zapatas Aisladas.

Este tipo de zapatas son elementos estructurales que, comúnmente, tienen forma cuadrada o rectangular, aunque ocasionalmente también pueden ser circulares. Su propósito es proporcionar un soporte bajo las columnas para distribuir las cargas en un área extensa en el terreno, de manera que se logre una presión segura y adecuada.(Moreta, 2017)

Una zapata aislada es aquella sobre la que descarga o soporta únicamente un solo pilar. Sin embargo, también se considera como zapata aislada aquella sobre la cual descargan dos pilares contiguos, separados por una junta de dilatación, Para el cálculo, ambos pilares se consideran como uno solo. El comportamiento de esta zapata es complejo, y su diseño se realiza con métodos simplificados.(Calavera Ruiz, 2000)

La dimensión de las zapatas depende de la resistencia del suelo, siendo más pequeñas en suelos más fuertes y más grandes en suelos menos resistentes. El diseño de estas zapatas también sirve como base para otros tipos de cimentaciones. Los diferentes tipos de cimientos pueden fallar por mecanismos similares a los de las zapatas, como por flexión, adherencia y anclaje, cortante punzonante, cortante por flexión y aplastamiento. Estos aspectos deben ser considerados durante el proceso de diseño y construcción para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura. (Rodríguez Serquén, s. f.)

Zapata Centrada.

En este tipo de zapata, la columna se sitúa en el centro de la base del cimiento. La carga en este tipo de zapata puede coincidir con el centro de gravedad de la base o presentar una excentricidad mínima, dicho de otro modo, la carga debería ubicarse en el tercio central de la zapata. Este diseño de zapatas es ampliamente utilizado en la construcción de edificaciones, al igual que otros tipos de zapatas aisladas. (Barrera Romero, 2022)

3.4. Criterios para el Diseño de Cimentaciones.

Para el diseño de estos elementos estructurales se deben tomar en cuenta dos importantes criterios que son:

Criterio Geotécnico.

Para el diseño donde se tome en cuenta el aspecto geotécnico se deben determinar la deformación y estabilidad. Estas características se determinan en función del método aplicado usado para el desarrollo del análisis geotécnico.(Barrera Romero, 2022)

El valor de carga admisible del suelo debe venir de un estudio de suelos previo llevado a cabo por la persona que emplee la herramienta desarrollada en este trabajo de investigación, en dicho valor debe incluirse el factor de seguridad FS que el estudiante o profesional considere adecuado para su diseño. Para el diseño geotécnico se emplean cargas o momentos sin mayorar, es decir, cargas de servicio.

Criterio Estructural.

Para el diseño donde se tome en cuenta el aspecto estructural se deben determinar factores como: el espesor de la base del cimiento, esfuerzos admisibles del concreto y cantidad de acero de refuerzo.(Barrera Romero, 2022)

Para el diseño estructural se emplean cargas o momentos mayoradas, es decir, cargas últimas.

3.5.Diseño por Cortante.

Este diseño permite analizar el cimiento de dos formas: como una viga ancha o como losas. El análisis se divide en dos casos: el corte por flexión, que se relaciona con el comportamiento unidireccional del cimiento, y el corte por punzonamiento, que se refiere al comportamiento bidireccional de la cimentación.(Harmsen, 2002)

En el comportamiento bidireccional, el cimiento puede fallar tanto por corte como por punzonamiento, pero la capacidad de corte siempre será mayor que la capacidad de punzonamiento.(Mc Cormac & Brown, 2011)

3.6.Diseño por Flexión.

Las cimentaciones funcionan como losas de cimentación, lo que implica que están sometidas a flexión en dos direcciones. Para lograr este diseño, la sección crítica debe ubicarse en el borde del pilar, y el diseño del refuerzo se realiza para cada una de las direcciones. Es decir, se considera la flexión en ambas direcciones para garantizar la resistencia adecuada del cimiento.(Harmsen, 2002)

3.7.Diseño Estructural.

Combinación de Cargas de Servicio

En el cimiento, las cargas que actúan son la suma de las cargas de servicio sin factorizar o mayorar, es decir, a las cargas de servicio se las multiplican por la unidad, esto también ocurre para la sumatoria de los momentos a los que la zapata se encuentra sometida. Es importante mencionar que además de las cargas de servicio, pueden existir cargas sísmicas que también deben ser consideradas en el análisis y diseño del cimiento. Estas cargas sísmicas pueden tener un impacto significativo en la resistencia y estabilidad del cimiento durante eventos sísmicos.(Barrera Romero, 2022)

Tabla 1. Combinación de Cargas de Servicio.

Combinación de Cargas de Servicio		
Tipo de carga	Símbolo	Factor de mayoración
axial por carga permanente	P_{CP}	1
axial por carga variable	P_{CV}	1
axial por carga accidental	P_{CA}	1

Tabla 2. Combinación de Momentos de Servicio

Combinación de Momentos de Servicio		
Tipo de momento	Símbolo	Factor de mayoración
momento por carga permanente	M_{CP}	1
momento por carga variable	M_{CV}	1
momento por carga accidental	M_{CA}	1

Combinación de Cargas de Diseño para Resistencia Última.

Las cargas mayoradas que actúan en el elemento son la suma de las cargas multiplicadas por su respectivo factor de mayoración, para esto se han empleado las combinaciones que estipula la norma ACI 318-19 tabla 5.3.1. De las cuales se han tomado las ecuaciones a y b cuando se tienen cargas

permanentes y variables, cuando en la cimentación actúa adicionalmente la carga sísmica se emplean las ecuaciones e y g.

Tabla 3. Combinaciones de Cargas de Diseño para Resistencia Última.

Tabla 5.3.1 — Combinaciones de carga

Combinación de carga	Ecuación	Carga primaria
$U = 1.4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (1.0L \text{ o } 0.5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ o } S \text{ o } R$
$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	(5.3.1e)	E
$U = 0.9D + 1.0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0.9D + 1.0E$	(5.3.1g)	E

Nota: Tomado de: (ACI Committee 318, 2019)

También se pueden revisar las diferentes combinaciones existentes. La norma ecuatoriana dice que al considerar cargas sísmicas y de viento, no se requiere tomarlas en cuenta de manera simultánea.

Excentricidad.

La excentricidad es la relación entre el momento flector y la carga actuante:

$$e = \frac{M}{P} \quad (1)$$

El programa está desarrollado únicamente para realizar el cálculo de cimentaciones cuya carga se ubiquen dentro de su tercio central, es decir, cuando su excentricidad sea menor que $L/6$. (Barrera Romero, 2022)

Los esfuerzos se calculan empleando la siguiente expresión:

$$q_{1,2} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) \quad (2)$$

Donde

P = carga actuante.

A = área de la zapata.

e = excentricidad.

L = lado de la zapata.

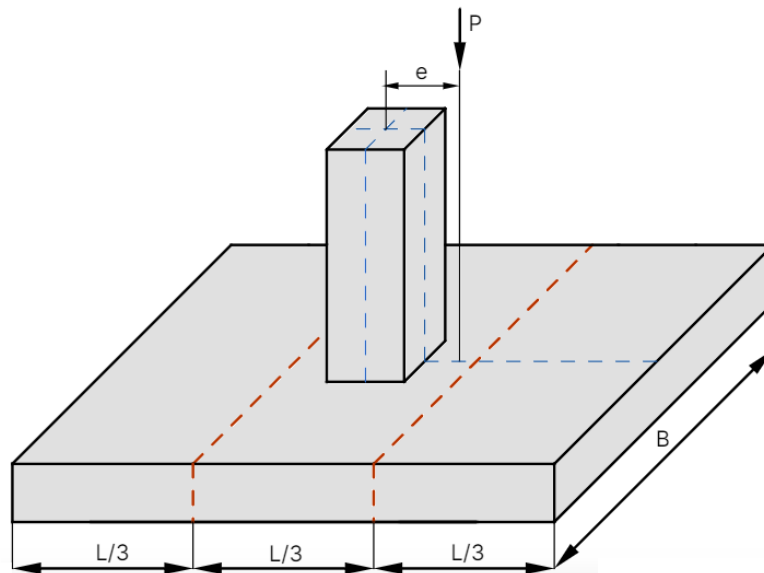


Figura 1. Excentricidad.

Fuente: Elaborada por el autor.

Dimensionamiento.

Presiones admisibles.

El valor de este parámetro se lo puede obtener de los informes geotécnicos luego de haber realizado un estudio de suelos llevado a cabo por el

profesional en geotecnia. O a su vez se lo puede obtener de tablas que ofrecen los códigos de construcción, como la siguiente.

Tabla 4. Presión máxima permisible del suelo

Presión máxima permisible del suelo	
Tipo de material	Unidades (kgf/cm²)
Roca	20% de la resistencia ultima al aplastamiento
Arena gruesa compacta, arena fina compacta, arcilla dura o arcilla arenosa	3.85
Arcilla semirrígida o arcilla arenosa	2.90
Arena inorgánica compacta y mezclas de limo	1.90
Arena suelta	1.45
Arcilla arenosa suave o arcilla simple	0.95
Arena inorgánica suelta y mezcla de limo	0.50
Arena orgánica suelta y mezcla de limo, humus o barro de color blanco amarillento	0

Nota: Tomado de: (Mc Cormac & Brown, 2011)

Área de zapata.

El área de la base del cimiento debe calcularse teniendo en cuenta las fuerzas y momentos transmitidos al terreno como resultado de las solicitaciones

de servicio. La determinación del área de la cimentación se realiza utilizando la siguiente ecuación.

$$A_z = \frac{P}{q_e} \quad (3)$$

Donde:

P = carga de servicio

q_e = capacidad de carga efectiva o neta.

Espesor o altura de la Zapata.

La altura total para zapatas que se encuentran apoyadas sobre el terreno, debe tomarse, de forma que la altura efectiva desde el refuerzo inferior no sea menor que 150mm. Para zapatas que se encuentren apoyadas sobre pilotes la altura debe ser mayor que 300mm.(Guerra A., 2013)

Verificación de Presiones.

En este apartado se verifica que las presiones de diseño último sean menores a la presión admisible del suelo, esta presión máxima se obtiene de la siguiente forma:

$$q_{\max} = \frac{P_u}{A_z} \quad (4)$$

Donde:

q_{\max} = Presión ejercida por las cargas.

P_u = Cargas de diseño o cargas mayoradas.

A_z = área de la cimentación.

Diseño por Cortante.

El principal aspecto a cumplir para verificar si el diseño cumple por corte es que el cortante último en la sección crítica sea menor e igual a la resistencia de corte del concreto, es decir:

$$V_u \leq \Phi V_c \quad (5)$$

Donde:

V_c = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.

V_u = Fuerza cortante última o mayorada.

Cortante en una dirección.

Es el efecto a causa del comportamiento de la zapata como una viga, donde se identifica una sección crítica que se extiende en un plano a lo largo del ancho total del cimiento. Esta sección crítica se encuentra ubicada a una distancia "d" desde la cara de la columna, pedestal o muro, en caso de que estos elementos sean de concreto. (Garza Vasquez, 2000)

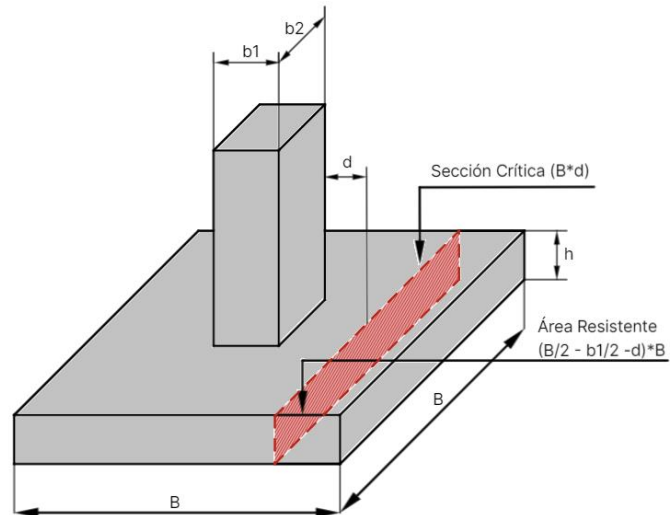


Figura 2. Cortante en una dirección.

Fuente: Elaborada por el autor.

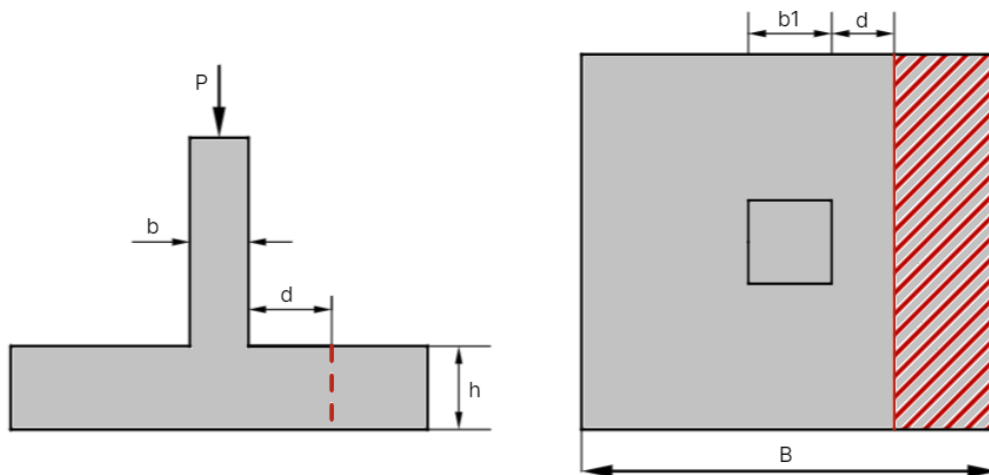


Figura 3. Sección Crítica y Área Resistente.

Fuente: Elaborada por el autor.

- Esfuerzo cortante último en la sección crítica a una distancia “d”

Esfuerzo cortante último

$$V_u = \frac{V_u}{\phi * B * d} \quad (6)$$

- Esfuerzo que resiste el hormigón a una distancia “d” Esfuerzo capaz de resistir el concreto según el ACI 318-19 sección 22.5.5.1. Se escoge esta expresión debido a que la cimentación no contará con estribos para contrarrestar el cortante. La expresión se encuentra en el sistema mks (kgf/cm²).

$$V_c = 2.1 * \lambda_s * \lambda * (\rho_w)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{f'_c} * b_w * d \quad (7)$$

Donde:

b_w = ancho de la zapata

d = altura efectiva

λ_s = factor de efectos de tamaño

λ = factor de modificación (1 para concreto de peso normal)

ρ_w = cuantía del acero de refuerzo colocado

Cortante en dos Direcciones o Punzonamiento.

El punzonamiento ocurre cuando los esfuerzos cortantes alrededor del perímetro de la columna son significativos. Para analizar este fenómeno, por lo general se debe realizar el análisis en ambas direcciones (x, y). Sin embargo, en el caso de una zapata cuadrada, debido a su geometría, bastaría con realizar el análisis en una sola dirección. (Barrera Romero, 2022)

En la práctica, se trabaja con una superficie de falla o sección crítica perpendicular al plano de la zapata. Esta sección crítica se localiza a una

distancia " $d/2$ " desde la cara de la columna. Además, la traza en planta de esta sección crítica tiene una forma igual al perímetro mínimo " b_o ". (Garza Vasquez, 2000)

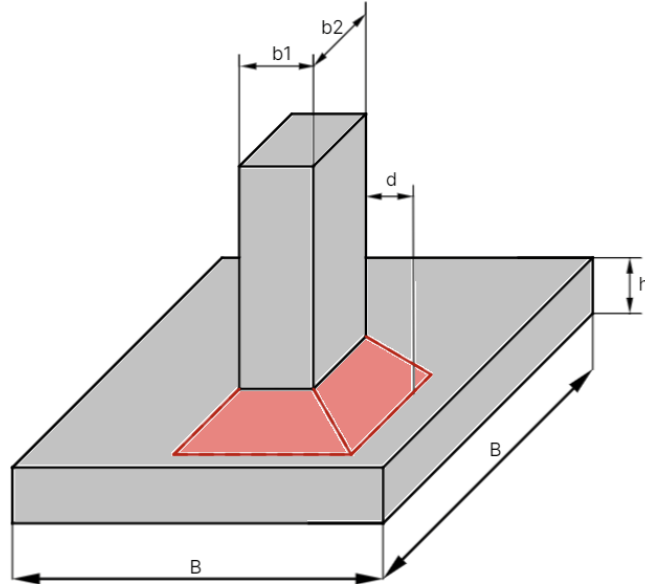


Figura 4. Cortante por Punzonamiento.

Fuente: Elaborada por el autor.

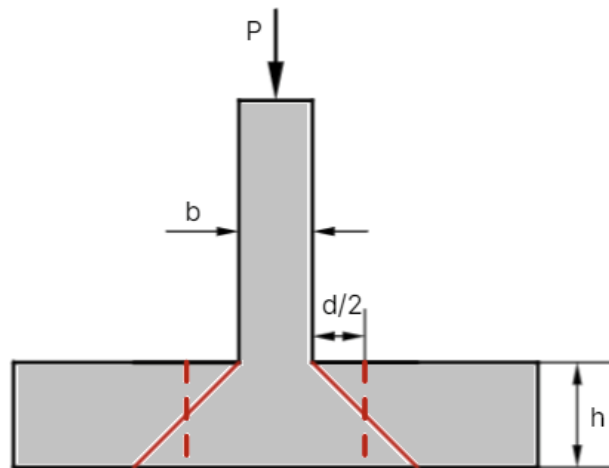


Figura 5. Sección Crítica por Punzonamiento.

Fuente: Elaborada por el autor.

- Perímetro alrededor de la columna

Perímetro de la sección crítica.

$$b_o = 2 (l_x + d) + 2 (l_y + d) \quad (8)$$

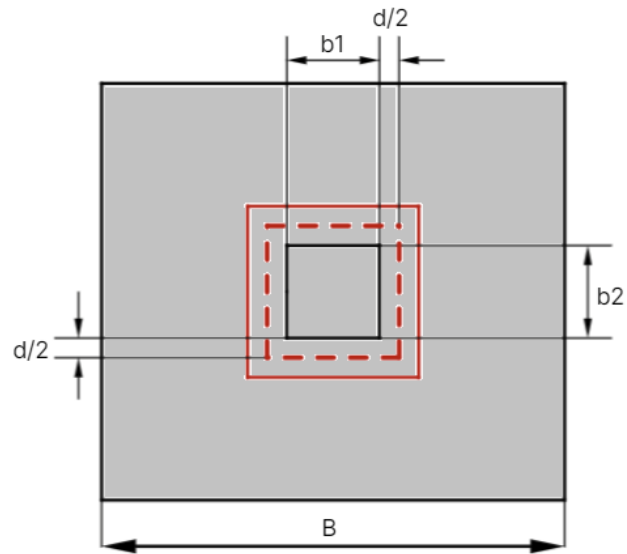


Figura 6. Perímetro de la sección crítica.

Fuente: Elaborada por el autor.

La fuerza cortante admisible para cortante en dos direcciones (V_c) debe ser el menor de las tres ecuaciones siguientes.

- Cortante admisible 1

$$V_c = 0.33 * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (9)$$

- Cortante admisible 2

$$V_c = 0.17 * \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) * \lambda_s * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (10)$$

- Cortante admisible 3

$$V_c = 0.083 * \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) * \lambda_s * \lambda * \sqrt{f'c} \quad (11)$$

La NEC establece que al diseñar por cortante bidireccional con una columna cuadrada sobre la zapata, se debe utilizar la cortante admisible 1. No obstante, cuando el valor de β es mayor a 2, esta opción no es conservadora y se debe tomar en cuenta otro enfoque. Además, para columnas rectangulares, se debe escoger el menor valor entre las opciones disponibles para V_c . (Barrera Romero, 2022)

- Término de factor de efectos de tamaño dado.

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.04 d}} \leq 1 \quad (12)$$

Donde:

d = altura o peralte efectivo.

Cabe indicar que el ACI 318-19 Sección 13.2.6.2 estipula que para zapatas aisladas se permite depreciar el factor de efectos de tamaño.

- Relación de dimensiones larga o corta.

$$\beta = \frac{\text{lado mayor de columna}}{\text{lado menor de columna}} \quad (13)$$

Según el ACI 318-19 Sección 22.6.5.3 la constante que se emplea para calcular V_c , ya sea en zapatas y losas es:

$\alpha_s = 40$ sección crítica para columnas interiores

$\alpha_s = 30$ sección crítica para columnas de borde

$\alpha_s = 20$ sección crítica para columnas de esquina

Finalmente se lleva a cabo la verificación por corte en dos direcciones comparando el esfuerzo resistente contra el esfuerzo último. Si dicha comparación no se cumple, se procederá a incrementar el valor “d” o caso contrario se debe cambiar el peralte del cimiento.

Diseño de refuerzo.

Acero calculado, partiendo de la ecuación de esfuerzo de tensión (acero requerido).

$$A_{s_calculado} = \frac{M_u}{\phi * f_y * \left(d + \frac{a}{2}\right)} \quad (14)$$

Donde:

M_u = momento de flexión en zapata ubicado en la sección crítica.

f_y = Resistencia a la fluencia del refuerzo.

d = peralte efectivo de la zapata.

a = profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

Según el ACI 318-19, se puede determinar la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos se requiere el valor de “c”, que es la distancia desde la fibra extrema sujeta a compresión hasta el eje neutro.

$$c = \frac{\epsilon_{cu} * d}{\epsilon_y + \epsilon_{cu}} \quad (15)$$

Donde:

ϵ_{cu} = máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema de concreto a compresión.

ϵ_y = deformación unitaria de fluencia de acero

Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos.

$$a = \beta_1 * c \quad (16)$$

El valor de β_1 puede ser calculado con la siguiente ecuación y deberá estar dentro del rango ($0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$). Por otro lado, si excede estos valores se debe tomar valores límites. (Barrera Romero, 2022)

Valor de β_1 para distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto según ACI 318-19 Sección 22.2.2.4.3.

- Para $17 \leq f'c \leq 28$ MPa

$$\beta_1 = 0.85 \quad (17)$$

- Para $28 < f'c < 55$ MPa

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05 (f'c - 280)}{70} \quad (18)$$

- Para $f'c \geq 55$ MPa

$$\beta_1 = 0.65 \quad (19)$$

Área de acero requerido.

$$A_s = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} \cdot \left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot b}} \right) \quad (20)$$

Donde

b = lado de zapata en el sentido de análisis del refuerzo.

d = peralte efectivo de la zapata.

Mu = momento de flexión en zapata ubicado en la sección crítica.

f'c = Resistencia a compresión del hormigón.

f_y = Resistencia a la fluencia del refuerzo.

Cuantía mínima.

$$\rho_{\min} = 0.0018 A_g \quad (21)$$

Aplastamiento.

Para desarrollar la evaluación por aplastamiento, la NEC – 15 NEC-SE-HM dispone la siguiente expresión

Área bruta de la columna (que se encuentra sobre la zapata).

$$A_1 = l_x \cdot l_y \quad (22)$$

Área bruta de zapata.

$$A_2 = B \cdot L \quad (23)$$

Relación área de zapata vs área de columna.

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \quad (24)$$

Esta relación entre áreas no debe de exceder el valor de 2, pero en caso de sobrepasar dicho valor, se debe tomar el valor límite para el cálculo.

Esfuerzo de aplastamiento de columna.

$$\phi * 0.85 * f'c \quad (25)$$

Esfuerzo de aplastamiento del cimiento.

$$\phi * 0.85 * f'c * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (26)$$

Donde

A_1 = área de columna

A_2 = área de zapata

La NEC-15 NEC-SE-HM, dictamina que el esfuerzo de aplastamiento de la columna no debe ser mayor al esfuerzo de aplastamiento de la zapata, pero en el caso de ocurrir lo contrario se deberá colocar acero vertical.

Longitud de Desarrollo.

La longitud de desarrollo se refiere a la longitud embebida del refuerzo de acero en el concreto, es necesaria para desarrollar la resistencia de diseño del refuerzo en la sección crítica. (Barrera Romero, 2022)

La NEC-15 NEC-SE-HM recomienda la siguiente ecuación para la longitud de desarrollo.

Longitud de desarrollo para unidades en MPa.

$$l_d = \left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e * \lambda}{1.4 * \sqrt{f'_c}} \right) * db \quad (27)$$

Donde:

f_y = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo.

f'_c = resistencia a la compresión del hormigón.

ψ_t = factor de modificación para longitud de desarrollo. con base en el tamaño del refuerzo. Igual a 1 (otros casos).

ψ_e = factor de modificación para la longitud de desarrollo con base en revestimiento del refuerzo. Igual a 1.0 (para barras sin recubrimiento).

$\lambda = 1$ (Concreto de peso normal).

db = diámetro de varilla empleada en el refuerzo.

Capítulo 3

Metodología.

En este proyecto, se han realizado diversas etapas en el desarrollo e implementación de un programa destinado al dimensionamiento y verificación de zapatas aisladas centrales. En primer lugar, se elaboró un algoritmo con los pasos a seguir, luego se desarrolló un diagrama de flujo para la toma de decisiones y posterior a esto, se realizó a la respectiva programación según el lenguaje de Smath Studio.

El algoritmo seguido es el siguiente:

Paso 1. Para comenzar se ingresan las variables necesarias para el cálculo, como son: materiales, cargas / momentos, dimensiones tanto de zapata como de la columna, también la profundidad de desplante y el diámetro de refuerzo de acero, cabe mencionar, que los valores mínimos a ingresar de base y ancho de zapata, así como, de profundidad de desplante fueron tomados de la NEC-SE-VIVIENDA (NEC-15, 2014b), y el valor mínimo de altura de zapata es basado en (ACI Committee 318, 2019) (redondeando a 30cm por ser múltiplo de 10cm). Los valores a ingresar están en el orden que se muestra a continuación:

MATERIALES	
Esfuerzo admisible del Suelo, q_{adm}	Peso específico del suelo, γ_{suelo}
$q_{adm} := 1,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$\gamma_{suelo} := 1800 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
Resistencia del acero, f_y	Resistencia del hormigón, f'_c
$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$f'_c := 240 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Figura 7. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.

CARGAS Y MOMENTOS

Axil por Carga muerta	Axil por Carga viva	Axil por Carga sismica
$P_D := 43,76 \text{ tonnef}$	$P_L := 15,10 \text{ tonnef}$	$P_E := 0 \text{ tonnef}$
Momento por carga muerta en x	Momento por carga muerta en y	
$M_{x_D} := 0 \text{ tonnef m}$	$M_{y_D} := 0 \text{ tonnef m}$	
Momento por carga viva en x	Momento por carga viva en y	
$M_{x_L} := 0 \text{ tonnef m}$	$M_{y_L} := 0 \text{ tonnef m}$	
Momento por carga sismica en x	Momento por carga sismica en y	
$M_{x_E} := 0 \text{ tonnef m}$	$M_{y_E} := 0 \text{ tonnef m}$	

Figura 8. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.

DIMENSIONES

Base de zapata (mínimo 1m), B	Ancho de zapata (mínimo 1m), H	Altura estimada de zapata (mínimo 30cm), h
$B := 2,93 \text{ m}$	$H := 2,93 \text{ m}$	$h := 45 \text{ cm}$
Base de columna, b	Ancho de columna, a	Profundidad de desplante (mínimo 1m), D _f
$b := 0,4 \text{ m}$	$a := 0,4 \text{ m}$	$D_f := 1,5 \text{ m}$

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata
16 mm

Figura 9. Datos de entrada, algoritmo, paso 1.

Paso 2. Lo siguiente es realizar el cálculo preliminar donde se especifican los coeficientes para la mayoración de cargas y momentos, el aumento del esfuerzo admisible del suelo en caso de tener carga sísmica, se propone el recubrimiento con el que se hará el diseño, se determina el área de zapata idóneo partiendo del esfuerzo admisible neto del suelo, por ende, se obtiene las dimensiones B y H, así también se obtiene el peralte efectivo.

Coefficiente para mayoracion de cargas/momentos $Y_D := 1,2$

Coefficiente para mayoracion de cargas/momentos $Y_L := 1,6$

aumento de esfuerzo admisible de suelo (solo si existe carga sismica) $1,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
cuando se tiene carga sismica, al esfuerzo admisible del suelo se le aumenta un 33%

espacio libre desde el filo de columna hasta filo de zapata en la direcci3n "a"

$$v_a := \frac{a - a_0}{2} = 85 \text{ cm}$$

espacio libre desde el filo de columna hasta filo de zapata en la direcci3n "b"

$$v_b := \frac{b - b_0}{2} = 85 \text{ cm}$$

recubrimiento minimo $rec := 7,5 \text{ cm}$ segun ACI - 20.5.1.3.1

Diámetro de varillas para el armado de la zapata $\phi_z := pos_d_z = 16 \text{ mm}$

Esfuerzo real del suelo $q_{real,suelo} := q_{adm} - (Y_{suelo} \cdot D_F) - (Y_{ho} \cdot h) = 1,422 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Area estimada de zapata en funcion de las cargas $A := \frac{(P_D + P_L + P_E)}{q_{real,suelo}} = 4,1392 \text{ m}^2$

Figura 10. Cálculo preliminar, algoritmo, paso 2.

Valor de B para diseño $B := 2,1 \text{ m}$

Valor de H para diseño $H := 2,1 \text{ m}$

Area de diseño de zapata $A_z := B \cdot H = 4,41 \text{ m}^2$

peralte efectivo para diseño $d := h - \left(rec + \frac{\phi_z}{2} \right) = 36,7 \text{ cm}$

se adopta un valor para peralte efectivo $d := \text{round}(d; 2) = 37 \text{ cm}$

Figura 11. Dimensiones propuestas para zapata, algoritmo, paso 2.

Paso 3. Se procede al cálculo de cargas y momentos de servicio, así también, las cargas y momentos últimos o mayorados.

Axiles sin mayorar	$P = 58,86 \text{ tonnef}$
momento sin mayorar en x	$M_x = -0,19 \text{ tonnef m}$
momento sin mayorar en y	$M_y = -0,02 \text{ tonnef m}$
Axiles mayorados	$P_U = 76,672 \text{ tonnef}$
momento mayorado en x	$M_{x_u} = -0,272 \text{ tonnef m}$
momento mayorado en y	$M_{y_u} = -0,02 \text{ tonnef m}$

Figura 12. Cálculo de cargas y momentos, algoritmo, paso 3.

Paso 4. Se determinan excentricidades y esfuerzos normales (usando carga de servicio) para las direcciones “X” y “Y”. De igual manera, también se determinan los esfuerzos últimos (usando carga última).

excentricidades normales

excentricidad en x

$$e_x := \frac{M_x}{P} = -0,0032 \text{ m}$$

excentricidad en y

$$e_y := \frac{M_y}{P} = -0,0003 \text{ m}$$

excentricidades factorizadas

excentricidad factorizada en x

$$e_{xu} := \frac{M_{x_u}}{P_U} = -0,004 \text{ m}$$

excentricidad factorizada en y

$$e_{yu} := \frac{M_{y_u}}{P_U} = 0 \text{ m}$$

esfuerzos normales - direccion x

esfuerzo normal max - direccion x

$$q_{\max_x} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_x \cdot 6}{B} \right) = 13,22 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo normal min - direccion x

$$q_{\min_x} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_x \cdot 6}{B} \right) = 13,47 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos normales - direccion y

esfuerzo normal max - direccion y

$$q_{\max_y} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_y \cdot 6}{H} \right) = 13,33 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo normal min - direccion y

$$q_{\min_y} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_y \cdot 6}{H} \right) = 13,36 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos últimos - direccion x

esfuerzo último max - direccion x

$$q_{u_{\max_x}} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_{xu} \cdot 6}{B} \right) = 17,21 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo último min - direccion x

$$q_{u_{\min_x}} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_{xu} \cdot 6}{B} \right) = 17,56 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos ultimos - direccion y

esfuerzo último max - direccion y

$$q_{u_{\max_y}} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_{yu} \cdot 6}{H} \right) = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo último min - direccion y

$$q_{u_{\min_y}} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_{yu} \cdot 6}{H} \right) = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Figura 13. Determinan excentricidades y esfuerzos, algoritmo, paso 4.

Paso 5. Identificación de esfuerzos máximo y mínimo a usarse posteriormente en el cálculo de cortantes unidireccional y punzonamiento.

$$\begin{array}{l} \text{Esfuerzo max para calculo} \quad q_{u_max} = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \\ \text{Esfuerzo mim para calculo} \quad q_{u_min} = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \end{array}$$

Figura 14. Esfuerzos máximo y mínimo, algoritmo, paso 5.

Paso 6. Se procede al cálculo y verificación del cortante por punzonamiento. La condición que se debe cumplir en este apartado es $V_U \leq \phi V_c$ se propone el factor de reducción de resistencia para corte, se identifica el peralte efectivo (d_1), se determina el perímetro crítico de punzonamiento (b_o), se obtiene la relación del lado largo al lado corto de la columna (β), se identifica el valor α_s .

Posterior se emplean las expresiones para la resistencia al corte debido al hormigón, estas expresiones son obtenidas del ACI 3018-19 tabla 22.6.5.2, de estas 3 ecuaciones se escoge el del menor valor; luego se determina el esfuerzo capaz de resistir el hormigón (ϕV_c); para hallar el cortante último (V_U), se determinan el área de incidencia por punzonamiento y la fuerza cortante por el punzonamiento a una distancia ($d/2$).

condición a cumplir $V_U \leq \phi \cdot V_C$

factor de reducción de resistencia para corte $\phi_c := 0,75$

peralte tentativo $d_1 = 37 \text{ cm}$

para concreto de peso normal $\lambda := 1$

perímetro crítico de punzonamiento $b_o := 2 \cdot (a_o + d_1) + 2 \cdot (b_o + d_1) = 3,08 \text{ m}$

relación del lado largo al lado corto de la columna $\beta := \frac{\text{lado largo col}}{\text{lado corto col}} = 1$

para columnas de interiores el valor es 40 $\alpha_s := 40$

ecuacion 1 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C1} := 1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 170,4113 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

ecuacion 2 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C2} := 0,53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 246,3217 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

ecuacion 3 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C3} := 0,27 \cdot \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d_1}{b_o}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 284,6492 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{C_P} := \text{Min}(V_{C1}; V_{C2}; V_{C3}) = 170,4113 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo capaz de resistir el concreto $\phi V_{C_P} := \phi_c \cdot V_{C_P} \cdot b_o \cdot d_1 = 145,65 \text{ tonnef}$

area de incidencia para punzonamiento $A_{ins_P} := A_s - ((a_o + d_1) \cdot (b_o + d_1)) = 3,8171 \text{ m}^2$

fuerza cortante de punzonamiento a una distancia "d/2" $q_{real_P} := \frac{q_{u_max} + q_{u_min}}{2} = 17,39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

cortante último de zapata $V_{U_P} := A_{ins_P} \cdot q_{real_P} = 66,3639 \text{ tonnef}$

Cortante ultimo

$$V_{U_P} = 66,36 \text{ tonnef}$$

Esfuerzo de corte capaz de resistir el hormigon

$$\phi V_{C_P} = 145,65 \text{ tonnef}$$

Figura 15. Cortante por punzonamiento, algoritmo, paso 6.

Se puede observar que se cumple la condición para el cortante por punzonamiento, ya que el cortante último (V_U) es menor o igual que el esfuerzo de corte que resiste el hormigón (ϕV_C).

Paso 7. Se procede a la verificación por aplastamiento de columna-zapata, para esto se identifican las áreas de columna y zapata, se determina la relación de área zapata/columna (r_1) esta relación no puede exceder de 2, el factor de reducción de

resistencia por aplastamiento (para columna estribada) es 0.65; posterior se determina la resistencia de aplastamiento de zapata (R_{zap}) y la resistencia de aplastamiento de la columna (R_{col}). La condición que se debe cumplir en este apartado es $R_{zap} > R_{col}$.

$$\begin{array}{l}
 \text{área de columna } A_1 := a_o \cdot b_o = 0,16 \text{ m}^2 \\
 \text{área de zapata } A_z = 4,41 \text{ m}^2 \\
 \text{relación área zapata/columna } r_1 := \sqrt{\frac{A_z}{A_1}} = 5,25 \\
 \text{la relación no puede exceder el valor de 2 } r_1 = 2 \\
 \text{factor de reducción de resistencia por aplastamiento (para columna estribada)} \phi_{ap} := 0,65 \\
 \text{resistencia de aplastamiento de zapata } R_{ZAP} := 0,85 \cdot \phi_{ap} \cdot f'c \cdot r_1 = 2652 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \\
 \text{resistencia de aplastamiento de la columna } R_{COL} := 0,85 \cdot \phi_{ap} \cdot f'c = 1326 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}
 \end{array}$$

Figura 16. Aplastamiento de columna-zapata, algoritmo, paso 7.

Paso 8. En este paso se procede al diseño del acero de refuerzo para la zapata. Al comienzo se identifica el peralte efectivo (d_1), recubrimiento (según ACI 3018-19 – apartado 20.5.1.3.1), diámetro de zapata a ser empleado (definido en el paso 1), el factor de resistencia por flexión, y la cuantía mínima para cimientos (según ACI 3018-19 – apartado 7.6.1.1), como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{l}
 \text{peralte efectivo estimado } d_1 := d_1 = 37 \text{ cm} \\
 \text{recubrimiento mínimo cimentaciones } rec = 7,5 \text{ cm} \quad \text{ACI - 20.5.1.3.1} \\
 \text{diámetro de refuerzo en zapata } \phi_z := pos_d_z = 16 \text{ mm} \\
 \text{factor de reducción de resistencia por flexión } \phi_f := 0,9 \\
 \text{cuantía mínima para zapatas } \rho := 0,0018 \quad \text{ACI - 7.6.1.1}
 \end{array}$$

Figura 17. Diseño de acero de refuerzo, algoritmo, paso 8.

En segundo lugar, se realiza el cálculo del acero longitudinal, donde se determina lo siguiente: distancia desde la cara de columna hasta cara del cimiento (X_1), esfuerzo en la cara de columna, momento de flexión, acero mínimo, acero requerido,

acero de diseño donde se toma el mayor valor entre acero mínimo y acero requerido. Posterior se calcula el área de varilla a usar, el número de varillas a colocar y la separación de las mismas que tiene que estar entre los límites de separación mínima y máxima.

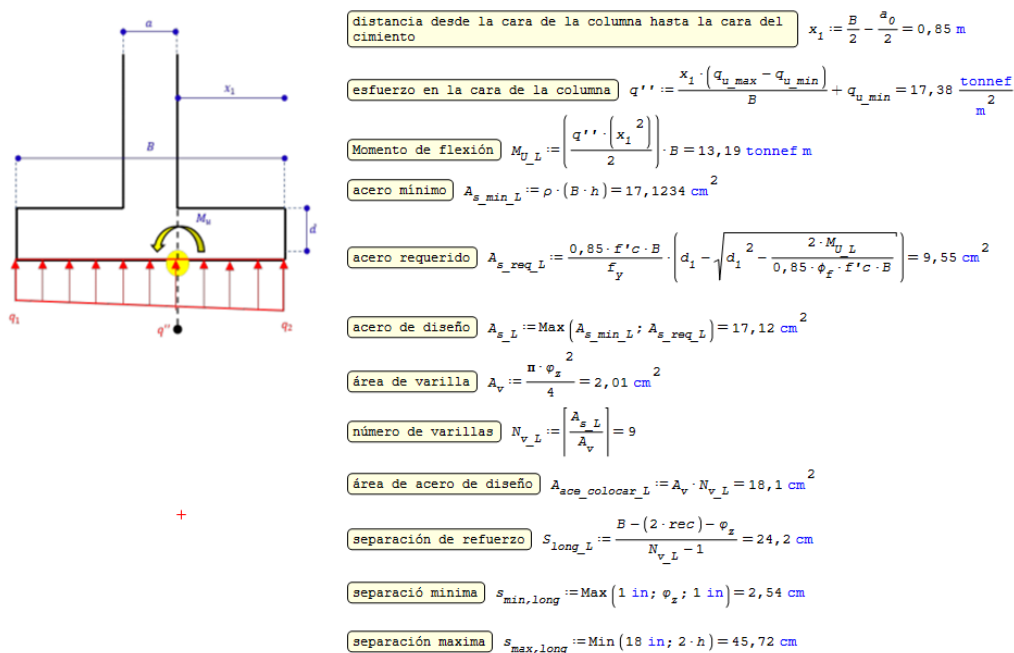


Figura 18. Diseño de acero de refuerzo longitudinal, algoritmo, paso 8.

Se verifica que se cumpla que el área de acero a colocar sea mayor que el acero requerido, también se revisa que la separación entre barras de acero cumpla con los límites estipulados anteriormente.

En tercer lugar, se realiza el cálculo del acero transversal, donde se determina lo siguiente: distancia desde la cara de columna hasta cara del cimientto (X_3), esfuerzo en la cara de columna, momento de flexión, acero mínimo, acero requerido, acero de diseño donde se toma el mayor valor entre acero mínimo y acero requerido. Posterior se calcula el área de varilla a usar, el número de varillas a colocar y la separación de las mismas que tiene que estar entre los límites de separación mínima y máxima.

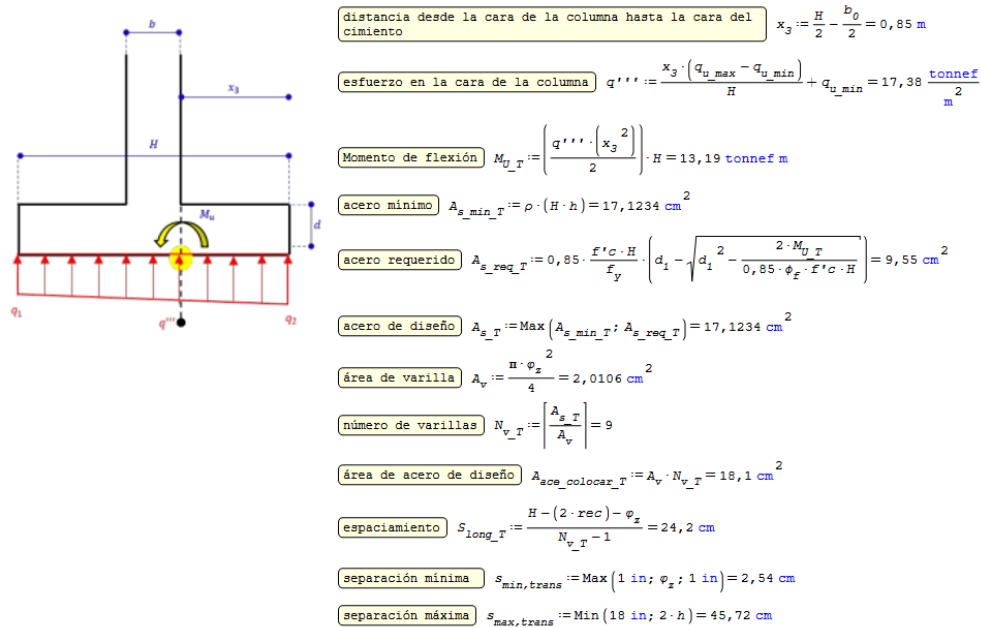


Figura 19. Diseño de acero de refuerzo transversal, algoritmo, paso 8.

Se verifica que se cumpla que el área de acero a colocar sea mayor que el acero requerido, también se revisa que la separación entre barras de acero cumpla con los límites estipulados.

Finalmente, se desarrolla el cálculo de la longitud de desarrollo, para ellos se determinan: el diámetro de varillas a usar, el factor de modificación según la ubicación del refuerzo cuyo valor es 1, el factor de modificación según recubrimiento epóxico (sin recubrimiento) cuyo valor es 1, el factor de modificación según el grado del acero (grado 420) cuyo valor es 1, el factor de modificación según el peso del concreto (peso normal) cuyo valor es 1. Posterior para hallar la longitud de desarrollo necesaria se presentan 2 expresiones (del ACI 318-19 tabla 25.4.2.3), la primera es cuando se tiene un diámetro de barra $\leq 20\text{mm}$ y la segunda cuando el diámetro de barra es $> 22\text{mm}$. Luego se procede a realizar la comparación entre la longitud de desarrollo y la longitud desde la cara de la columna hasta la cara de la zapata menos el recubrimiento, con esto se determina si se requieren ganchos a 90 grados.

condición a cumplir $l_{du_B} \geq l_d$

diámetro de barra de refuerzo en zapata $\phi_{1d} := \phi_z = 16 \text{ mm}$

factor de modificación - ubicación del refuerzo (menor a 300mm)

$$\Psi_t := 1$$

factor de modificación - recubrimiento epóxico (sin recubrimiento)

$$\Psi_e := 1$$

factor de modificación - grado del refuerzo (grado 420)

$$\Psi_g := 1$$

factor de modificación (peso del concreto: normal)

$$\lambda := 1$$

longitud de desarrollo para ϕ de barra $\leq 20\text{mm}$

$$l_{d_20} := \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_g}{6,6 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) \cdot \phi_{1d} = 65,7234 \text{ cm}$$

longitud de desarrollo para ϕ de barra $> 22\text{mm}$

$$l_{d_22} := \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_g}{5,3 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) \cdot \phi_{1d} = 81,8442 \text{ cm}$$

distancia desde la cara de columna hasta el filo de zapata (sentido B)

$$x_B := \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} = 0,85 \text{ m}$$

distancia desde la cara de columna hasta el filo de zapata (sentido H)

$$x_H := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} = 0,85 \text{ m}$$

long desarrollo última (sentido B) $l_{du_B} := (x_B - \text{rec}) = 77,5 \text{ cm}$

long desarrollo última (sentido H) $l_{du_H} := (x_H - \text{rec}) = 77,5 \text{ cm}$

Figura 20. Longitud de desarrollo, algoritmo, paso 8.

Como se muestra la longitud desde el borde la columna hasta el borde exterior de la zapata en sentido B (l_{du-B}) es mayor a la longitud de desarrollo obtenida (l_d), por ende, no se requiere gancho en este sentido. De igual manera se puede observar que en sentido H no se requieren ganchos.

Paso 9. Se procede a realizar la verificación de corte unidireccional.

Primero se realiza el cálculo necesario para el cortante unidireccional en dirección "X" que tiene que cumplir $V_U \leq \emptyset V_c$, se propone el factor de reducción de

resistencia para corte, se identifica el peralte efectivo (d), distancias necesarias (x_1 , x_2), determinación del esfuerzo actuante a una distancia “ d ”, cálculo del esfuerzo real, determinación del área de incidencia, se halla el cortante último en el cimiento y el esfuerzo capaz de resistir el corte del hormigón.

distancia desde la cara de la columna hasta la cara del cimiento	$x_1 := \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} = 85 \text{ cm}$
distancia desde q' hasta el lado exterior de la zapata	$x_2 := \left(\frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} - d_1 \right) = 48,3 \text{ cm}$
esfuerzo actuante a una distancia “ d ”	$q' := \frac{(q_{u_max} - q_{u_min}) \cdot (x_1 + d_1 + a_0)}{B} + q_{u_min} = 17,39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
esfuerzo real (promedio de cargas o esfuerzos)	$q_{real} := \frac{q' + q_{u_max}}{2} = 17,3959 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
Area de insidencia para el corte unidireccional	$A_{insidencia} := (x_2) \cdot H = 1,0143 \text{ m}^2$
cortante ultimo en zapata	$V_U := q_{real} \cdot A_{insidencia} = 17,6447 \text{ tonnef}$
cuantía de acero de refuerzo colocado	$\rho_w := \frac{A_{s_x}}{H \cdot d_1} = 0,0023$
esfuerzo cortante capaz de resistir el hormigon	$\phi V_c := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot H \cdot d_1 = 24,99 \text{ tonnef}$
Cortante último	
$V_{U_Cx} = 17,64 \text{ tonnef}$	
Esfuerzo de corte capaz de resistir el hormigón	
$\phi V_{C_Cx} = 24,99 \text{ tonnef}$	+

Figura 21. Corte unidireccional en dirección “X”, algoritmo, paso 9.

Como se puede observar se cumple la condición para el cortante unidireccional en dirección “X”, ya que el cortante último es menor o igual que el esfuerzo de corte que resiste el hormigón.

Luego se realiza el cálculo necesario para el cortante unidireccional en dirección “Y” que tiene que cumplir $V_U \leq \phi V_c$, se propone el factor de reducción de resistencia para corte, se identifica el peralte efectivo (d), distancias necesarias (x_1 , x_2), determinación del esfuerzo actuante a una distancia “ d ”, cálculo del esfuerzo real,

determinación del área de incidencia, se halla el cortante último en el cimiento (V_u) y el esfuerzo capaz de resistir el corte del hormigón (V_c).

distancia desde la cara de la columna hasta la cara exterior de la zapata	$x_3 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} = 85 \text{ cm}$
distancia desde "d" hasta la cara de la zapata	$x_4 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} - d_1 = 48,3 \text{ cm}$
esfuerzo actuante a una distancia "d"	$q'_y := \frac{(q_{u_max} - q_{u_min}) \cdot (x_3 + d_1 + b_0)}{H} + q_{u_min} = 17,39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
esfuerzo real (promedio de cargas o esfuerzos)	$q_{real} := \frac{q'_y + q_{u_max}}{2} = 17,3959 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
Area de insidencia para el corte unidireccional	$A_{insidencia} := (x_4) \cdot B = 1,0143 \text{ m}^2$
cortante ultimo en zapata	$V_u := q_{real} \cdot A_{insidencia} = 17,64 \text{ tonnef}$
cuantia de acero de refuerzo colocado	$\rho_w := \frac{A_{s_y}}{H \cdot d_1} = 0,0023$
esfuerzo cortante capaz de resistir el hormigon	$\phi V_c := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot H \cdot d_1 = 24,99 \text{ tonnef}$
Cortante último	$V_{u_cy} = 17,64 \text{ tonnef}$
Esfuerzo de corte capaz de resistir el hormigón	$\phi V_{c_cy} = 24,99 \text{ tonnef}$

Figura 22. Cortante unidireccional en dirección "Y", algoritmo, paso 9.

Como se puede observar se cumple la condición para el cortante unidireccional en dirección "Y", ya que el cortante último es menor o igual que el esfuerzo de corte que resiste el hormigón.

Paso 10. Finalmente, con todos los resultados obtenidos de pre dimensionamiento y acero de refuerzo se elabora un plano donde también se incluyen las cantidades de materiales que requerirá la zapata.

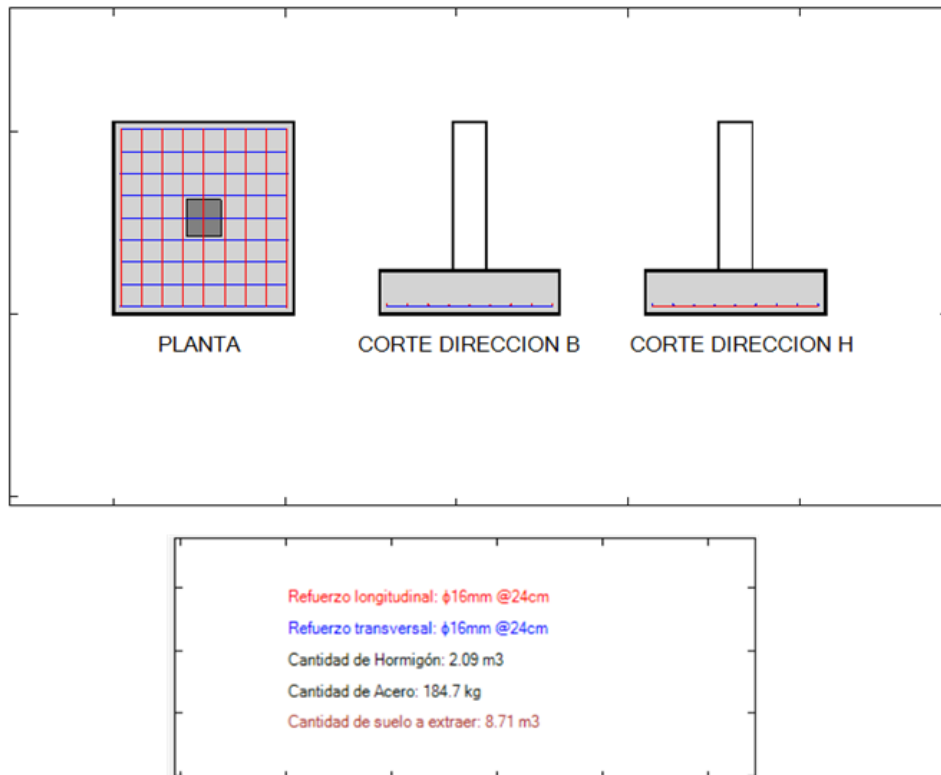
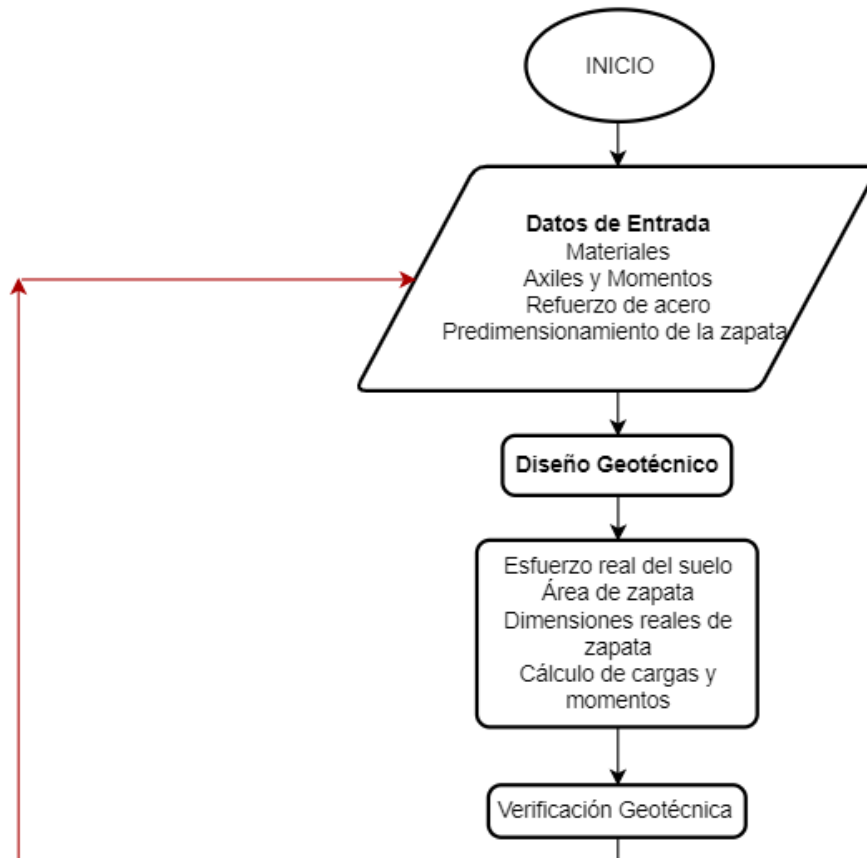
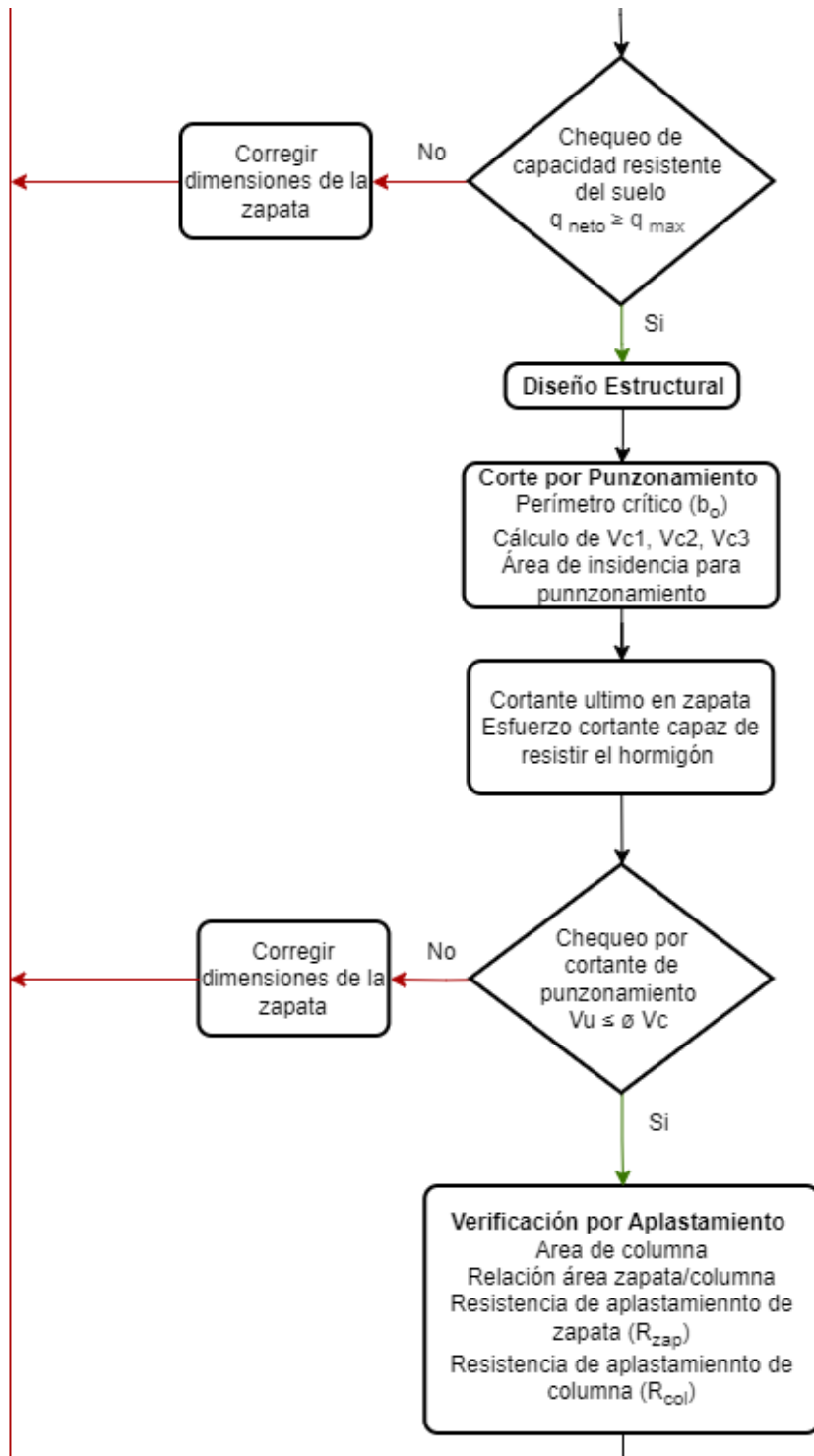
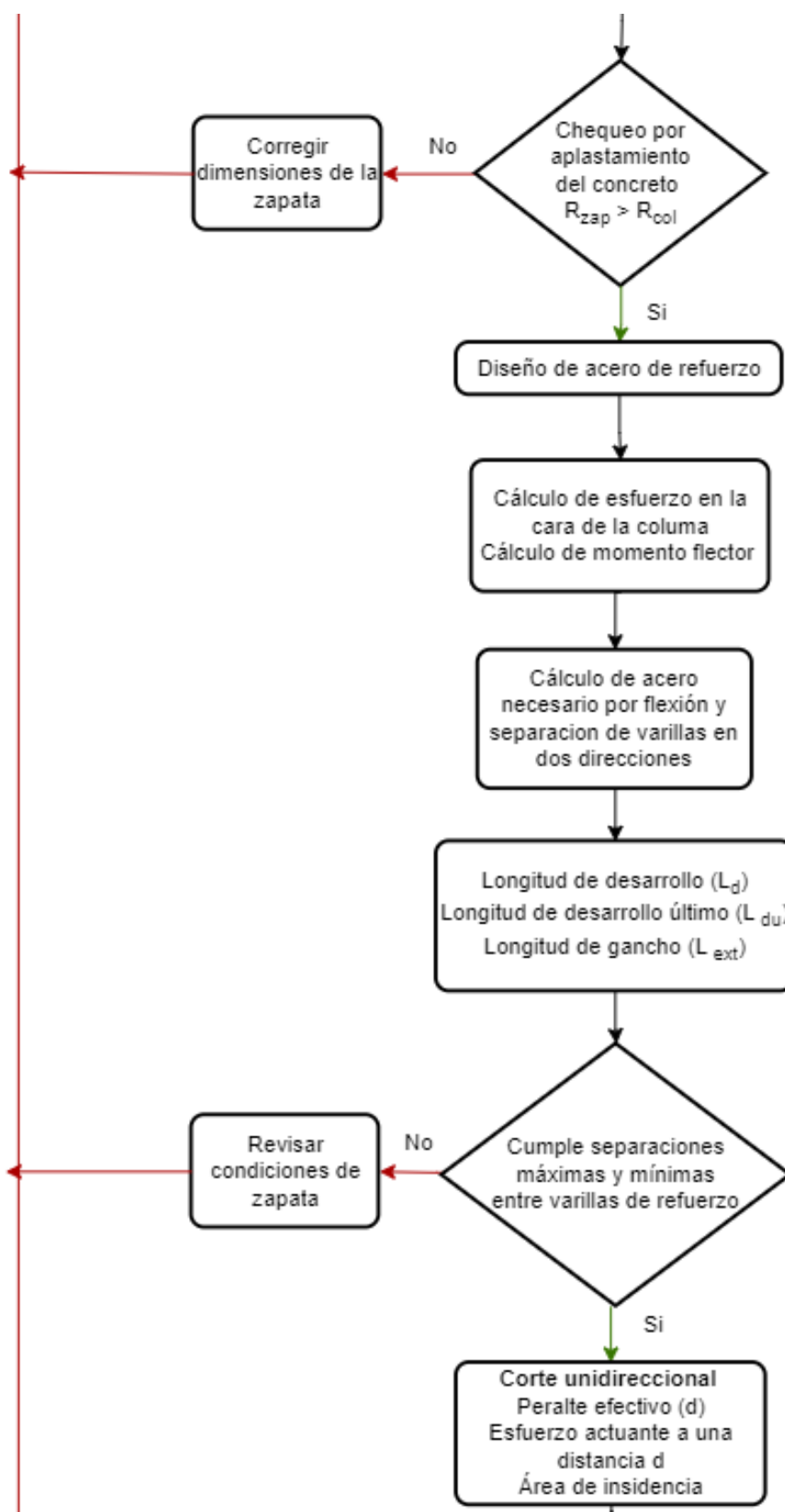


Figura 23. Plano, algoritmo, paso 10.

La elaboración del diagrama de flujo, el cual proporciona una visión clara de la secuencia y toma de decisiones que se deben seguir en el programa es el siguiente:







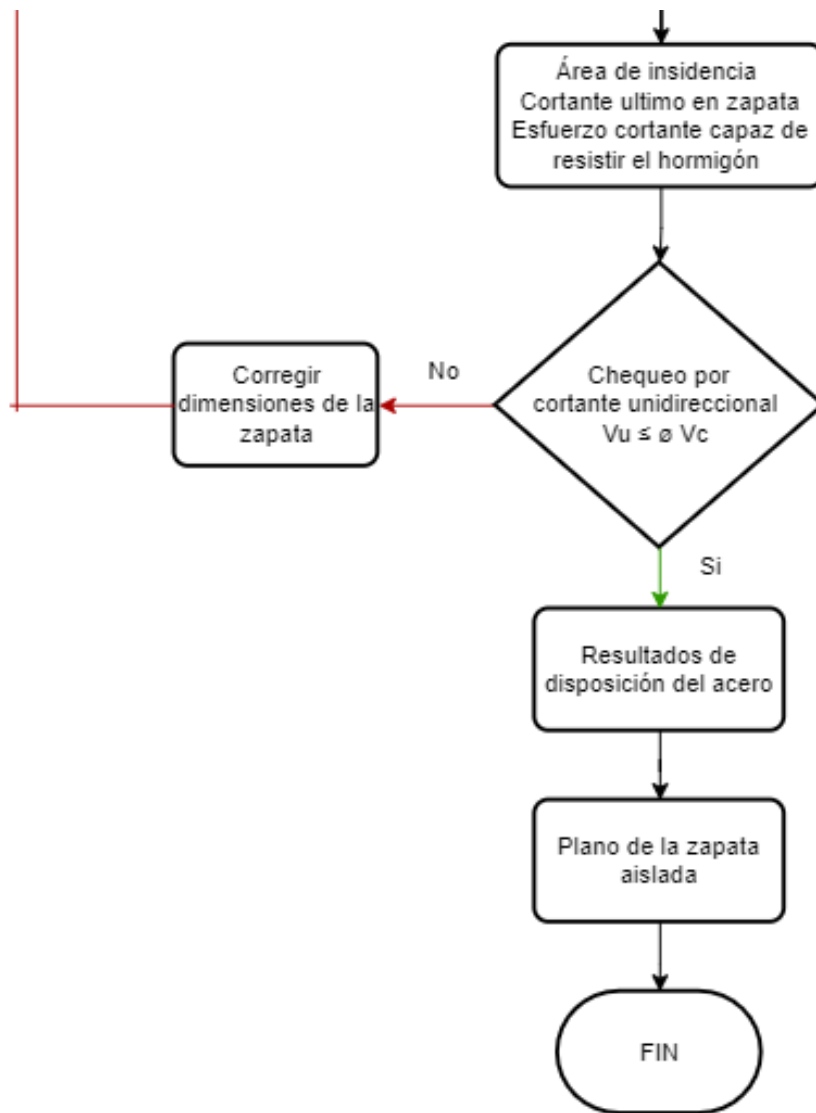


Figura 24. Diagrama de flujo del programa realizado por el autor.

Una vez definido el diagrama de flujo que se va a utilizar para desarrollar el programa, se empezó con la elaboración del mismo en el software Smath Studio.

Para que el programa tenga un fácil entendimiento de su uso, se dividió en varias pestañas que son: los datos de entrada, las verificaciones, datos de salida, plano y la guía del usuario; toda la programación que se hizo se encuentra en los anexos.



Figura 25. Pestañas que hay en el programa JPZAP.

En Smath Studio se procedió a iniciar con los datos de entrada que serán utilizados dentro del cálculo, como son las propiedades de los materiales, los axiles por carga viva, muerta, y de sismo, en caso de existir, seguido de sus respectivos momentos, las dimensiones del cimiento, las mismas que tienen un comentario para que se pueda realizar un dimensionamiento coherente, dimensiones de la columna, profundidad de desplante, para elección de estas varillas se realizó una lista desplegable con el comando *ComboBoxList*, la misma que contiene los diámetros de las varillas existentes en el mercado, se utilizó un catálogo de ADELCA (siderurgia en Ecuador). Además, se desarrolló la programación para tener un gráfico interactivo, que se vaya acoplando a las dimensiones del cimiento que se vayan ingresando.

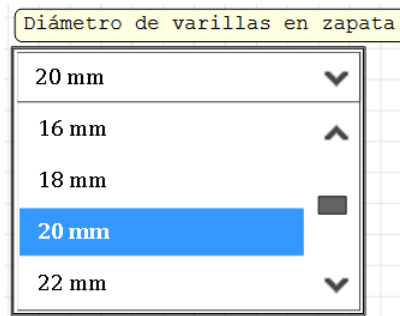


Figura 26. Lista desplegable con los diámetros de varillas.

Para realizar este gráfico, se empleó funciones para la creación de figuras en 2D como círculos, cuadrados, rectángulos y líneas rectas, que fueron hechas por Álvaro Gavilán Rojas, el cual es un ingeniero civil que genera videos tutoriales sobre el uso de Smath Studio en la plataforma YouTube.(Gavilán Rojas, 2020) Con estas funciones se realizó el gráfico que nos muestra con dimensiones reales como se dibuja la zapata aislada.

```

CreateRect (pp; lc; v; fc) := out_1 := "rect"
                          out_2 := pp
                          out_3 := lc
                          out_4 := "solid"
                          out_5 := v
                          out_6 := fc
                          out

CreateLine (pp; lc; v) := out_1 := "line"
                        out_2 := pp
                        out_3 := lc
                        out_4 := "solid"
                        out_5 := v
                        out

CreateCircle (pp; lc; v; fc) := out_1 := "circle"
                               out_2 := pp
                               out_3 := lc
                               out_4 := "solid"
                               out_5 := v
                               if fc = "none"
                               1
                               else
                               out_6 := fc
                               out

```

Figura 27. Funciones para crear figuras en 2D.

En todo el proceso de programación, se empleará el comando "line", el cual posibilita que los cálculos necesarios se encuentren en una sola línea de código. Este comando tiene la función de mantener organizados un conjunto de comandos dentro de una estructura secuencial en la programación, garantizando una ejecución ordenada de los pasos de cálculo. (Urroz, 2012)

Verificación al cortante en x

$$\phi_c := 0,75$$

$$d_1$$

$$\lambda := 1$$

$$x_2 := \left(\frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} - d_1 \right)$$

$$q'_x := \frac{(q_{u_max} - q_{u_min}) \cdot (x_2)}{B} + q_{u_min}$$

$$q_{real_x} := \frac{q'_x + q_{u_max}}{2}$$

$$A_{insidencia_x} := \left(\frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} - d_1 \right) \cdot H$$

$$V_{U_Cx} := q_{real_x} \cdot A_{insidencia_x}$$

$$\rho_W := \frac{A_{s_x}}{H \cdot d_1}$$

$$\phi V_{C_Cx} := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_W)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c \frac{kgf}{cm^2}} \cdot H \cdot d_1$$

$$\text{if } V_{U_Cx} \leq \phi V_{C_Cx}$$

Figura 28. Línea de programación para calcular el cortante en sentido x.

Verificación al cortante en y

$$\phi_c := 0,75$$

$$d_1$$

$$\lambda := 1$$

$$x_3 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2}$$

$$x_4 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} - d_1$$

$$q'_y := \frac{(q_{u_max} - q_{u_min}) \cdot (x_3)}{H} + q_{u_min}$$

$$q_{real_y} := \frac{q'_y + q_{u_max}}{2}$$

$$A_{insidencia_y} := \left(\frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} - d_1 \right) \cdot B$$

$$V_{U_Cy} := q_{real_y} \cdot A_{insidencia_y}$$

$$\rho_W := \frac{A_{s_y}}{H \cdot d_1}$$

$$\phi V_{C_Cy} := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_W)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c \frac{kgf}{cm^2}} \cdot B \cdot d_1$$

$$\text{if } V_{U_Cy} \leq \phi V_{C_Cy}$$

Figura 29. Línea de programación para calcular el cortante en sentido y.

Después de esto, el proceso continúa, en esta sección, se aborda el cortante por punzonamiento, comenzando con el perímetro crítico. En esta parte, se involucra

también la consideración del peralte efectivo, así como el factor de reducción de resistencia para corte. En este punto, se emplea la instrucción "if", una estructura de control de flujo condicional. Esta instrucción posibilita que el programa ejecute un conjunto de comandos si se cumple una determinada condición. Si la condición no se cumple, el programa ejecutará otro conjunto de comandos o simplemente omitirá dichas instrucciones si la condición no es verdadera.

```

Verificacion al punzonamiento
phi_c := 0,75
d1
lambda := 1
bo := 2 * (a0 + d1) + 2 * (b0 + d1)
lambda_s := sqrt(2 / (1 + (0,04 * d1 / cm)))
Vc1 := 1,1 * lambda * lambda_s * sqrt(f'c * kgf / cm^2)
beta := a0 / b0
Vc2 := 0,53 * (1 + 2 / beta) * lambda * lambda_s * sqrt(f'c * kgf / cm^2)
alpha_s := 40
Vc3 := 0,27 * (2 + alpha_s * d1 / b0) * lambda * lambda_s * sqrt(f'c * kgf / cm^2)
Vc_p := Min(Vc1 ; Vc2 ; Vc3)
phi_Vc_p := phi_c * Vc_p * bo * d1
Vu_p := Pu - ((qu_max + qu_min) / 2) * ((a0 + d1) * (b0 + d1))
if Vu_p <= phi_Vc_p
    "NO FALLA POR PUNZONAMIENTO"
else
    "FALLA POR PUNZONAMIENTO"

```

Figura 30. Comando if.

Una vez calculado el corte unidireccional, y el corte en dos direcciones o punzonamiento, se realiza el cálculo de refuerzo de acero en la zapata, en donde también se emplea el comando “line” para generar una secuencia ordenada de los cálculos necesarios, tanto para el refuerzo longitudinal como transversal.

Acero longitudinal

$$x_1 := \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2}$$

$$q''' := \frac{x_1 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{B} + q_{u_min}$$

$$M_{U_L} := \left(\frac{q''' \cdot (x_1^2)}{2} \right) \cdot B$$

$$A_{s_min_L} := \rho \cdot (B \cdot h)$$

$$A_{s_req_L} := 0,85 \cdot \frac{f'c \cdot B \cdot d_1}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{U_L}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot B \cdot d_1^2}} \right)$$

$$A_{s_L} := \text{Max} (A_{s_min_L}; A_{s_req_L})$$

$$A_v := \frac{n \cdot \phi_z^2}{4}$$

$$N_{v_L} := \left\lceil \frac{A_{s_L}}{A_v} \right\rceil$$

$$A_{ace_colocar_L} := A_v \cdot N_{v_L}$$

$$S_{long_L} := \frac{B - (2 \cdot rec) - \phi_z}{N_{v_L} - 1}$$

$$s_{min, long} := \text{Max} (1 \text{ in}; \phi_z; 1 \text{ in})$$

$$s_{max, long} := \text{Min} (18 \text{ in}; 2 \cdot h)$$

Figura 31. Cálculo de acero de refuerzo longitudinal.

Acero transversal

$$x_3 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2}$$

$$q'''' := \frac{x_3 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{H} + q_{u_min}$$

$$M_{U_T} := \left(\frac{q'''' \cdot (x_3^2)}{2} \right) \cdot H$$

$$A_{s_min_T} := \rho \cdot (H \cdot h)$$

$$A_{s_req_T} := 0,85 \cdot \frac{f'c \cdot H \cdot d_1}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{U_T}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot H \cdot d_1^2}} \right)$$

$$A_{s_T} := \text{Max} (A_{s_min_T}; A_{s_req_T})$$

$$A_v := \frac{n \cdot \phi_z^2}{4}$$

$$N_{v_T} := \left\lceil \frac{A_{s_T}}{A_v} \right\rceil$$

$$A_{ace_colocar_T} := A_v \cdot N_{v_T}$$

$$S_{long_T} := \frac{H - (2 \cdot rec) - \phi_z}{N_{v_T} - 1}$$

$$s_{min, trans} := \text{Max} (1 \text{ in}; \phi_z; 1 \text{ in})$$

$$s_{max, trans} := \text{Min} (18 \text{ in}; 2 \cdot h)$$

Figura 32. Cálculo de acero de refuerzo transversal.

Como parte del cálculo del acero de refuerzo, se determina la longitud de desarrollo, en donde también se verifica si en la zapata aislada deben colocarse ganchos o no.

```

Ψc
Ψe
Ψg
λ
if ϕ1d ≤ 20 mm
  ld_B := ld_ϕ20
else
  ld_B := ld_ϕ22
end
xB
xH
ldu_B
ldu_H
if ldu_B ≥ ld_B
  GB := "CUMPLE PARA EL LADO B"
else
  GB := "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO B"
if GB = "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO B"
  ldh_B := (xB - rec)
  lext_B := ld_B - ldu_B
else
  lext_B := 0

```

Figura 33. Longitud de desarrollo para lado B.

```

Ψc
Ψe
Ψg
λ
if ϕ1d ≤ 20 mm
  ld_H := ld_ϕ20
else
  ld_H := ld_ϕ22
end
xB
xH
ldu_B
ldu_H
if ldu_H ≥ ld_H
  GH := "CUMPLE PARA EL LADO H"
else
  GH := "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO H"
if GH = "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO H"
  ldh_H := (xH - rec)
  lext_H := ld_H - ldu_H
else
  lext_H := 0

```

Figura 34. Longitud de desarrollo para lado H.

Las verificaciones por corte unidireccional, para las direcciones “X” y “Y”, corte en dos direcciones o punzonamiento, aplastamiento del suelo, aplastamiento del concreto y separaciones de varillas tanto de acero longitudinal como transversal. En la segunda pestaña del programa, se indica si se cumplen las verificaciones o si por el contrario es necesario realizar correcciones en las dimensiones de la zapata aislada. Para esto, se utiliza una tabla donde se muestra si las verificaciones se cumplen o no. Para generar dicha tabla, debemos realizar una matriz. En la primera columna de la matriz se introduce el tipo de verificación que se está realizando, en la segunda columna se emplea el comando “contat” para poder visualizar el resultado en forma de número, en la última columna se introduce la estructura de la verificación. Para este caso, se emplea el comando “try” para comprobar si la verificación es verdadera o falsa. Si la verificación es verdadera, se muestra la respuesta "Cumple"; de lo contrario, se muestra "Revisar", si ninguna de las anteriores es cierta se muestra “error”.

"Chequeo Geotécnico (Capacidad resistente del suelo)"	concat (""; "q_max: "; var2str ($\frac{q_{max}}{tonnef}$; 2); " ≤ q_adm: "; var2str ($\frac{q_{real,suelo}}{tonnef}$; 2); " tonnef/m^2")	
"Chequeo por Cortante en una Direccion"	concat (""; "Vu_x: "; var2str ($\frac{V_{U,Cx}}{tonnef}$; 2); " ≤ φVc_x: "; var2str ($\frac{\phi V_{C,Cx}}{tonnef}$; 2); " tonnef") concat (""; "Vu_y: "; var2str ($\frac{V_{U,Cy}}{tonnef}$; 2); " ≤ φVc_y: "; var2str ($\frac{\phi V_{C,Cy}}{tonnef}$; 2); " tonnef")	try if $q_{real,suelo} > q_{max}$ "Cumple" else "Revisar" on error "error3"
"Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)"	concat (""; "Vu: "; var2str ($\frac{V_{U,P}}{tonnef}$; 2); " ≤ φVc: "; var2str ($\frac{\phi V_{C,P}}{tonnef}$; 2); " tonnef")	try if $(V_{U,Cx} \leq \phi V_{C,Cx}) \wedge (V_{U,Cy} \leq \phi V_{C,Cy})$ "Cumple" else "Revisar" on error "error1"
"Chequeo por Aplastamiento del concreto"	concat (""; "N_actuante: "; var2str ($\frac{R_{COL}}{tonnef}$; 2); " < N_resistente: "; var2str ($\frac{R_{ZAP}}{tonnef}$; 2); " tonnef/m^2")	try if $V_{U,P} \leq \phi V_{C,P}$ "Cumple" else "Revisar" on error "error2"
"Separacion de varillas en sentido B"	concat (""; var2str ($\frac{S_{min,long}}{cm}$; 2); " cm"; " < "; var2str ($\frac{S_{long,L}}{cm}$; 0); " cm"; " ≤ "; var2str ($\frac{S_{max,long}}{cm}$; 2); " cm")	try if $R_{ZAP} > R_{COL}$ "Cumple" else "Revisar" on error "error3"
"Separacion de varillas en sentido H"	concat (""; var2str ($\frac{S_{min,trans}}{cm}$; 2); " cm"; " < "; var2str ($\frac{S_{long,T}}{cm}$; 0); " cm"; " ≤ "; var2str ($\frac{S_{max,trans}}{cm}$; 2); " cm")	try if $(S_{long,L} > S_{min,long}) \wedge (S_{long,L} < S_{max,long})$ "Cumple" else "Revisar" on error "error4"
		try if $(S_{long,T} > S_{min,trans}) \wedge (S_{long,L} < S_{max,trans})$ "Cumple" else "Revisar" on error "error5"

Figura 35. Matriz para las verificaciones.

Chequeo Geotécnico (Capacidad resistente del suelo)	$q_{\text{max}}: 13.47 \leq q_{\text{adm}}: 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Chequeo por Cortante en una Dirección	$V_{u_x}: 17.64 \leq \phi V_{c_x}: 24.99 \text{ tonnef}$	Cumple
	$V_{u_y}: 17.64 \leq \phi V_{c_y}: 24.99 \text{ tonnef}$	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	$V_u: 66.44 \leq \phi V_c: 143.91 \text{ tonnef}$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	$N_{\text{actuante}}: 1326.00 < N_{\text{resistente}}: 2652.00 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple

Figura 36. Tabla de verificaciones.

En la siguiente parte o pestaña del programa llamada datos de salida se pueden visualizar resultados más relevantes del diseño en forma de tabla, estos resultados se los han dividido en tres partes. En la primera categoría se visualizan características de la zapata como las dimensiones de la zapata aislada, diferentes parámetros como área del cimientto, peralte efectivo, recubrimiento. En la siguiente parte se muestran resultados para el refuerzo de acero como diámetro de varilla usado, separaciones, longitudes de desarrollo y longitudes de ganchos. En la última parte se muestra un dibujo para poder distinguir de mejor manera las dimensiones tanto del cimientto como de la columna. Todos estos resultados deben ir dentro de una matriz, para insertar la tabla de resultados se emplea el comando *Ctrl + Shift + T*, en la parte de datos de entrada se escribe el nombre que se ha puesto en las matrices correspondientes.

$$\text{caract} := \left[\begin{array}{l} \text{"DIMENSIONES DE ZAPATA"} \\ \text{"OTROS PARAMETROS"} \end{array} \left[\begin{array}{l} \text{"Sentido B"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{B}{m}; 2 \right); \text{" m"} \right) \\ \text{"Sentido H"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{H}{m}; 2 \right); \text{" m"} \right) \\ \text{"Espesor de zapata (h)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\left| \frac{h}{\text{cm}} \right|; 0 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Area de zapata"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{A_z}{\text{m}^2}; 2 \right); \text{" m}^2 \right) \\ \text{"Peralte efectivo de zapata (d)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\left| \frac{d}{\text{cm}} \right|; 0 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Recubrimiento usado"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{\text{rec}}{\text{cm}}; 1 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Peso especifico del hormigón"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{V_{ho}}{\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}; 0 \right); \text{" kg/m}^3 \right) \end{array} \right]$$

Figura 37. Matriz de las características en los datos de salida.

$$\text{acero_refuer} := \left[\begin{array}{l} \text{"ACERO LONGITUDINAL (B)"} \\ \text{"ACERO TRANSVERSAL (H)"} \end{array} \left[\begin{array}{l} \text{"Número de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} (N_{v_L}); \right) \\ \text{"Diámetro de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} \left(\frac{\phi_s}{\text{mm}} \right); \text{" mm"} \right) \\ \text{"Separación de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} \left(\left| \frac{S_{long_L}}{\text{cm}} \right| \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Longitud de desarrollo (Ld)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{d_B}}{\text{cm}}; 2 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"(Ldh)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{du_B}}{\text{cm}}; 2 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Longitud de gancho (Lext)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{ext_B}}{\text{cm}}; 1 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Número de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} (N_{v_T}); \right) \\ \text{"Diámetro de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} \left(\frac{\phi_s}{\text{mm}} \right); \text{" mm"} \right) \\ \text{"Separación de varillas"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{num2str} \left(\left| \frac{S_{long_T}}{\text{cm}} \right| \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Longitud de desarrollo (Ld)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{d_H}}{\text{cm}}; 2 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"(Ldh)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{du_H}}{\text{cm}}; 2 \right); \text{" cm"} \right) \\ \text{"Longitud de gancho (Lext)"} \quad \text{concat} \left(\text{" "}; \text{var2str} \left(\frac{l_{ext_H}}{\text{cm}}; 1 \right); \text{" cm"} \right) \end{array} \right]$$

Figura 38. Matriz del acero de refuerzo en los datos de salida.

CARACTERÍSTICAS DE ZAPATA

DIMENSIONES DE ZAPATA	Sentido B	2.10 m
	Sentido H	2.10 m
	Espesor de zapata (h)	48 cm
OTROS PARAMETROS	Area de zapata	4.41 m ²
	Peralte efectivo de zapata (d)	39 cm
	Recubrimiento usado	7.5 cm
	Peso específico del hormigón	2400 kg/m ³

Figura 39. Tabla de las características de la zapata.

REFUERZO DE ACERO

ACERO LONGITUDINAL (B)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm
ACERO TRANSVERSAL (H)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm

Figura 40. Tabla de resultados del refuerzo de acero.

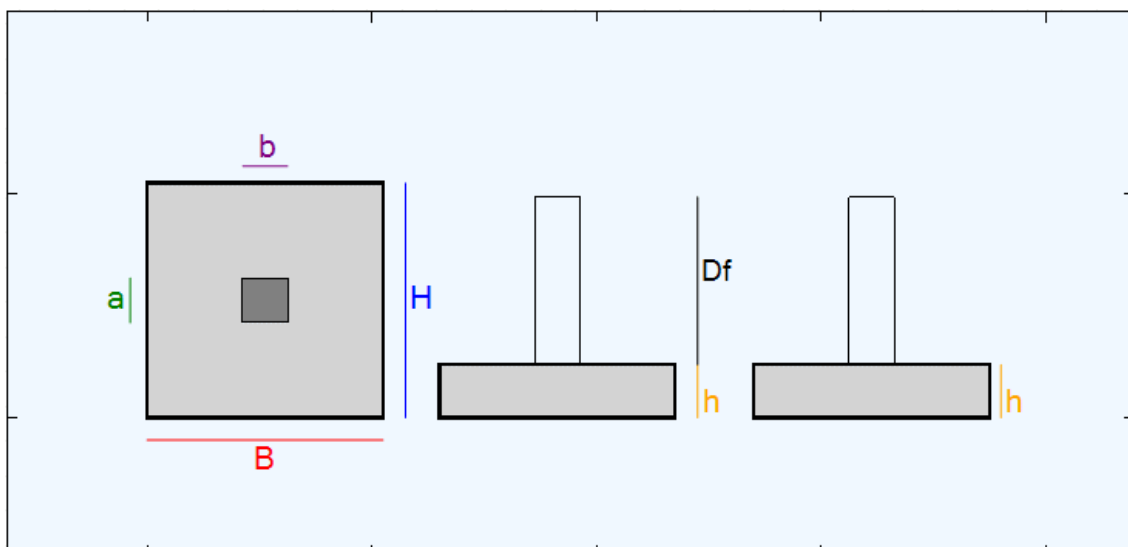


Figura 41. Gráfico en datos de salida.

En la creación del plano final de la zapata aislada central, se va a realizar tres vistas, que son: vista en planta, corte A-A y corte B-B en cada una de estas proyecciones o vistas se va a incluir la disposición de las varillas de refuerzo en el cimiento, para desarrollar la forma de la zapata y el refuerzo de acero se hacen uso las funciones antes dichas de las figuras geométricas elaboradas por Álvaro Gavilán, el acero de refuerzo se grafica en las dos direcciones, es decir, de forma longitudinal y transversal, con colores diferentes para que se pueda apreciar de una mejor manera. Para el acero, se utiliza un bucle con el comando “for”, este nos ayudará a graficar la disposición de las varillas con su respectivo diámetro y separación, teniendo en cuenta también el número de varillas que se va a colocar en cada dirección de la base de la zapata aislada.

```

for i ∈ [1..NVL]
  armado_a_i := CreateLine ( stack (  $\frac{B}{2} - \frac{(N_{V_L} + 1) \cdot S_{long\_L}}{2} + (i) \cdot S_{long\_L}$ ; rec;  $\frac{B}{2} - \frac{(N_{V_L} + 1) \cdot S_{long\_L}}{2} + (i) \cdot S_{long\_L}$ ; H - rec ); "red"; 1 )
armado_a

for i ∈ [1..NVT]
  armado_b_i := CreateLine ( stack ( rec;  $\frac{H}{2} - \frac{(N_{V_T} + 1) \cdot S_{long\_T}}{2} + (i) \cdot S_{long\_T}$ ; B - rec;  $\frac{H}{2} - \frac{(N_{V_T} + 1) \cdot S_{long\_T}}{2} + (i) \cdot S_{long\_T}$  ); "blue"; 1 )
armado_b

```

Figura 42. Bucle “for” para el acero en planta.

```

for i ∈ [1..NVL]
  armado_b_i := CreateCircole ( stack (  $x_0 + \frac{B}{2} - \frac{(N_{V_L} - 1) \cdot S_{long\_L}}{2} + (i - 1) \cdot S_{long\_L}$ ; rec + 1, 5 · φz;  $\frac{\varphi_z}{2}$  ); "red"; 1; "red" )
armado_b

```

Figura 43. Bucle “for” para el acero en corte A-A.

```

for i ∈ [1..NVT]
  armado_a_i := CreateCircole ( stack (  $x_1 + \frac{H}{2} - \frac{(N_{V_T} - 1) \cdot S_{long\_T}}{2} + (i - 1) \cdot S_{long\_T}$ ; rec + 1, 5 · φz;  $\frac{\varphi_z}{2}$  ); "blue"; 1; "blue" )
armado_a

```

Figura 44. Bucle “for” para el acero en corte B-B.

$$\text{títulos} := \begin{bmatrix} \frac{B}{2} - \frac{v_a}{1,5} - 0,2 \text{ m} & \text{"PLANTA"} & 8 \text{ "black"} \\ x_0 - \frac{v_a}{3} - 0,2 & \text{"CORTE DIRECCION B"} & 8 \text{ "black"} \\ x_1 - \frac{v_b}{4} - 0,2 & \text{"CORTE DIRECCION H"} & 8 \text{ "black"} \end{bmatrix}$$

Figura 45. Matriz para títulos del plano.

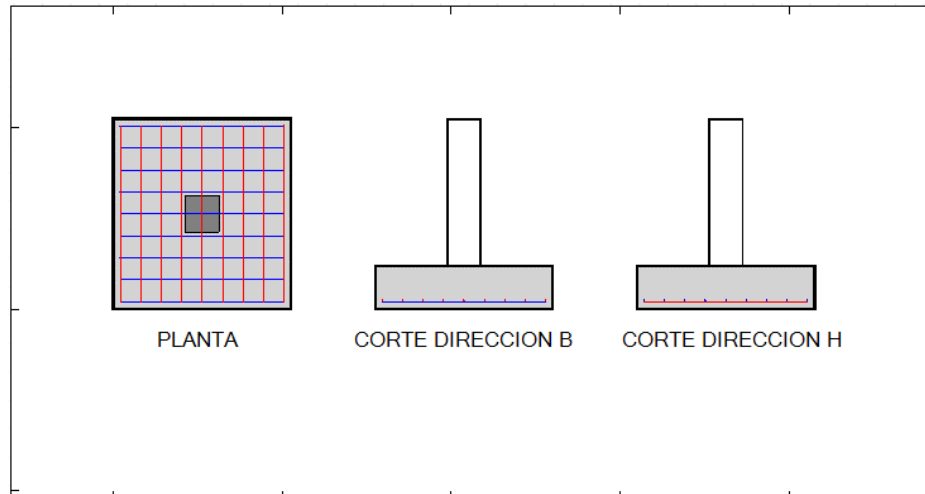


Figura 46. Plano final.

Después de realizar el plano, se hace una planilla en donde se especifica los colores del refuerzo en cada dirección, además, se incluye el diámetro de las barras de acero que se usa, así como la separación entre las mismas, por otro lado, se dan a conocer las cantidades de materiales por metro de longitud que tendrá el cimiento.

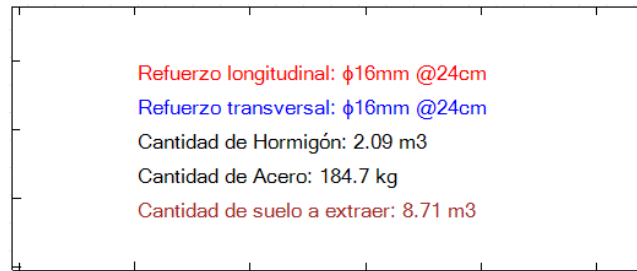


Figura 47. Datos finales de la zapata aislada.

En la sección final del programa, se introduce la guía del usuario. Aquí se detallan las distintas partes del programa, su aplicación y cómo revisar cada una de las pestañas que componen el programa. Esto incluye la entrada de datos sobre los materiales que conformarán la zapata aislada, las barras de refuerzo que se emplearán, así como las dimensiones de la base del cimiento, dimensiones de columna, altura de zapata. La pestaña de verificaciones explica las acciones que se llevarán a cabo dependiendo de si se cumplen o no ciertas condiciones, junto con las posibles soluciones para los problemas detectados. La pestaña de Datos de Salida presentará información sobre las dimensiones finales del cimiento, factores o parámetros tomados en consideración, el refuerzo de acero, incluyendo detalles como el diámetro, separación, longitud de desarrollo y longitud del gancho. Además, se presenta un gráfico para mejor comprensión de las dimensiones. La sección de Plano contendrá un esquema ilustrativo de las dimensiones del cimiento diseñado, además de mostrar la disposición del acero de refuerzo en la estructura, la cantidad requerida de hormigón y acero.

Después de finalizar el proceso de creación del software destinado a la verificación y dimensionamiento básico de zapata aislada central, se procede a seleccionar un nombre adecuado. La elección recayó en el término 'zap', que son las primeras letras de la palabra zapata, este término se combinó con las iniciales del

nombre por el cual el autor es reconocido. Así es como se consiguió el nombre 'JPZAP'."

Verificaciones.

Verificación por Cortante en una dirección.

El chequeo se realiza para verificar que el cortante último en la sección crítica sea menor o igual a la resistencia de corte del concreto. Es una verificación importante para asegurarse de que la sección crítica del cimiento tenga la capacidad de resistir el cortante máximo que actúa sobre ella sin superar la capacidad de corte del concreto, lo que garantiza la seguridad y estabilidad de la estructura.

Verificación por Cortante en dos direcciones o Punzonamiento.

Hace referencia al fenómeno en el que la zapata trata de fallar por una superficie en forma de pirámide, como respuesta a la carga vertical que le transfiere la columna o pedestal. Esta forma de falla ocurre debido a los esfuerzos cortantes alrededor del perímetro de la columna, que pueden concentrarse en una superficie piramidal dentro de la zapata. Es importante tener en cuenta este fenómeno durante el diseño y análisis de cimentaciones para garantizar su estabilidad y seguridad ante las cargas transmitidas por las columnas.(Garza Vasquez, 2000)

Verificación por Aplastamiento.

Esta acción se refiere a la unión entre la columna y el cimiento, y ocurre cuando la resistencia nominal del concreto en la zapata es mayor que la resistencia nominal del concreto a compresión de la columna. En esta situación, la resistencia de la zapata es suficiente para soportar la carga de la columna, caso contrario, se puede dar lugar a una falla en la unión columna-cimiento. Es fundamental asegurarse de que la resistencia del concreto en la zapata sea adecuada para resistir las cargas de la columna y garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura. (Barrera Romero, 2022)

Capítulo 4

Resultados y discusión.

Después de crear el programa y verificar su funcionamiento utilizando varios ejemplos, se logró obtener la versión definitiva del programa con el siguiente formato (los datos de entrada y resultados mostrados en las figuras siguientes corresponden a un ejemplo tomado de la bibliografía usada en esta investigación):

DATOS DE ENTRADA	VERIFICACIONES	DATOS DE SALIDA	PLANO	GUIA DE USUARIO
ZAPATA AISLADA CENTRAL				
ESTE PROGRAMA SE DISTRIBUYE "TAL CUAL". NO SE OFRECE NINGÚN TIPO DE GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA. USTED UTILIZA EL PROGRAMA BAJO SU PROPIA RESPONSABILIDAD.				
Autores:				
Jonnathan Paul Criollo Chimbo				
Eduardo Palma				
MATERIALES				
Esfuerzo admisible del Suelo, q_{adm}	1.8	kgf/(cm ²)		
Resistencia del hormigón, f_c	240	kgf/(cm ²)		
Resistencia del acero, f_y	4200	kgf/(cm ²)		
Peso específico del suelo, γ_{suelo}	1800	kgf/(m ³)		
CARGAS Y MOMENTOS				
Axil por Carga muerta	43.76	tonnef		
Axil por Carga viva	15.1	tonnef		
Axil por Carga sísmica	0	tonnef		
Momento por carga muerta en x	-0.08	tonnef m		
Momento por carga muerta en y	-0.03	tonnef m		
Momento por carga viva en x	-0.11	tonnef m		
Momento por carga viva en y	0.01	tonnef m		
Momento por carga sísmica en x	0	tonnef m		
Momento por carga sísmica en y	0	tonnef m		

Figura 48. Primera parte de la ventana de los Datos de Entrada.

DIMENSIONES

Base de zapata (mínimo 1m), B m

Ancho de zapata (mínimo 1m), H m

Altura estimada de zapata (mínimo 30cm), h cm

Base de columna, b m

Ancho de columna, a m

Profundidad de desplante (mínimo 1m), Df m

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata

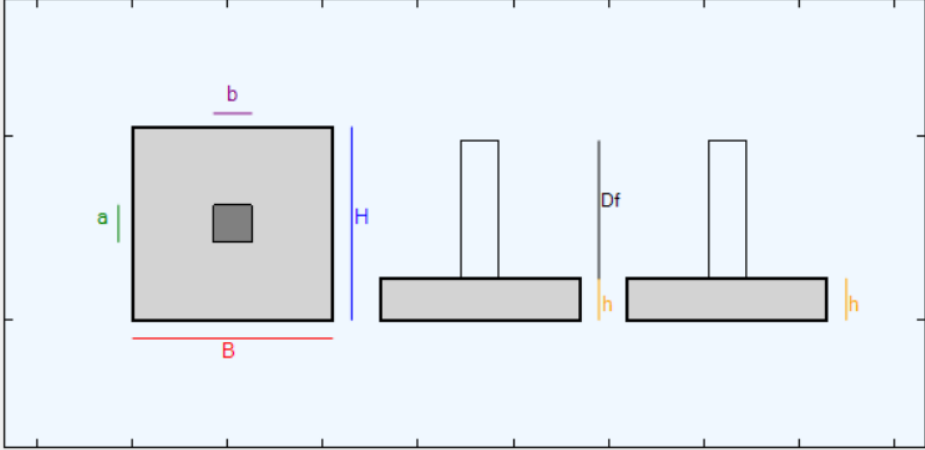


Figura 49. Segunda parte de la ventana de los Datos de Entrada y gráfico de dimensiones.

DATOS DE ENTRADA VERIFICACIONES DATOS DE SALIDA PLANO GUIA DE USUARIO

VERIFICACIONES

Chequeo Geotécnico (Capacidad resistente del suelo)	$q_{max}: 13.47 \leq q_{adm}: 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Chequeo por Cortante en una Direccion	$Vu_x: 17.64 \leq \phi Vc_x: 24.99 \text{ tonnef}$	Cumple
	$Vu_y: 17.65 \leq \phi Vc_y: 24.99 \text{ tonnef}$	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	$Vu: 66.44 \leq \phi Vc: 143.91 \text{ tonnef}$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	$N_{actuante}: 1326.00 < N_{resistente}: 2652.00 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple

Figura 50. Ventana de verificaciones.

DATOS DE ENTRADA	VERIFICACIONES	DATOS DE SALIDA	PLANO	GUIA DE USUARIO
CARACTERISTICAS DE ZAPATA				
DIMENSIONES DE ZAPATA	Sentido B	2.10 m		
	Sentido H	2.10 m		
	Espesor de zapata (h)	45 cm		
OTROS PARAMETROS	Area de zapata	4.41 m ²		
	Peralte efectivo de zapata (d)	37 cm		
	Recubrimiento usado	7.5 cm		
	Peso especifico del hormigón	2400 kg/m ³		

Figura 51. Primera parte de la ventana de Datos de Salida.

REFUERZO DE ACERO		
ACERO LONGITUDINAL (B)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm
ACERO TRANSVERSAL (H)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm

Figura 52. Segunda parte de la ventana de Datos de Salida.

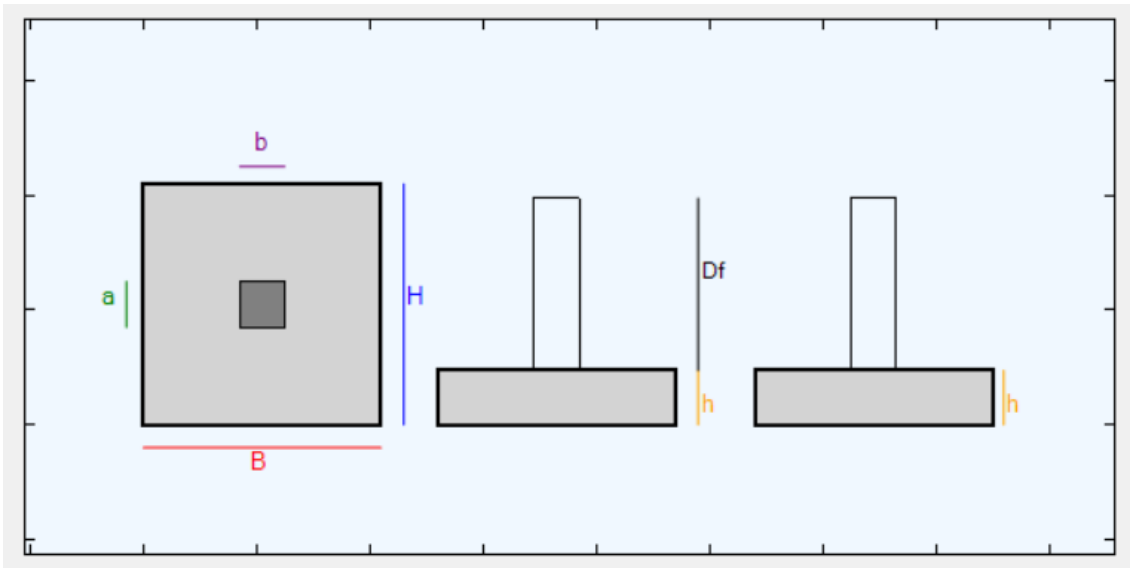


Figura 53. Gráfico de dimensiones en la ventana de Datos de Salida.

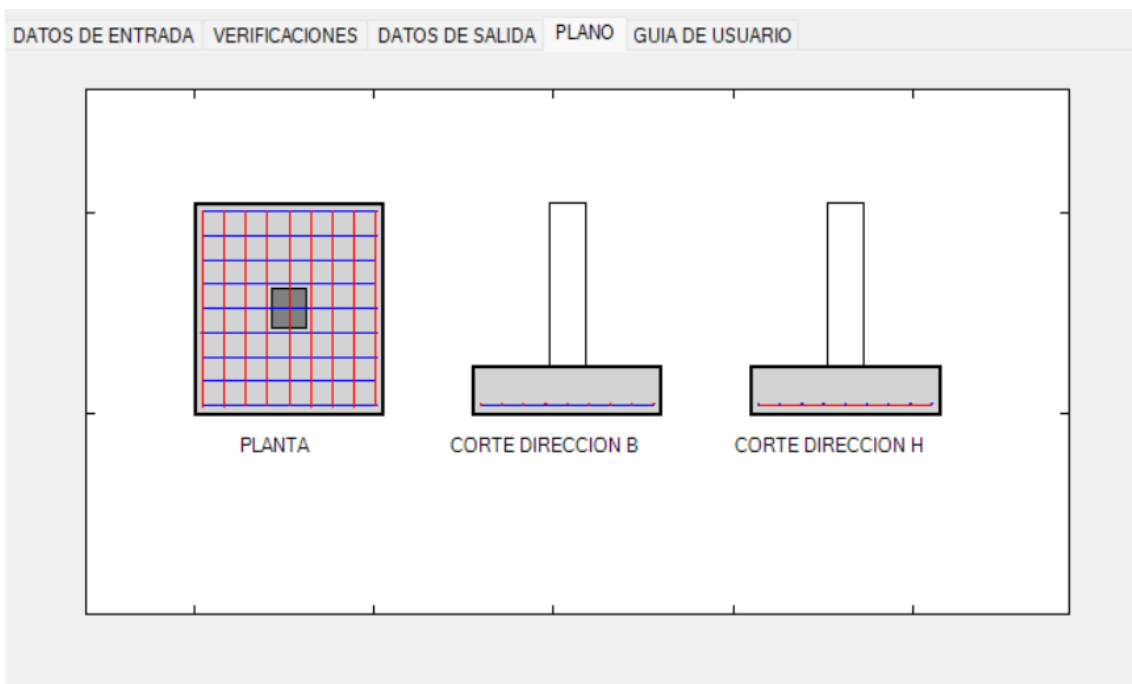


Figura 54. Plano.

Refuerzo longitudinal: $\phi 16\text{mm}$ @24cm
Refuerzo transversal: $\phi 16\text{mm}$ @24cm
Cantidad de Hormigón: 2.09 m ³
Cantidad de Acero: 184.7 kg
Cantidad de suelo a extraer: 8.71 m ³

Figura 55. Planilla de refuerzo y cantidad de materiales.

DATOS DE ENTRADA VERIFICACIONES DATOS DE SALIDA PLANO GUIA DE USUARIO

GUIA DEL USUARIO

JPZAP

ZAPATA AISLADA CENTRAL



El programa para pre dimensionamiento y verificación de zapatas aisladas centrales, efectúa los cálculos de manera automática, y da como resultado las verificaciones estructurales, según la normativa NEC 15 y ACI 318 - 19.

El programa utiliza los conceptos estipulados en las normativas antes dichas para las verificaciones como chequeo por cortante en una dirección, chequeo por cortante en dos direcciones o de punzonamiento y chequeo por aplastamiento.

El presente programa ha sido desarrollado en el software libre Smath Studio y puede ser utilizado de forma sencilla; únicamente hay que descargarlo y ejecutarlo para tener disponible todas las opciones que presenta.

El programa esta desarrollado para el cálculo de zapatas que soporten columnas netamente cuadradas o rectangulares. Por otro lado, las cimentaciones estan diseñadas solamente para cargas de compresion (Axil de compresion).

Figura 56. Guía del Usuario.

USO DEL PROGRAMA

Una vez abierto el programa, nos vamos a encontrar con una barra de menús, que contendrá los Datos de Entrada, Verificaciones, Datos de Salida, Plano y Guía del Usuario.

DATOS DE ENTRADA | VERIFICACIONES | DATOS DE SALIDA | PLANO | GUIA DE USUARIO

ZAPATA AISLADA CENTRAL

ESTE PROGRAMA SE DISTRIBUYE "TAL CUAL".
NO SE OFRECE NINGÚN TIPO DE GARANTIA EXPRESA O IMPLICITA.
USTED UTILIZA EL PROGRAMA BAJO SU PROPIA RESPONSABILIDAD.

Datos de Entrada

En el apartado de Datos de Entrada, vamos a tener todas las variables que necesitan ser ingresadas para que el programa pueda realizar el cálculo y las verificaciones de la zapata aislada central, que se pretenda pre dimensionar.

Como variables iniciales a ingresar tener los materiales que se utilizan en la zapata aislada, estos materiales deben ser definidos previamente mediante estudio de suelos realizados in situ, del terreno en donde se pretende construir dicha zapata.

MATERIALES

Esfuerzo admisible del Suelo, q_{adm}	1.8	kgf/(cm ²)
Resistencia del homigón, $f'c$	240	kgf/(cm ²)
Resistencia del acero, f_y	4200	kgf/(cm ²)
Peso específico del suelo, γ_{suelo}	1800	kgf/(m ³)

CARGAS Y MOMENTOS

Axil por Carga muerta	43.76	tonnef
Axil por Carga viva	15.1	tonnef
Axil por Carga sismica	0	tonnef
Momento por carga muerta en x	-0.08	tonnef m
Momento por carga muerta en y	-0.03	tonnef m
Momento por carga viva en x	-0.11	tonnef m
Momento por carga viva en y	0.01	tonnef m
Momento por carga sismica en x	0	tonnef m
Momento por carga sismica en y	0	tonnef m

Figura 57. Guía del Usuario.

Las variables a ingresar son:

- Resistencia del Hormigón: es la resistencia del homigón de la que va tener a los 28 días en la estructura en kgf/cm^2
- Resistencia del Acero: es la resistencia que van a tener las barras de refuerzo en kgf/cm^2 .
- Peso específico del homigón: es el peso específico del homigón que se utiliza, comúnmente se usa este parámetro de 2400 kgf/m^3 , para homigón de peso normal.
- Presión admisible del suelo: es la máxima carga que puede soportar el terreno sin que el muro sufra daños, este incluye el factor de seguridad.
- Cargas y momentos: son las cargas y momentos a la cual esta sometida la zapata, estas cargas son transmitidas desde elementos como columnas o pilares. Cabe recalcar que el diseño esta hecho solo para zapatas cuyas cargas esten en el tercio medio de la base de zapata, es decir, cuya excentricidad es menor que $L/3$. El usuario debera llenar los datos que requiera para el predimensionamiento.
- Peso específico del homigón: para todos los procesos y casos dentro de esta herramienta se a considerado un peso específico de homigon normal cuyo valor es de 2400 kg/m^3 .
- Recubrimiento: es la distancia que existen entre la superficie exterior de homigón y el acero de refuerzo, en el caso de cimientos, según la normativa empleada es de 7.5 cm . Para el proceso de calculo se usa este valor como predeterminado.

Las dimensiones de la zapata y columna serán ingresadas en el siguiente orden:

Figura 58. Guía del Usuario.

DIMENSIONES

Base de zapata (mínimo 1m), B	<input type="text" value="2.1"/>	<input type="text" value="m"/>
Ancho de zapata (mínimo 1m), H	<input type="text" value="2.1"/>	<input type="text" value="m"/>
Altura estimada de zapata (mínimo 30cm), h	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="cm"/>
Base de columna, b	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="m"/>
Ancho de columna, a	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="m"/>
Profundidad de desplante (mínimo 1m), Df	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="m"/>

- Geometria de zapata: aqui el usuario debe elegir el tipo de geometria que tendra la zapata: las opciones disponibles son cuadra y rectangular.
- Base de la zapata: hace referencia a la distancia que tendra el lado mayor que tendra la zapata aislada. Es un dato importante, ya que es la base para verificar si la zapata cumple a nivel estructural
- Ancho de zapata: hace referencia a la distancia que tendra el otro lado del cimiento. De igual manera es un dato importante para el respectivo calculo.
- Altura estimada de zapata: es el espesor que tendra el cimiento, el usuario debera ingresar un valor tentativo para proceder con el predimensionamiento.
- Base de columna: es la distancia del lado "a" de la columna.
- Ancho de columna: es la distancia del lado "b" de la columna.
- Altura de desplante: es la profundidad a la cual se encuentra la zapata desde el nivel sel suelo.

Los valores minimos a introducir de base y ancho de zapata, así como, de profundidad de desplante son tomados de la NEC 15 especificamente de NEC - SE- VIVIENDA, y el valor mínimo de altura de zapata es basado en la norma ACI 318-19 (redondeando a 30cm por ser múltiplo de 10cm).

Las siguiente variable que se deben ingresar son el diámetro de las varillas de refuerzo que se van a utilizar en la zapata aislada. El diseño esta elaborado para zapatas que tengan columnas cuadradas y rectangulares sobre ellas.

Figura 59. Guía del Usuario.

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata

Seguido a esto se tiene un gráfico, que nos indica las dimensiones de la zapata aislada central que se pretende pre dimensionar y analizar.

Se utilizará el mismo diámetro de varilla en toda la estructura, es decir, tanto en sentido longitudinal como transversal.

Los diámetros de las varillas que se han utilizado se han tomado de un catálogo comercial de refuerzo de acero, de modo que pueda ser utilizado en el Ecuador.

Figura 60. Guía del Usuario.

Verificaciones

En la ventana de verificaciones, se puede observar una tabla

En las verificaciones se tiene dos opciones de resultados, Cumple o Corregir las dimensiones de la zapata que se han ingresado al inicio; dentro de estas verificaciones tenemos:

Chequeo Geotécnico (Capacidad resistente del suelo)	$q_{max}: 13.47 \leq q_{adm}: 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Chequeo por Cortante en una Direccion	$Vu_x: 17.64 \leq \phi Vc_x: 24.99 \text{ tonnef}$	Cumple
	$Vu_y: 17.65 \leq \phi Vc_y: 24.99 \text{ tonnef}$	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	$Vu: 66.44 \leq \phi Vc: 143.91 \text{ tonnef}$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	$N_{actuante}: 1326.00 < N_{resistente}: 2652.00 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple

Figura 61. Guía del Usuario.

- Chequeo por Cortante en una dirección: hace referencia al comportamiento que tiene la zapata como una viga, se debe obtener el esfuerzo cortante último en una sección crítica a una distancia "d". (Garza Vasquez, 2000)

Se debe cumplir la siguiente condición para que la zapata no falle por este tipo de cortante.

$$V_u \leq \phi V_c$$

Donde :

V_u = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.

ϕV_c = Fuerza cortante última o mayorada.

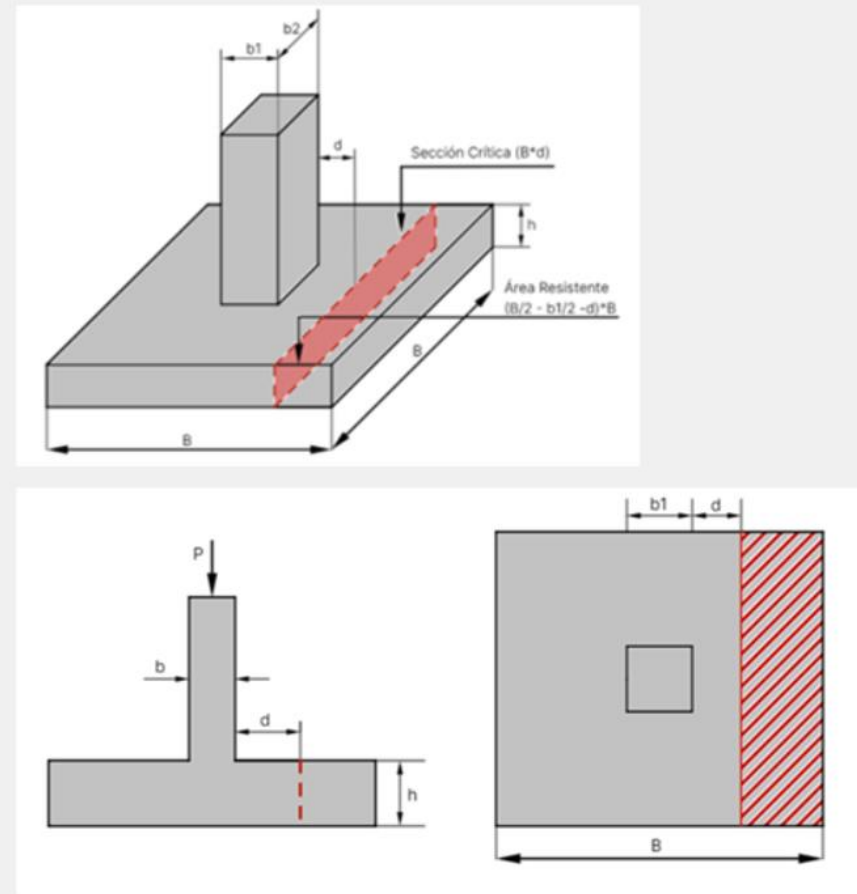


Figura 62. Guía del Usuario.

- Chequeo por Cortante en dos direcciones o Punzonamiento: hace referencia al fenómeno en el que la zapata trata de fallar por una superficie en forma de pirámide, como respuesta a la carga vertical que le transfiere la columna o pedestal. (Garza Vasquez, 2000)

De la misma forma que en el chequeo por cortante en una dirección el punzonamiento debe cumplir una condición igual.

$$V_u \leq \phi V_c$$

Donde :

V_u = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.

ϕV_c = Fuerza cortante última o mayorada.

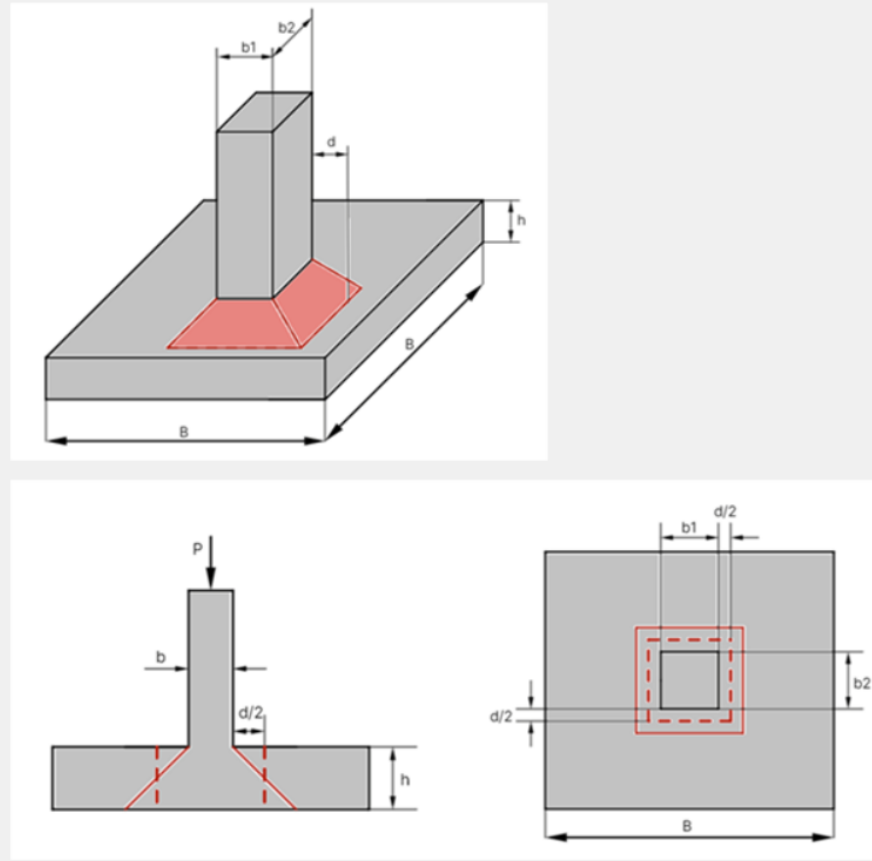


Figura 63. Guía del Usuario.

- Chequeo por Aplastamiento del suelo: hace referencia a que el esfuerzo neto del suelo sea mayor al esfuerzo actuante dado por la estructura o edificación. Se debe cumplir esta condición para que el suelo no se deforme debido a las cargas generadas por la edificación.

- Chequeo por Aplastamiento del concreto: hace referencia a la unión entre la columna y el cimiento, y ocurre cuando la resistencia nominal del concreto en la zapata es mayor que la resistencia nominal del concreto a compresión de la columna. En esta situación, la resistencia de la zapata es suficiente para soportar la carga de la columna, caso contrario, se puede dar lugar a una falla en la unión columna-cimiento. (Barrera Romero, 2022)

- Separación de varillas en el sentido B: en este apartado se verifica si la separación entre las barras de acero es adecuada y si esta dentro del rango, es decir que se mayor al espaciamiento mínimo y menor al espaciamiento máximo con respecto al sentido B.

- Separación de varillas en el sentido H: en este apartado se verifica si la separación entre las barras de acero es adecuada y si esta dentro del rango, es decir que se mayor al espaciamiento mínimo y menor al espaciamiento máximo con respecto al sentido H.

Además, cabe aclarar, que las secciones críticas se han adoptado, para todos los casos de diseño, en el borde de la columna (caso más desfavorable), tal como se muestra en el siguiente gráfico:

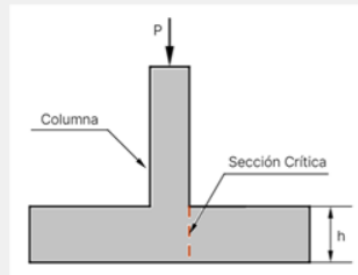


Figura 64. Guía del Usuario.

Datos de Salida

En la ventana de Datos de Salida, tendremos los resultados en cuanto a las dimensiones óptimas para la zapata aislada central y demás parámetros, también se tendrán resultados del refuerzo de acero, tanto longitudinal como transversalmente que incluye el diámetro de varilla, separación de varillas y longitud de desarrollo. Por otro lado, se muestra un dibujo con las dimensiones de zapata para una mejor comprensión.

CARACTERÍSTICAS DE ZAPATA

DIMENSIONES DE ZAPATA	Sentido B	2.10 m
	Sentido H	2.10 m
	Espesor de zapata (h)	48 cm
OTROS PARAMETROS	Área de zapata	4.41 m ²
	Peralte efectivo de zapata (d)	39 cm
	Recubrimiento usado	7.5 cm
	Peso específico del hormigón	2400 kg/m ³

REFUERZO DE ACERO

ACERO LONGITUDINAL (B)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm
ACERO TRANSVERSAL (H)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	65.72 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm

Figura 65. Guía del Usuario.

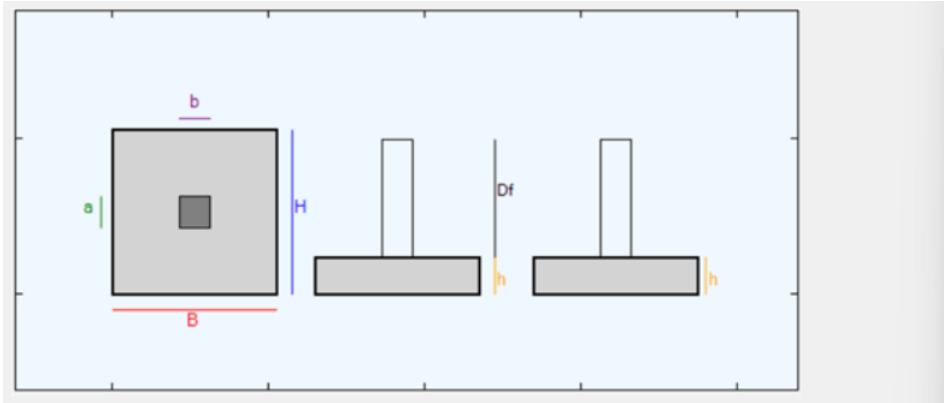


Figura 66. Guía del Usuario.

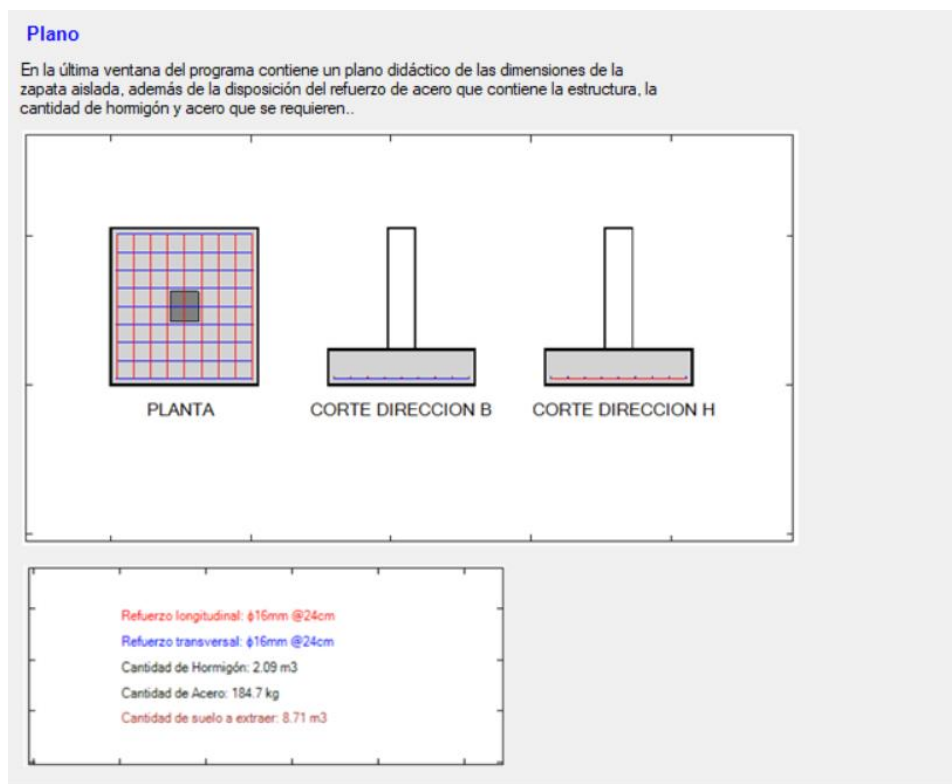


Figura 67. Guía del Usuario.

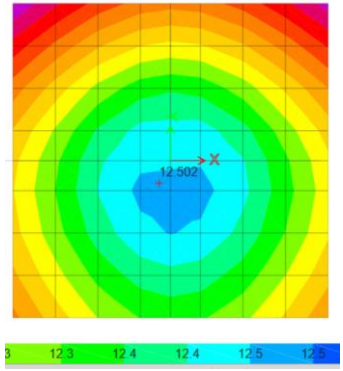
Una vez que se cuenta con el producto definitivo, se procede a validar su funcionamiento mediante la aplicación de varios ejercicios sugeridos en la bibliografía que ha sido consultada a lo largo de la investigación realizada en este proyecto y su

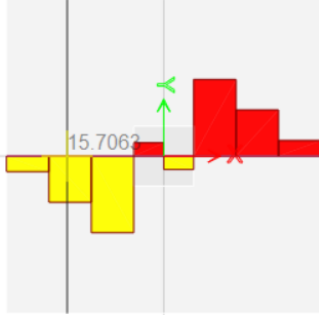
comparación con el software comercial “SAFE” en su versión 21, el cual se especializa en modelar y analizar este tipo de cimentaciones.

A. Ejercicios empleados para la verificación del programa.

Caso 1: Ejemplo de la tesis “Aplicación de software especializado para diseño de zapatas en edificaciones” de Barrera Romero A. (Barrera Romero, 2022)

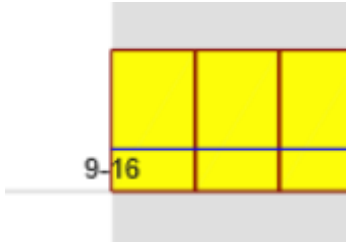
Dimensiones		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
zapata: 2.1 x 2.1 m	zapata: 2.1 x 2.1 m	zapata: 2.1 x 2.1 m
columna: 0.4 x 0.4 m	columna: 0.4 x 0.4 m	columna: 0.4 x 0.4 m
Altura de zapata: 0.45 m	Altura de zapata: 0.45 m	Altura de zapata: 0.45 m

Verificación por aplastamiento del suelo		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$q_{max} = 13.47 \text{ tonnef/m}^2$ $q_{adm} = 15.3 \text{ tonnef/m}^2$	$q_{max} = 13.47 \text{ tonnef/m}^2$ $q_{adm} = 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	$q_{max} = 12.50 \text{ tonnef/m}^2$ $q_{adm} = 15.3 \text{ tonnef/m}^2$
	$q_{max} = 13.47 \leq q_{adm} = 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	
<p>Observaciones: Como se observa los resultados son muy parecidos, en cuyo caso, las diferencias se pueden deber a que, en el programa desarrollado, para q_{adm} se toma el valor de esfuerzo admisible real o neto del suelo, en la bibliografía este valor varía debido a que lo obtiene de forma diferente.</p>		

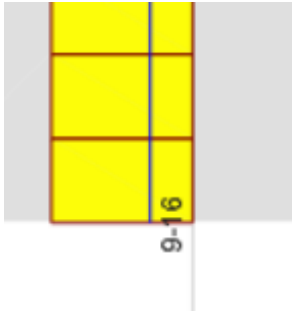
Cortante unidireccional		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$V_{u_x} = 17.62 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c_x} = 47.46 \text{ tonnef}$ $V_{u_y} = 17.62 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c_y} = 47.46 \text{ tonnef}$	$V_{u_x} = 17.64 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c_x} = 24.99 \text{ tonnef}$ $V_{u_y} = 17.64 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c_y} = 24.99 \text{ tonnef}$	$V_{u_x} = 15.71 \text{ tonnef}$ $V_{u_y} = 15.71 \text{ tonnef}$
	$V_{u_x}: 17.64 \leq \phi V_{c_x}: 24.99 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 17.65 \leq \phi V_{c_y}: 24.99 \text{ tonnef}$	
<p>Observaciones: Los resultados son muy semejantes, aun así, la diferencia se puede deber a que en SAFE puede estar tomando un peralte efectivo (d) diferente del que se obtiene en el programa desarrollado, en SAFE no se pueden observar este tipo de valores ni el procedimiento seguido.</p>		

Cortante por punzonamiento		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$V_u = 66.44 \text{ tonnef}$ $\phi V_c = 129.55 \text{ tonnef}$	$V_{u_x} = 66.44 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c_x} = 143.91 \text{ tonnef}$ $\frac{V_{u_x}}{\phi V_{c_x}} = 0.46$	$\frac{V_{u_x}}{\phi V_{c_x}} = 0.52$
	$V_u: 66.44 \leq \phi V_c: 143.91 \text{ tonnef}$	Punching Shear Ratio = 0.52

Observaciones: En esta verificación se deben comparar los valores de la relación demanda/capacidad, los cuales son bastante semejantes, la diferencia puede ser a que SAFE obtenga un valor diferente para el perímetro crítico que, en el programa desarrollado, por otro lado, en el programa desarrollado se desprecia el factor por efectos de tamaño (ACI 319-19 apartado 13.2.6.2), en SAFE no se puede ver este procedimiento llevado a cabo. En SAFE el valor de la relación demanda/capacidad debe ser < 1 para cumplir por punzonamiento, caso contrario se debe aumentar el espesor de zapata.

Refuerzo de acero longitudinal (B)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
$Numero_{varillas} = 10$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 21.5 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 24 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 24 \text{ cm}$												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>16 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>24 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>65.72 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>77.50 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>0.0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	9	Diámetro de varillas	16 mm	Separación de varillas	24 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm	(Ldh)	77.50 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	9													
Diámetro de varillas	16 mm													
Separación de varillas	24 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm													
(Ldh)	77.50 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados son bastante semejantes, sin embargo, las diferencias se deben a que en la bibliografía usa una cuantía mínima = $0.002 \cdot B \cdot h$, en el programa desarrollado y SAFE se usa una cuantía mínima = $0.0018 \cdot B \cdot h$. (ACI 318-19 apartado 7.6.1.1).</p>														

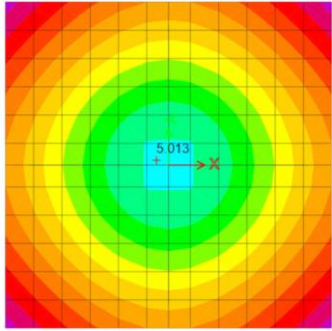
Refuerzo de acero longitudinal (H)		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$Numero_{varillas} = 10$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 21.5 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 24 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 16 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 24 \text{ cm}$

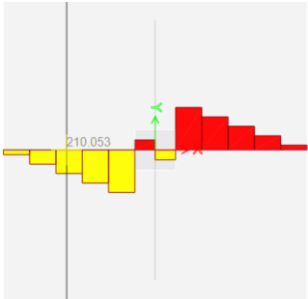
	<table border="1"> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>16 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>24 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>65.72 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>77.50 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>0.0 cm</td> </tr> </table>	Número de varillas	9	Diámetro de varillas	16 mm	Separación de varillas	24 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm	(Ldh)	77.50 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	9													
Diámetro de varillas	16 mm													
Separación de varillas	24 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm													
(Ldh)	77.50 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados son bastante semejantes, sin embargo, las diferencias se deben a que en la bibliografía usa una cuantía mínima = $0.002 \cdot B \cdot h$, en el programa desarrollado y SAFE se usa una cuantía mínima = $0.0018 \cdot B \cdot h$. (ACI 318-19 apartado 7.6.1.1).</p>														

Caso 2: El ejemplo 15-2 del libro Reinforced Concrete Mechanics de Wight y MacGregor. (Wight & MacGregor, 2012)

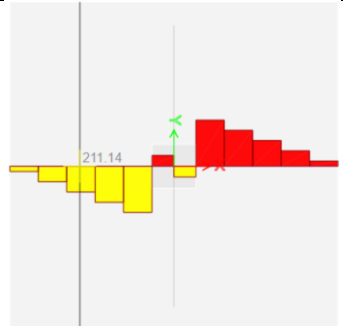
Dimensiones		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
zapata: 11.2 x 11.2 ft	zapata: 11.2 x 11.2 ft	zapata: 11.2 x 11.2 ft
columna: 18 x 18 in	columna: 18 x 18 in	columna: 18 x 18 in
Altura de zapata: 32 in	Altura de zapata: 32 in	Altura de zapata: 32 in

Verificación por aplastamiento del suelo		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$q_{adm} = 6 \text{ ksf}$	$q_{max} = 5.37 \text{ ksf}$ $q_{adm} = 5.38 \text{ ksf}$	$q_{max} = 5.01 \text{ ksf}$ $q_{adm} = 6 \text{ ksf}$
	$q_{max}: 5.38 \leq q_{adm}: 5.38 \text{ ksf}$	

		
<p>Observaciones: Como se observa los resultados son muy parecidos, pero, aun así, la diferencia se puede deber a que, en el programa desarrollado, para q_{adm} se toma el valor de esfuerzo admisible real o neto del suelo; en SAFE no se puede identificar cual es el proceso para determinar q_{max}. Cabe recalcar que este libro usa la norma ACI 318-08, por lo que puede ser un factor que contribuya a la diferencia de resultados ya que el programa desarrollado usa el ACI 3018-19.</p>		

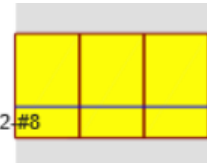
Cortante unidireccional		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$V_{u_x} = 204 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 308 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 204 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 308 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 212.33 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 161.44 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 212.33 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 161.44 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 210.05 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 210.05 \text{ kip}$
	$\frac{Vu_x: 96.31 \leq \phi Vc_x: 73.23 \text{ tonnef}}{Vu_y: 96.31 \leq \phi Vc_y: 73.23 \text{ tonnef}}$	
<p>La condición de cortante unidireccional, con estos datos de entrada que indica la bibliografía, no cumple. Esto indica que las dimensiones de zapata en datos de</p>		

entrada deben ser modificados, es por ello, que se optó cambiar la altura o espesor de zapata se le aumentó 5 in más al valor que indica la bibliografía. Con este nuevo valor la condición de cortante cumple. Esto se lo realiza a fin de cumplir la condición de cortante unidireccional solamente, ya que, cortante por punzonamiento y demás resultados están cumpliendo. La razón de este incumplimiento es que el libro de donde se tomó el ejercicio emplea una normativa ACI antigua, el software desarrollado emplea la norma ACI 318-19, donde tiene cambios relevantes con respecto a las ecuaciones usadas para hallar el Cortante Resistente. A continuación, se muestran resultados con la modificación antes explicada:

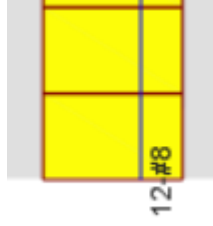
	$V_{u_x} = 176.44 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 185.08 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 176.44 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 185.08 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 211.14 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 211.14 \text{ kip}$
	$V_{u_x}: 80.03 \leq \phi V_{c_x}: 83.95 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 80.03 \leq \phi V_{c_y}: 83.95 \text{ tonnef}$	
<p>Observaciones: Los resultados son muy parecidos, aun así, la diferencia se puede deber a que en SAFE puede estar tomando un peralte efectivo (d) diferente del que se obtiene en el programa desarrollado, en SAFE no se pueden observar este tipo de valores ni el procedimiento seguido.</p>		

Cortante por punzonamiento		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE

$V_u = 805 \text{ kips}$ $\phi V_c = 847 \text{ kips}$	$V_{u,x} = 821.84 \text{ kips}$ $\phi V_{c,x} = 1176.67 \text{ kips}$ $\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.70$	$\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.74$
	$V_u: 372.78 \leq \phi V_c: 533.73 \text{ tonnef}$	Punching Shear Ratio = 0.74
<p>Observaciones: En esta verificación se deben comparar los valores de la relación demanda/capacidad, los mismos que se asemejan mucho, la diferencia puede ser a que SAFE obtenga un valor diferente para el perímetro crítico que, en el programa desarrollado, por otro lado, en el programa desarrollado se desprecia el factor por efectos de tamaño (ACI 319-19 apartado 13.2.6.2), en SAFE no se puede ver este procedimiento llevado a cabo.</p>		

Refuerzo de acero longitudinal (B)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
$Numero_{varillas} = 11$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 12$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 29 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 12$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 29 \text{ cm}$												
	<table border="1"> <tr><td>Número de varillas</td><td>12</td></tr> <tr><td>Diámetro de varillas</td><td>25 mm</td></tr> <tr><td>Separación de varillas</td><td>29 cm</td></tr> <tr><td>Longitud de desarrollo (Ld)</td><td>136.71 cm</td></tr> <tr><td>(Ldh)</td><td>139.64 cm</td></tr> <tr><td>Longitud de gancho (Lext)</td><td>0.0 cm</td></tr> </table>	Número de varillas	12	Diámetro de varillas	25 mm	Separación de varillas	29 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	136.71 cm	(Ldh)	139.64 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	12													
Diámetro de varillas	25 mm													
Separación de varillas	29 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	136.71 cm													
(Ldh)	139.64 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados obtenidos son los mismos. Por lo que no se puede añadir observaciones.</p>														

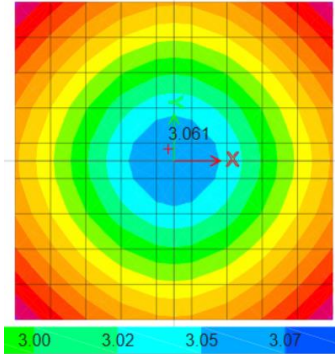
Refuerzo de acero longitudinal (H)		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$Numero_{varillas} = 11$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 12$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 29 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 12$ $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 29 \text{ cm}$

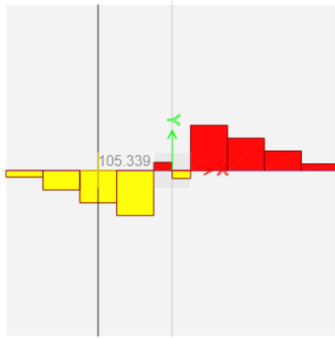
	<table border="1"> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>25 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>29 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>136.71 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>139.64 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>0.0 cm</td> </tr> </table>	Número de varillas	12	Diámetro de varillas	25 mm	Separación de varillas	29 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	136.71 cm	(Ldh)	139.64 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	12													
Diámetro de varillas	25 mm													
Separación de varillas	29 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	136.71 cm													
(Ldh)	139.64 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
Observaciones: Los resultados obtenidos son los mismos. Por lo que no se puede añadir observaciones.														

Caso 3: El ejemplo 12.7 del libro Diseño de concreto reforzado de Mc Cormac y Brown. (Mc Cormac & Brown, 2011)

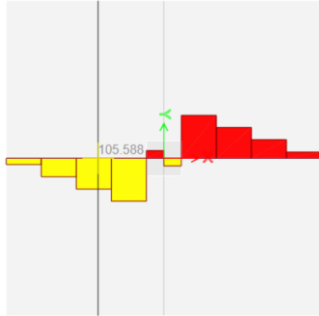
Dimensiones		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
zapata: 9 x 9 ft	zapata: 9 x 9 ft	zapata: 9 x 9 ft
columna: 12 x 12 in	columna: 12 x 12 in	columna: 12 x 12 in
Altura de zapata: 21 in	Altura de zapata: 21 in	Altura de zapata: 21 in

Verificación por aplastamiento del suelo		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$q_{adm} = 4 \text{ kip/ft}^2$	$q_{max} = 5.37 \text{ kip/ft}^2$ $q_{adm} = 5.38 \text{ kip/ft}^2$	$q_{max} = 3.06 \text{ kip/ft}^2$ $q_{adm} = 4 \text{ kip/ft}^2$
	$q_{max}: 5.38 \leq q_{adm}: 5.38 \text{ ksf}$	

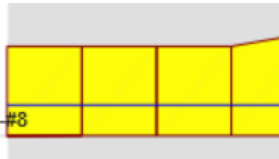
		
<p>Observaciones: Como se observa los resultados varían de forma significativa, la diferencia se puede deber a que, en el programa desarrollado, para q_{adm} se toma el valor de esfuerzo admisible real o neto del suelo; en SAFE no se puede identificar cual es el proceso para determinar q_{max}. Cabe recalcar que este libro usa la norma ACI 318-08, por lo que puede ser un factor que contribuya a la diferencia de resultados ya que el programa desarrollado usa el ACI 3018-19.</p>		

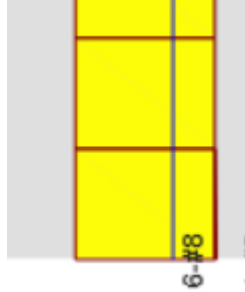
Cortante unidireccional		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u_x} = 106 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 95.17 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 106 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 95.17 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 105.34 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 105.34 \text{ kip}$
	<hr/> $V_{u_x}: 48.03 \leq \phi V_{c_x}: 43.17 \text{ tonnef}$ <hr/> $V_{u_y}: 48.03 \leq \phi V_{c_y}: 43.17 \text{ tonnef}$ <hr/>	

La condición de cortante unidireccional, con estos datos de entrada que indica la bibliografía, no cumple. Esto indica que las dimensiones de zapata en datos de entrada deben ser modificados, es por ello, que se optó cambiar la altura o espesor de zapata se le aumentó 2 in más al valor que indica la bibliografía. Con este nuevo valor la condición de cortante cumple. Esto se lo realiza a fin de cumplir la condición de cortante unidireccional solamente, ya que, cortante por punzonamiento y demás resultados están cumpliendo. La razón de este incumplimiento es que el libro de donde se tomó el ejercicio emplea una normativa ACI antigua, el software desarrollado emplea la norma ACI 318-19, donde tiene cambios relevantes con respecto a las ecuaciones usadas para hallar el Cortante Resistente. A continuación, se muestran resultados con la modificación antes explicada:

	$V_{u_x} = 98.92 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 102.27 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 98.92 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 102.27 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 105.58 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 105.58 \text{ kip}$
	$V_{u_x}: 44.87 \leq \phi V_{c_x}: 46.39 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 44.87 \leq \phi V_{c_y}: 46.39 \text{ tonnef}$	
<p>Observaciones: Los resultados se asemejan mucho, aun así, la diferencia se puede deber a que en SAFE puede estar tomando un peralte efectivo (d) diferente del que se obtiene en el programa desarrollado, en SAFE no se pueden observar este tipo de valores ni el procedimiento seguido.</p>		

Cortante por punzonamiento		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u,x} = 347.85 \text{ kips}$ $\phi V_{c,x} = 407.5 \text{ kips}$ $\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.71$	$\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.81$
	<hr/> Vu: 157.78 ≤ φVc: 184.84 tonnef	Punching Shear Ratio = 0.81
<p>Observaciones: En esta verificación se deben comparar los valores de la relación demanda/capacidad, los cuales son muy parecidos, la diferencia puede ser a que SAFE obtenga un valor diferente para el perímetro crítico que, en el programa desarrollado, por otro lado, en el programa desarrollado se desprecia el factor por efectos de tamaño (ACI 319-19 apartado 13.2.6.2), en SAFE no se puede ver este procedimiento llevado a cabo.</p>		

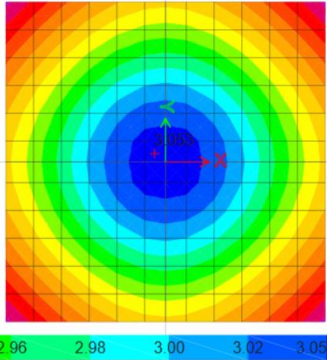
Refuerzo de acero longitudinal (B)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
<i>Numero</i> _{varillas} = 8 $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$	<i>Numero</i> _{varillas} = 6 $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ <i>separacion</i> _{varillas} = 51 cm	<i>Numero</i> _{varillas} = 6 $\phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ <i>separacion</i> _{varillas} = 51 cm												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>25 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>51 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>118.40 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>114.42 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>4.0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	6	Diámetro de varillas	25 mm	Separación de varillas	51 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	118.40 cm	(Ldh)	114.42 cm	Longitud de gancho (Lext)	4.0 cm	
Número de varillas	6													
Diámetro de varillas	25 mm													
Separación de varillas	51 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	118.40 cm													
(Ldh)	114.42 cm													
Longitud de gancho (Lext)	4.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta deben ser mejor desarrolladas.</p>														

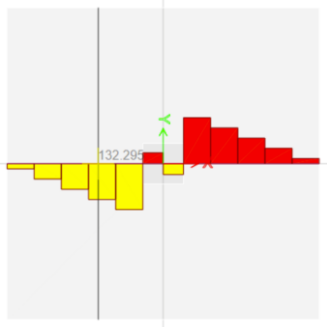
Refuerzo de acero longitudinal (H)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
$Numero_{varillas} = 8$ $\Phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\Phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 51 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\Phi_{varillas} = 25 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 51 \text{ cm}$												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>25 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>51 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>118.40 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>114.42 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>4.0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	6	Diámetro de varillas	25 mm	Separación de varillas	51 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	118.40 cm	(Ldh)	114.42 cm	Longitud de gancho (Lext)	4.0 cm	
Número de varillas	6													
Diámetro de varillas	25 mm													
Separación de varillas	51 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	118.40 cm													
(Ldh)	114.42 cm													
Longitud de gancho (Lext)	4.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta deben ser mejor desarrolladas.</p>														

Caso 4: El ejemplo 12.9 del libro Diseño de concreto reforzado de Mc Cormac y Brown.(Mc Cormac & Brown, 2011)

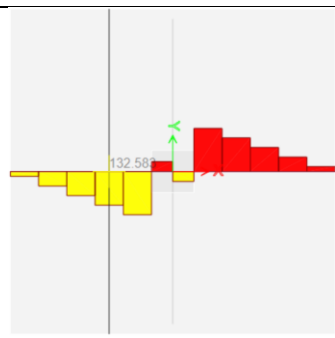
Dimensiones		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
zapata: 9.6 x 9.6 ft	zapata: 9.6 x 9.6 ft	zapata: 9.6 x 9.6 ft
columna: 15 x 15 in	columna: 15 x 15 in	columna: 15 x 15 in
Altura de zapata: 22 in	Altura de zapata: 22 in	Altura de zapata: 22 in

Verificación por aplastamiento del suelo		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
	$q_{max} = 3.35 \text{ kip/ft}^2$	$q_{max} = 3.05 \text{ kip/ft}^2$

$q_{adm} = 4 \text{ kip/ft}^2$	$q_{adm} = 3.39 \text{ kip/ft}^2$	$q_{adm} = 4 \text{ kip/ft}^2$
	$q_{max} \leq q_{adm}: 16.57 \text{ tonnef/m}^2$	
<p>Observaciones: Como se observa los resultados son bastante parecidos, cuya diferencia se puede deber a que, en el programa desarrollado, para q_{adm} se toma el valor de esfuerzo admisible real o neto del suelo; en SAFE no se puede identificar cual es el proceso para determinar q_{max}. Cabe recalcar que este libro usa la norma ACI 318-08, por lo que puede ser un factor que contribuya a la diferencia de resultados ya que el programa desarrollado usa el ACI 3018-19.</p>		

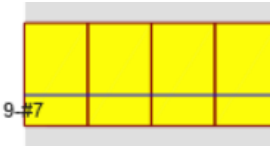
Cortante unidireccional		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u_x} = 118.21 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 108.79 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 118.21 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 108.79 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 132.29 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 132.29 \text{ kip}$
	$V_{u_x}: 53.62 \leq \phi V_{c_x}: 49.35 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 53.62 \leq \phi V_{c_y}: 49.35 \text{ tonnef}$	

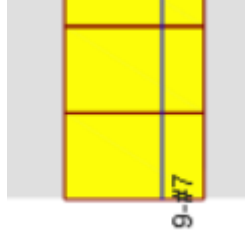
La condición de cortante unidireccional, con estos datos de entrada que indica la bibliografía, no cumple. Esto indica que las dimensiones de zapata en datos de entrada deben ser modificados, es por ello, que se optó cambiar la altura o espesor de zapata se le aumentó 2 in más al valor que indica la bibliografía. Con este nuevo valor la condición de cortante cumple. Esto se lo realiza a fin de cumplir la condición de cortante unidireccional solamente, ya que, cortante por punzonamiento y demás resultados están cumpliendo. La razón de este incumplimiento es que el libro de donde se tomó el ejercicio emplea una normativa ACI antigua, el software desarrollado emplea la norma ACI 318-19, donde tiene cambios relevantes con respecto a las ecuaciones usadas para hallar el Cortante Resistente. A continuación, se muestran resultados con la modificación antes explicada:

	$V_{u,x} = 110.71 \text{ kip}$ $\phi V_{c,x} = 116.44 \text{ kip}$ $V_{u,y} = 110.71 \text{ kip}$ $\phi V_{c,y} = 116.44 \text{ kip}$	$V_{u,x} = 132.58 \text{ kip}$ $V_{u,y} = 132.58 \text{ kip}$
	$V_{u,x}: 50.22 \leq \phi V_{c,x}: 52.82 \text{ tonnef}$ $V_{u,y}: 50.22 \leq \phi V_{c,y}: 52.82 \text{ tonnef}$	

Observaciones: Los resultados presentan una diferencia a considerar, esto se puede deber a que en SAFE puede estar tomando un peralte efectivo (d) diferente del que se obtiene en el programa desarrollado, en SAFE no se pueden observar este tipo de valores ni el procedimiento seguido.

Cortante por punzonamiento		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u,x} = 390.81 \text{ kips}$ $\phi V_{c,x} = 576.61 \text{ kips}$ $\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.68$	$\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.57$
	Vu: 177.27 ≤ φVc: 261.55 tonnef	Punching Shear Ratio = 0.57
<p>Observaciones: En esta verificación se deben comparar los valores de la relación demanda/capacidad, los cuales son muy parecidos, la diferencia puede ser a que SAFE obtenga un valor diferente para el perímetro crítico que, en el programa desarrollado, por otro lado, en el programa desarrollado se desprecia el factor por efectos de tamaño (ACI 319-19 apartado 13.2.6.2), en SAFE no se puede ver este procedimiento llevado a cabo.</p>		

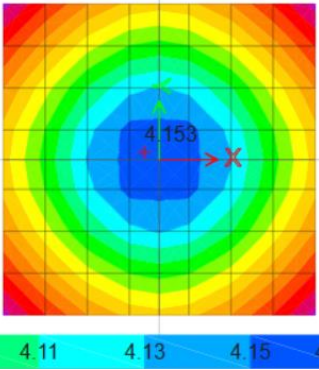
Refuerzo de acero longitudinal (B)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
$Numero_{varillas} = 12$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 34 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 34 \text{ cm}$												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>22 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>34 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>104.19 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>119.95 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>0.0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	9	Diámetro de varillas	22 mm	Separación de varillas	34 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	104.19 cm	(Ldh)	119.95 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	9													
Diámetro de varillas	22 mm													
Separación de varillas	34 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	104.19 cm													
(Ldh)	119.95 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta última deben estar mejor desarrolladas.</p>														

Refuerzo de acero longitudinal (H)														
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE												
$Numero_{varillas} = 12$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 34 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 9$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 34 \text{ cm}$												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>22 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>34 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>104.19 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>119.95 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de gancho (Lext)</td> <td>0.0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	9	Diámetro de varillas	22 mm	Separación de varillas	34 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	104.19 cm	(Ldh)	119.95 cm	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm	
Número de varillas	9													
Diámetro de varillas	22 mm													
Separación de varillas	34 cm													
Longitud de desarrollo (Ld)	104.19 cm													
(Ldh)	119.95 cm													
Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm													
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta última deben estar mejor desarrolladas.</p>														

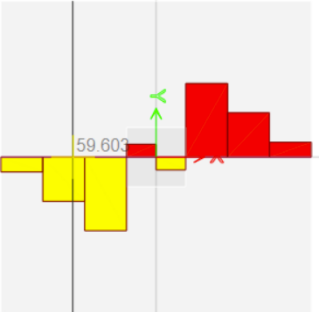
Caso 5: El ejemplo 12.11 del libro Diseño de concreto reforzado de Mc Cormac y Brown.(Mc Cormac & Brown, 2011)

Dimensiones		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
zapata: $7 \times 7 \text{ ft}$	zapata: $7 \times 7 \text{ ft}$	zapata: $7 \times 7 \text{ ft}$
columna: $16 \times 16 \text{ in}$	columna: $16 \times 16 \text{ in}$	columna: $16 \times 16 \text{ in}$
Altura de zapata: 18 in	Altura de zapata: 18 in	Altura de zapata: 18 in

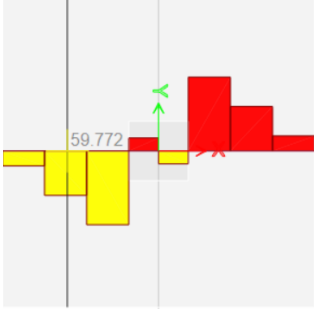
Verificación por aplastamiento del suelo		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
$q_{adm} = 5 \text{ kip/ft}^2$	$q_{max} = 4.3 \text{ kip/ft}^2$ $q_{adm} = 4.36 \text{ kip/ft}^2$	$q_{max} = 4.15 \text{ kip/ft}^2$ $q_{adm} = 5 \text{ kip/ft}^2$

	$q_{max}: 21.00 \leq q_{adm}: 21.29 \text{ tonnef/m}^2$	
--	---	---

Observaciones: Como se observa la variación de resultados son bastante semejantes, la diferencia se puede deber a que, en el programa desarrollado, para q_{adm} se toma el valor de esfuerzo admisible real o neto del suelo; en SAFE no se puede identificar cuál es el proceso para determinar q_{max} . Cabe recalcar que este libro usa la norma ACI 318-08, por lo que puede ser un factor que contribuya a la diferencia de resultados ya que el programa desarrollado usa el ACI 3018-19.

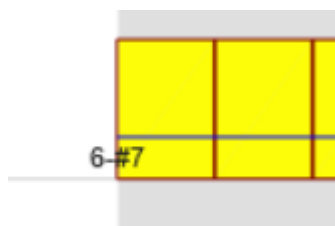
Cortante unidireccional		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u_x} = 67.26 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 53.29 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 67.26 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 53.29 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 59.60 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 59.60 \text{ kip}$
	$V_{u_x}: 30.54 \leq \phi V_{c_x}: 24.17 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 30.54 \leq \phi V_{c_y}: 24.17 \text{ tonnef}$	

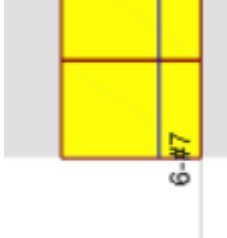
La condición de cortante unidireccional, con estos datos de entrada que indica la bibliografía, no cumple. Esto indica que las dimensiones de zapata en datos de entrada deben ser modificados, es por ello, que se optó cambiar la altura o espesor de zapata se le aumentó 2 in más al valor que indica la bibliografía. Con este nuevo valor la condición de cortante cumple. Esto se lo realiza a fin de cumplir la condición de cortante unidireccional solamente, ya que, cortante por punzonamiento y demás resultados están cumpliendo. La razón de este incumplimiento es que el libro de donde se tomó el ejercicio emplea una normativa ACI antigua, el software desarrollado emplea la norma ACI 318-19, donde tiene cambios relevantes con respecto a las ecuaciones usadas para hallar el Cortante Resistente. A continuación, se muestran resultados con la modificación antes explicada:

	$V_{u_x} = 60.36 \text{ kip}$ $\phi V_{c_x} = 61.69 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 60.36 \text{ kip}$ $\phi V_{c_y} = 61.69 \text{ kip}$	$V_{u_x} = 59.77 \text{ kip}$ $V_{u_y} = 59.77 \text{ kip}$
	$V_{u_x}: 27.38 \leq \phi V_{c_x}: 27.98 \text{ tonnef}$ $V_{u_y}: 27.38 \leq \phi V_{c_y}: 27.98 \text{ tonnef}$	

Observaciones: Los resultados presentan una ligera diferencia, esto se puede deber a que en SAFE puede estar tomando un peralte efectivo (d) diferente del que se obtiene en el programa desarrollado, en SAFE no se pueden observar este tipo de valores ni el procedimiento seguido.

Cortante por punzonamiento		
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE
No proporcionado	$V_{u,x} = 247.93 \text{ kips}$ $\phi V_{c,x} = 368.11 \text{ kips}$ $\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.67$	$\frac{V_{u,x}}{\phi V_{c,x}} = 0.77$
	Vu: 112.46 ≤ φVc: 166.97 tonnef	Punching Shear Ratio = 0.77
<p>Observaciones: En esta verificación se deben comparar los valores de la relación demanda/capacidad, los cuales son muy parecidos, la diferencia puede ser a que SAFE obtenga un valor diferente para el perímetro crítico que, en el programa desarrollado, por otro lado, en el programa desarrollado se desprecia el factor por efectos de tamaño (ACI 319-19 apartado 13.2.6.2), en SAFE no se puede ver este procedimiento llevado a cabo.</p>		

Refuerzo de acero longitudinal (B)												
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE										
$Numero_{varillas} = 7$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 39 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 39 \text{ cm}$										
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>22 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>39 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>120.31 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>78.73 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Número de varillas	6	Diámetro de varillas	22 mm	Separación de varillas	39 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	120.31 cm	(Ldh)	78.73 cm	
Número de varillas	6											
Diámetro de varillas	22 mm											
Separación de varillas	39 cm											
Longitud de desarrollo (Ld)	120.31 cm											
(Ldh)	78.73 cm											
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta última deben estar mejor desarrolladas.</p>												

Refuerzo de acero longitudinal (H)												
Bibliografía	Programa desarrollado	Software SAFE										
$Numero_{varillas} = 7$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 39 \text{ cm}$	$Numero_{varillas} = 6$ $\Phi_{varillas} = 22 \text{ mm}$ $separacion_{varillas} = 39 \text{ cm}$										
	<table border="1"> <tr> <td>Número de varillas</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de varillas</td> <td>22 mm</td> </tr> <tr> <td>Separación de varillas</td> <td>39 cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de desarrollo (Ld)</td> <td>120.31 cm</td> </tr> <tr> <td>(Ldh)</td> <td>78.73 cm</td> </tr> </table>	Número de varillas	6	Diámetro de varillas	22 mm	Separación de varillas	39 cm	Longitud de desarrollo (Ld)	120.31 cm	(Ldh)	78.73 cm	
Número de varillas	6											
Diámetro de varillas	22 mm											
Separación de varillas	39 cm											
Longitud de desarrollo (Ld)	120.31 cm											
(Ldh)	78.73 cm											
<p>Observaciones: Los resultados varían en referencia a la bibliografía, por lo que puede deberse a que la misma está basada en ACI 318-08 y el programa desarrollado y SAFE trabajan con ACI 318-19, por lo que las fórmulas de esta última deben estar mejor desarrolladas.</p>												

Como se puede notar, los resultados obtenidos son muy similares a las respuestas proporcionadas en el ejemplo de este libro. Esto se debe a que el programa y el libro utilizan unidades de medida diferentes.

En el caso de la verificación por cortante de punzonamiento el valor del esfuerzo cortante que resiste el hormigón ΦV_c varia, esto se debe a que las nuevas expresiones o fórmulas de cortante son mejor desarrolladas que las que se emplea en los libros de McCormac y Brown y de Wight y MacGregor ya que fueron realizados en base al ACI 318-08, en contraste con el programa que fue desarrollado em base al ACI 318-19.

Después de comprobar que los resultados obtenidos en el programa coinciden con los del libro, se procede a mostrar el programa con algunas modificaciones

realizadas para una mejor introducción de datos y fácil lectura de resultados y verificaciones.

DATOS DE ENTRADA VERIFICACIONES DATOS DE SALIDA PLANO GUIA DE USUARIO

ZAPATA AISLADA CENTRAL

ESTE PROGRAMA SE DISTRIBUYE "TAL CUAL".
NO SE OFRECE NINGÚN TIPO DE GARANTIA EXPRESA O IMPLÍCITA.
USTED UTILIZA EL PROGRAMA BAJO SU PROPIA RESPONSABILIDAD.

Autores:
Jonnathan Paul Criollo Chimbo
Eduardo Palma

MATERIALES

Esfuerzo admisible del Suelo, q_{adm}	<input type="text" value="1.8"/>	<input type="text" value="kgf/(cm<sup>2</sup>)"/> ▾
Resistencia del hormigón, f_c	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="kgf/(cm<sup>2</sup>)"/> ▾
Resistencia del acero, f_y	<input type="text" value="4200"/>	<input type="text" value="kgf/(cm<sup>2</sup>)"/> ▾
Peso específico del suelo, γ_{suelo}	<input type="text" value="1800"/>	<input type="text" value="kgf/(m<sup>3</sup>)"/> ▾

CARGAS Y MOMENTOS

Axil por Carga muerta	<input type="text" value="43.76"/>	<input type="text" value="tonnef"/> ▾
Axil por Carga viva	<input type="text" value="15.1"/>	<input type="text" value="tonnef"/> ▾
Axil por Carga sísmica	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="tonnef"/> ▾
Momento por carga muerta en x	<input type="text" value="-0.08"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾
Momento por carga muerta en y	<input type="text" value="-0.03"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾
Momento por carga viva en x	<input type="text" value="-0.11"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾
Momento por carga viva en y	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾
Momento por carga sísmica en x	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾
Momento por carga sísmica en y	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="tonnef m"/> ▾

Figura 68. Datos de entrada mejorados.

DIMENSIONES

Base de zapata (mínimo 1m), B m

Ancho de zapata (mínimo 1m), H m

Altura estimada de zapata (mínimo 30cm), h cm

Base de columna, b m

Ancho de columna, a m

Profundidad de desplante (mínimo 1m), Df m

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata

Figura 69. Datos de entrada mejorados.

DATOS DE ENTRADA VERIFICACIONES DATOS DE SALIDA PLANO GUIA DE USUARIO

VERIFICACIONES

Chequeo por Cortante en una Direccion	$Vu_x: 16.72 \leq \phi Vc_x: 50.69 \text{ tonnef}$	Cumple
	$Vu_y: 16.73 \leq \phi Vc_y: 50.69 \text{ tonnef}$	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	$Vu: 65.77 \leq \phi Vc: 158.72 \text{ tonnef}$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del suelo	$q_{max}: 13.47 \leq q_{adm}: 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	$N_{actuante}: 1326.00 < N_{resistente}: 2652.00 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple

Figura 70. Verificaciones.

DATOS DE ENTRADA VERIFICACIONES DATOS DE SALIDA PLANO GUIA DE USUARIO

CARACTERISTICAS DE ZAPATA

DIMENSIONES DE ZAPATA	Sentido B	2.10 m
	Sentido H	2.10 m
	Espesor de zapata (h)	48 cm
OTROS PARAMETROS	Area de zapata	4.41 m ²
	Peralte efectivo de zapata (d)	39 cm
	Recubrimiento usado	7.5 cm
	Peso especifico del hormigón	2400 kg/m ³

Figura 71. Datos de salida.

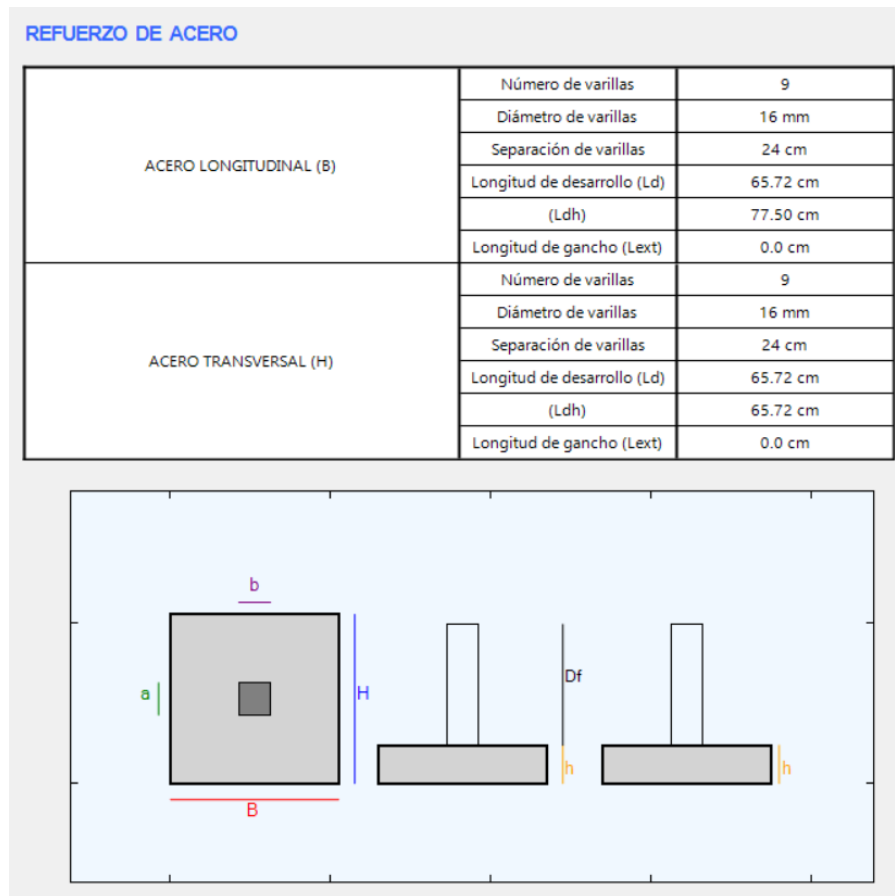


Figura 72. Datos de salida.

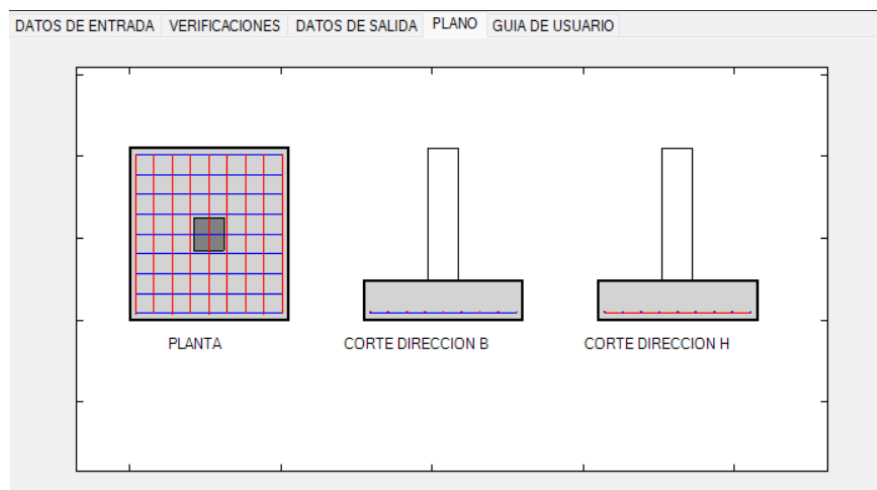


Figura 73. Plano.



Refuerzo longitudinal: ϕ 16mm @24cm
Refuerzo transversal: ϕ 16mm @24cm
Cantidad de Hormigón: 2.09 m3
Cantidad de Acero: 184.7 kg
Cantidad de suelo a extraer: 8.71 m3

Figura 74. Planilla de materiales.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones.

A. Conclusiones

El programa presentado ha sido exitosamente desarrollado para permitir el dimensionamiento simple y la verificación de zapatas aisladas centrales, teniendo en cuenta, que solo puede calcular zapatas centrales. Esto se logró desarrollando un algoritmo y programación idóneos para el funcionamiento correcto de esta herramienta.

El desarrollo del algoritmo y posterior programación se basó en una revisión bibliográfica previa que proporcionó información esencial sobre el análisis de este tipo de cimentaciones superficiales.

El programa desarrollado por el autor lo ha llamado JPZAP, el cual, facilita de manera rápida y sencilla el dimensionamiento y la verificación de una zapata aislada central. Ofrece una funcionalidad que permite presentar los resultados de forma clara, con pestañas separadas para que los usuarios puedan interpretarlos correctamente. Los cálculos involucran variables de diseño como las dimensiones del cimiento y peralte efectivo, entre otras. Este programa tiene la capacidad de realizar análisis de corte unidireccional y corte bidireccional o Punzonamiento realizando las verificaciones necesarias. Además, puede determinar el refuerzo de acero requerido para la zapata aislada analizada.

La herramienta desarrollada ha sido validada poniéndola en contraste con resultados de casos planteados que se los extrajo de la bibliografía usada para este trabajo y también con un software privado llamado SAFE en su versión 21, en donde se realizó la respectiva modelación de los mismos casos planteados. La diferencia en la variación entre resultados es de 7% aproximadamente y en términos generales. Es por

ello, que se llegó a la conclusión de que el programa desarrollado está funcionando de manera correcta, ya que los resultados comparados son muy semejantes entre sí.

El desarrollo de la guía del usuario dentro del programa, la misma que se encuentra ubicada en la última pestaña, será de gran utilidad para estudiantes, docentes y profesionales que lo utilicen, ya que dentro de ella se da información relevante para el correcto manejo de esta herramienta creada.

B. Recomendaciones.

El continuo avance en el desarrollo de programas desempeña un papel crucial en el campo de la ingeniería civil, ya que contribuye a agilizar el proceso de diseño y verificación de estructuras. Por lo tanto, se sugiere seguir adelante con la creación de programas similares, de modo que existan herramientas específicas para abordar diversos tipos de estructuras tanto de hormigón como de acero.

Se recomienda mantener la actualización y mejoría continua de estos programas, con el objetivo de integrar el desarrollo de aplicaciones de software libre que puedan automatizar el detalle de estas estructuras, así como, la generación automática de planos.

Es importante analizar cuidadosamente los datos de entrada, especialmente los valores de materiales, axiles y momentos, para garantizar la conformidad con las verificaciones necesarias de este tipo de elementos de cimentación.

Para utilizar de manera efectiva el programa JPZAP, se aconseja leer detenidamente la guía del usuario.

Referencias Bibliográficas

- ACI Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19): An ACI Standard ; Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19). American Concrete Institute.
https://books.google.com.ec/books?id=5O_PxQEACAAJ
- Barrera Romero, A. F. (2022). Aplicación de software especializado para diseño de zapatas en edificaciones. Universidad Católica de Cuenca.
- Cabrera Palacios, E. G. (2010). Estudio comparativo de cimentaciones aisladas en la ciudad de Cuenca diseñadas por el método de la presión admisible con los obtenidos aplicando el método de los estados límites [Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2524>
- Calavera Ruiz, J. (2000). Cálculo de Estructuras de Cimentación (4 Edición).
- Cifuentes Rueda, N. L. C., & Malagon Torres, G. (2018). Software de aplicación para el análisis y diseño estructural de cimentaciones superficiales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Crespo Escobar, S. (2013). Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario.
<https://books.google.com.cu/books?id=Jis5DwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Darwin, D., Dolan, C. W., & Nilson, A. H. (2016). Design of concrete structures (Fifteenth edition). McGraw-Hill Education.
- Fine Software. (2023). Software Geotecnico GEO5.
<https://www.finesoftware.es/software-geotecnico/>
- Fratelli, M. G. (1993). Suelo, Fundaciones y Muros. M.G. Fratelli.
<https://books.google.co.ve/books?id=2OKqBAAACAAJ>

- Garza Vasquez, L. (2000). Diseño y Construcción de Cimentaciones. Universidad Nacional de Colombia.
- Gavilán Rojas, Á. (Director). (2020). CURSO - Smath Studio.
https://www.youtube.com/playlist?list=PLmlHs7mJNSf_towybanvlf-yd-hTx3shc
- Guerra A., M. (2013). Diseño de Cimentaciones Sismo Resistentes Utilizando SAFE (Primera Edición).
- Harmsen, T. E. (2002). Diseño de estructuras de concreto armado (Tercera Edición). Fondo Editorial. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenode-estructuras-de-concreto-harmsen.pdf>
- Ivashov, A. (2006). SMath Studio. <https://smath.com/en-US/view/smathstudio/summary>
- Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). Materiales Para Ingeniería Civil (2da Edición). Pearson Educación S. A.
- Mc Cormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado (octava edición). Alfaomega Grupo Editor.
- Morales, R. (2013). Diseño en Concreto Armado (Décima Edición). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Moreta, P. C. S. (2017). Desarrollo de una aplicación basada en Matlab para el cálculo de cimentaciones superficiales aisladas. Universidad Técnica de Ambato.
- NEC-15. (2014a). Cargas (No Sísmicas). Dirección De Comunicación Social, MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- NEC-15. (2014b). NEC - SE - VIVIENDA Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Dirección De Comunicación Social, MIDUVI.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Rodríguez Serquén, W. (s. f.). Diseño de zapatas aisladas. 11.

Segura Franco, J. I. (2011). Estructuras de concreto I (Séptima Edición). Universidad Nacional de Colombia.

SkyCiv. (2023). Software de cimentaciones SkyCiv | SkyCiv Engineering. Software de análisis estructural en la nube SkyCiv | Calculadoras y software de análisis estructural en la nube. <https://skyciv.com/structural-software/s3d-structural-analysis-software/>

Soil Structure. (2023). Shallow Foundation Software.

<https://soilstructure.com/structural-software/shallow-foundation/>

Urroz, G. (2012). Introducción a la Programación con Smath Studio.

<https://smath.com/wiki/GetFile.aspx?File=Tutorials%2FProgramarConSMathStudio2012.pdf>

Viloria Arias, Y. C. (2014). Elaboración de un software para el diseño de cimentaciones superficiales basado en la NSR10 [Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. <http://repositorio.ufpso.edu.co/jspui/handle/123456789/2070>

Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). Reinforced Concrete Mechanics & Design (Sexta Edición). PEARSON.

https://www.academia.edu/41973025/James_K_Wight_James_G_MacGregor_Reinforced_Concrete_Mechanics_and_Design_6th_Edition_Prentice_Hall_2011_

Índice de Anexos

Anexo 1 Codificación del Programa	111
Anexo 2 Catálogo Adelca de varillas de refuerzo	153

A. Anexo 1

Codificación del Programa

— DATOS DE ENTRADA —

ZAPATA AISLADA CENTRAL

ESTE PROGRAMA SE DISTRIBUYE "TAL CUAL".

NO SE OFRECE NINGÚN TIPO DE GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA.

USTED UTILIZA EL PROGRAMA BAJO SU PROPIA RESPONSABILIDAD.

Autores:

Jonnathan Paul Criollo Chimbo

Eduardo Palma



$diam :=$

- "8 mm" 8 mm
- "10 mm" 10 mm
- "12 mm" 12 mm
- "14 mm" 14 mm
- "16 mm" 16 mm
- "18 mm" 18 mm
- "20 mm" 20 mm
- "22 mm" 22 mm
- "25 mm" 25 mm
- "28 mm" 28 mm
- "32 mm" 32 mm
- "36 mm" 36 mm

Diam. (mm)	TABLA DE VITILLAS				TOLERANCIA			
	2 m		4 m					
Kg/m	Kg	Var x Qg	Kg	Var x Qg				
8	0.395	4.340	9.548	3.553	12.757	2.370	19.136	± 50mm
10	0.617	7.464	6.125	5.553	8.187	3.702	12.251	
12	0.888	10.656	4.256	7.992	5.675	5.328	8.512	
14	1.208	14.496	3.128	10.872	4.571	7.248	4.257	
16	1.578	18.936	2.395	14.202	3.393	9.468	4.790	
18	1.998	23.976	1.892	17.982	2.522	11.988	3.283	
20	2.466	29.592	1.533	22.194	2.043	14.796	3.065	
22	2.984	35.808	1.267	26.856	1.689	17.904	2.533	
25	3.853	46.236	0.981	34.677	1.308	23.118	1.962	
28	4.834	58.008	0.762	43.506	1.062	29.004	1.564	
32	6.133	73.756	0.599	56.817	0.798	37.878	1.197	
36	7.992	95.880	0.473	71.910	0.631	47.940	0.946	

PROPIEDADES MECANICAS		Mpa	kgf/cm ²
Límite de fluencia mínimo		420	42
Límite de fluencia máximo		540	55
Resistencia a la tracción mínima		350	36

CONEXIÓN A 90°			
Dámetro nominal (di)		Dámetro del anclaje	
Ø-18		3Ø	
Ø-25		4Ø	
Ø-32		6Ø	

ALARGAMIENTO EN BARRIO CON FIBRA		mm/mm
Dámetro nominal (mm)	%	
Ø-25		14
Ø-32		12

MATERIALES

Esfuerzo admisible del Suelo

$$q_{adm} := 1,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia del hormigón

$$f'c := 240 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia del acero

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Peso específico del suelo

$$\gamma_{\text{suelo}} := 1800 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

CARGAS Y MOMENTOS

Axil por Carga viva

$$P_L := 15,10 \text{ tonnef}$$

Axil por Carga muerta

$$P_D := 43,76 \text{ tonnef}$$

Axil por Carga sismica

$$P_E := 0 \text{ tonnef}$$

Momento por carga viva en x

$$M_{X_L} := (-0,11) \text{ tonnef m}$$

Momento por carga viva en y

$$M_{Y_L} := 0,01 \text{ tonnef m}$$

Momento por carga muerta en x

$$M_{X_D} := (-0,08) \text{ tonnef m}$$

Momento por carga muerta en y

$$M_{Y_D} := (-0,03) \text{ tonnef m}$$

Momento por carga sismica en x

$$M_{X_E} := 0 \text{ tonnef m}$$

Momento por carga sismica en y

$$M_{Y_E} := 0 \text{ tonnef m}$$

DIMENSIONES

Base de zapata
(minimo 1m)

$$a := 2,1 \text{ m}$$

Ancho de zapata
(minimo 1m)

$$b := 2,1 \text{ m}$$

Altura estimada de zapata
(minimo 30cm)

$$h := 45 \text{ cm}$$

Base de columna

$$a_0 := 0,4 \text{ m}$$

Ancho de columna

$$b_0 := 0,4 \text{ m}$$

Altura de desplante (minimo 1m)

$$D_f := 1,5 \text{ m}$$

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata

16 mm



□

Vuelo en la dirección "a" $v_a := \frac{a - a_0}{2} = 85 \text{ cm}$

Vuelo en la dirección "b" $v_b := \frac{b - b_0}{2} = 85 \text{ cm}$

```
CreateRect (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "rect"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out_6 := fc
  out
```

```
CreateLine (pp; lc; w) :=
  out_1 := "line"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out
```

```
CreateCircle (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "circle"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  if fc = "none"
    1
  else
    out_6 := fc
  out
```

```
zapata := CreateRect (stack (0; 0; a; b); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (v_a; v_b; a_0; b_0); "black"; 1; "gray")
```

```
planta := [ [ zapata ]
            [ pilar ] ]
```

```
x_0 := a + 50 cm
```

```
zapata := CreateRect (stack (x_0; 0; a; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_0 + v_a; h; a_0; D_f); "black"; 1; "none")
```

```
alzado_a := [ [ zapata ]
              [ pilar ] ]
```

```
x_0 := x_0 + a + 50 cm
```

```
zapata := CreateRect (stack (x_0; 0; b; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_0 + v_b; h; b_0; D_f); "black"; 1; "none")
```

```
alzado_b := [ [ zapata ]
              [ pilar ] ]
```

```
l_B := CreateLine (stack (0; 0 - 0,2 m; a; 0 - 0,2 m); "red"; 1)
```

```
l_H := CreateLine (stack (0 + a + 0,20 m; 0; a + 0,20 m; 0 + b); "blue"; 1)
```

```
l_a0 := CreateLine (stack (0 + v_a; b + 0,15 m; a - v_a; b + 0,15 m); "purple"; 1)
```

```
l_b0 := CreateLine (stack (0 - 0,15 m; v_b; 0 - 0,15 m; b - v_b); "green"; 1)
```

```
l_h1 := CreateLine (stack (a · 2 + 0,7 m; 0; a · 2 + 0,7 m; 0 + h); "orange"; 1)
```

```
l_h2 := CreateLine (stack (2 · a + b + 1,2 m; 0; 2 · a + b + 1,2 m; 0 + h); "orange"; 1)
```

```
l_df := CreateLine (stack (0 + a · 2 + 0,7 m; h; a · 2 + 0,70 m; h + D_f); "black"; 1)
```

```
longitudes := [ [ l_B ]
                [ l_H ]
                [ l_a0 ]
                [ l_b0 ]
                [ l_h1 ]
                [ l_h2 ]
                [ l_df ] ]
```

```

títulos := [
  a + 20 cm    0,2 m +  $\frac{b}{2}$     "H" 10 "blue"
  0 +  $\frac{a}{2,3}$     0 - 0,2 m    "B" 10 "red"
  0 - 0,40 m    vb + b0    "b" 10 "green"
  va +  $\frac{a_0}{4}$     b + 0,5 m    "a" 10 "purple"
  2 · a + 70 cm    h    "h" 10 "orange"
  2 · a + b + 1,2 m    h    "h" 10 "orange"
  a + a + 70 cm    h +  $\frac{D_f}{2}$     "Df" 9 "black"

```

```

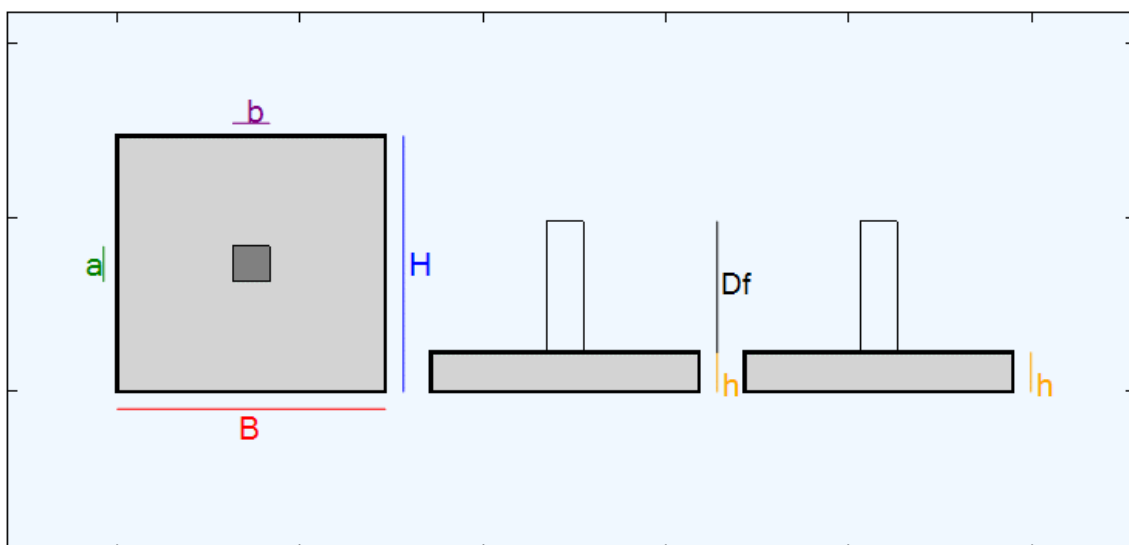
títulose := [
  1 m 1 m    ""    10 "blue"
  2 m 2 m "LA GEOMETRIA NO ES VALIDA" 10 "red"
  0 0    ""    10 "green"
  0 0    ""    10 "purple"
  0 h    ""    10 "orange"
  0 h    ""    10 "orange"
  0 0    ""    9 "black"

```

```

if (a0 > a) ∨ (b0 > b)
  títulos := títulose
  planta := 0
  alzado_a := 0
  alzado_b := 0
  longitudes := 0
else
  títulos := títulos
  planta := planta
  alzado_a := alzado_a
  alzado_b := alzado_b
  longitudes := longitudes

```



—VERIFICACIONES—

□—CÁLCULO—

Coeficiente para mayoracion de cargas/momentos $Y_D := 1,2$

Coeficiente para mayoracion de cargas/momentos $Y_L := 1,6$

aumento de esfuerzo admisible de suelo (solo si existe carga sismica) $\left| \begin{array}{l} \text{if } P_E \neq 0 \\ q_{adm} := q_{adm} + (q_{adm} \cdot 33 \%) = 1,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{else} \\ q_{adm} := q_{adm} \end{array} \right.$

espacio libre desde el filo de columna hasta filo de zapata en la dirección "a" $v_a := \frac{a - a_0}{2} = 85 \text{ cm}$

espacio libre desde el filo de columna hasta filo de zapata en la dirección "b" $v_b := \frac{b - b_0}{2} = 85 \text{ cm}$

recubrimiento minimo $rec := 7,5 \text{ cm}$

Diámetro de varillas para el armado de la zapata $\varphi_z := pos_d_z = 16 \text{ mm}$

Esfuerzo real del suelo $q_{real,suelo} := q_{adm} - (Y_{suelo} \cdot D_f) - (Y_{ho} \cdot h) = 1,422 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Area estimada de zapata en funcion de las cargas $A := \frac{(P_D + P_L + P_E)}{q_{real,suelo}} = 4,1392 \text{ m}^2$

lado base de zapata cuadrada sugerido $a_z := \sqrt{A} = 2,03 \text{ m}$

lado ancho de zapata cuadrada sugerido $b_z := a_z = 2,03 \text{ m}$

$a_z := \text{round}(a_z; 1; 1) = 2 \text{ m}$

$b_z := \text{round}(b_z; 1; 1) = 2 \text{ m}$

$\left| \begin{array}{l} \text{if } a = b \\ (B := a_z) \wedge (H := b_z) \\ \text{else} \\ (B := a) \wedge (H := b) \end{array} \right.$

Valor de B para diseño $B = 2 \text{ m}$

$$\text{Valor de H para diseño } H = 2 \text{ m}$$

$$\text{Area de diseño de zapata } A_z := B \cdot H = 4,41 \text{ m}^2$$

$$\text{peralte efectivo para diseño } d := h - \left(\text{rec} + \frac{\varphi_z}{2} \right) = 36,7 \text{ cm}$$

$$P_{U1} := (1,4 \cdot P_D) = 61,264 \text{ tonnef}$$

$$P_{U2} := (Y_D \cdot P_D) + (Y_L \cdot P_L) = 76,672 \text{ tonnef}$$

$$P_{U5} := (Y_D \cdot P_D) + (1,0 \cdot P_E) + P_L = 67,612 \text{ tonnef}$$

$$P_{U7} := (0,9 \cdot P_D) + (1,0 \cdot P_E) = 39,384 \text{ tonnef}$$

$$M_{x_u1} := (1,4 \cdot Mx_D) = -0,112 \text{ m tonnef}$$

$$M_{x_u2} := (Y_D \cdot Mx_D) + (Y_L \cdot Mx_L) = -0,272 \text{ m tonnef}$$

$$M_{x_u5} := (Y_D \cdot Mx_D) + (1,0 \cdot Mx_E) + Mx_L = -0,206 \text{ m tonnef}$$

$$M_{x_u7} := (0,9 \cdot Mx_D) + (1,0 \cdot Mx_E) = -0,072 \text{ m tonnef}$$

$$M_{y_u1} := (1,4 \cdot My_D) = -0,042 \text{ m tonnef}$$

$$M_{y_u2} := (Y_D \cdot My_D) + (Y_L \cdot My_L) = -0,02 \text{ m tonnef}$$

$$M_{y_u5} := (Y_D \cdot My_D) + (1,0 \cdot My_E) + My_L = -0,026 \text{ m tonnef}$$

$$M_{y_u7} := (0,9 \cdot My_D) + (1,0 \cdot My_E) = -0,027 \text{ m tonnef}$$

if $P_E \neq 0$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_U := \text{Max} (P_{U5} ; P_{U7}) \\ M_{x_u} := \text{Max} (M_{x_u5} ; M_{x_u7}) \\ M_{y_u} := \text{Max} (M_{y_u5} ; M_{y_u7}) \end{array} \right.$$

else

$$\left\{ \begin{array}{l} P_U := \text{Max} (P_{U1} ; P_{U2}) \\ M_{x_u} := \text{Max} (M_{x_u1} ; M_{x_u2}) \\ M_{y_u} := \text{Max} (M_{y_u1} ; M_{y_u2}) \end{array} \right.$$

excentricidades normales

excentricidad en x

$$e_x := \frac{M_x}{P} = -0,0032 \text{ m}$$

excentricidad en y

$$e_y := \frac{M_y}{P} = -0,0003 \text{ m}$$

excentricidades factorizadas

excentricidad factorizada en x

$$e_{xu} := \frac{M_{xu}}{P_U} = -0,004 \text{ m}$$

excentricidad factorizada en y

$$e_{yu} := \frac{M_{yu}}{P_U} = 0 \text{ m}$$

esfuerzos normales - direccion x

esfuerzo normal max - direccion x

$$q_{max_x} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_x \cdot 6}{B} \right) = 13,22 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo normal min - direccion x

$$q_{min_x} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_x \cdot 6}{B} \right) = 13,47 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos normales - direccion y

esfuerzo normal max - direccion y

$$q_{max_y} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_y \cdot 6}{H} \right) = 13,33 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo normal min - direccion y

$$q_{min_y} := \left(\frac{P}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_y \cdot 6}{H} \right) = 13,36 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos últimos - direccion x

esfuerzo último max - direccion x

$$q_{u_max_x} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_{xu} \cdot 6}{B} \right) = 17,21 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo último min - direccion x

$$q_{u_min_x} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_{xu} \cdot 6}{B} \right) = 17,56 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzos ultimos - direccion y

esfuerzo último max - direccion y

$$q_{u_max_y} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 + \frac{e_{yu} \cdot 6}{H} \right) = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo último min - direccion y

$$q_{u_min_y} := \left(\frac{P_U}{A_z} \right) \cdot \left(1 - \frac{e_{yu} \cdot 6}{H} \right) = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Esfuerzo max para calculo $q_{u_max} = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Esfuerzo mim para calculo $q_{u_min} = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$

☐—VERIFICACIÓN AL PUNZONAMIENTO

condición a cumplir $V_U \leq \phi \cdot V_C$

factor de reducción de resistencia para corte $\phi_c := 0,75$

peralte tentativo $d_1 = 36,7 \text{ cm}$

para concreto de peso normal $\lambda := 1$

perímetro crítico de punzonamiento $b_o := 2 \cdot (a_o + d_1) + 2 \cdot (b_o + d_1) = 3,07 \text{ m}$

relación del lado largo al lado corto de la columna

$$\beta = \frac{\text{lado_largo_col}}{\text{lado_corto_col}}$$

```

if a0 > b0
  lado_largo_col := a0
  lado_corto_col := b0
else
  if a0 < b0
    lado_largo_col := b0
    lado_corto_col := a0
  else
    if a0 = b0
      lado_largo_col := b0
      lado_corto_col := a0
    else
      lado_largo_col := a0
      lado_corto_col := b0

```

$$\beta := \frac{\text{lado_largo_col}}{\text{lado_corto_col}} = 1$$

para columnas de interiores el valor es 40 $\alpha_s := 40$

ecuacion 1 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C1} := 1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 170,4113 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

ecuacion 2 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C2} := 0,53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 246,3217 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

ecuacion 3 - ACI 318-19 tabla 22.6.5.2

$$V_{C3} := 0,27 \cdot \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d_1}{b_o}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 283,7993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{C_P} := \text{Min} \left(V_{C1}; V_{C2}; V_{C3} \right) = 170,4113 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

esfuerzo capaz de resistir el concreto $\phi V_{C_P} := \phi \cdot V_{C_P} \cdot b_o \cdot d_1 = 143,91 \text{ tonnef}$

area de insidencia para punzonamiento $A_{ins_p} := A_z - ((a_o + d_1) \cdot (b_o + d_1)) = 3,8217 \text{ m}^2$

fuerza cortante de punzonamiento a una distancia "d/2" $q_{real_p} := \frac{q_{u_max} + q_{u_min}}{2} = 17,39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

cortante último de zapata $V_{U_P} := A_{ins_p} \cdot q_{real_p} = 66,444 \text{ tonnef}$

Verificación al punzonamiento

```

 $\phi_o := 0,75$ 
 $d_1$ 
 $\lambda := 1$ 
 $b_o := 2 \cdot (a_o + d_1) + 2 \cdot (b_o + d_1)$ 
 $V_{C1} := 1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$ 
 $\beta := \frac{a_o}{b_o}$ 
 $V_{C2} := 0,53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$ 
 $\alpha_s := 40$ 
 $V_{C3} := 0,27 \cdot \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d_1}{b_o}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$ 
 $V_{C\_P} := \text{Min}(V_{C1}; V_{C2}; V_{C3})$ 
 $\phi V_{C\_P} := \phi_o \cdot V_{C\_P} \cdot b_o \cdot d_1$ 
 $V_{U\_P} := P_U - \left( \left( \frac{q_{u\_max} + q_{u\_min}}{2} \right) \cdot ((a_o + d_1) \cdot (b_o + d_1)) \right)$ 
if  $V_{U\_P} \leq \phi V_{C\_P}$ 
  "NO FALLA POR PUNZONAMIENTO"
else
  "FALLA POR PUNZONAMIENTO"

```

= "NO FALLA POR PUNZONAMIENTO"

□—VERIFICACION POR AFLASTAMIENTO—

área de columna $A_1 := a_o \cdot b_o = 0,16 \text{ m}^2$

área de zapata $A_z = 4,41 \text{ m}^2$

relación área zapata/columna $r_1 := \sqrt{\frac{A_z}{A_1}} = 5,25$

la relación no puede exceder el valor de 2 $r_1 := \text{if } r_1 \geq 2$
 2
 else
 r_1

factor de reducción de resistencia por aplastamiento(para columna estribada) $\phi_{ap} := 0,65$

resistencia de aplastamiento de zapata $R_{ZAP} := 0,85 \cdot \phi_{ap} \cdot f'c \cdot r_1 = 2652 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

resistencia de aplastamiento de la columna $R_{COL} := 0,85 \cdot \phi_{ap} \cdot f'c = 1326 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Verificación por aplastamiento

```

A1 := a0 · b0                                = "NO FALLA POR APLASTAMIENTO"
As
r1 := √(As / A1)
r1_s := if r1 ≥ 2
        2
      else
        r1
ϕap := 0,65
RCOL := 0,85 · ϕap · f'c
RZAP := 0,85 · ϕap · f'c · r1_s
if RZAP > RCOL
  "NO FALLA POR APLASTAMIENTO"
else
  "FALLA POR APLASTAMIENTO"

```

—DISEÑO DE ACERO—

—DATOS PRELIMINARES—

peralte efectivo estimado $d, := d_1 = 36,7 \text{ cm}$

recubrimiento mínimo cimentaciones $rec = 7,5 \text{ cm}$

diámetro de refuerzo en zapata $\phi_z := pos_d_z = 16 \text{ mm}$

factor de reducción de resistencia por flexión $\phi_f := 0,9$

cuantía mínima para zapatas $\rho := 0,0018$

—ACERO LONGITUDINAL—

distancia desde la cara de la columna hasta la cara del cimiento $x_1 := \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} = 0,85 \text{ m}$

$$\text{esfuerzo en la cara de la columna } q'' := \frac{x_1 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{B} + q_{u_min} = 17,38 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Momento de flexión } M_{U_L} := \left(\frac{q'' \cdot (x_1^2)}{2} \right) \cdot B = 13,19 \text{ tonnef m}$$

$$\text{acero mínimo } A_{s_min_L} := \rho \cdot (B \cdot h) = 17,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{acero requerido } A_{s_req_L} := \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot B}{f_y} \cdot \left(d_1 - \sqrt{d_1^2 - \frac{2 \cdot M_{U_L}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'_c \cdot B}} \right) = 9,63 \text{ cm}^2$$

$$\text{acero de diseño } A_{s_L} := \text{Max} (A_{s_min_L}; A_{s_req_L}) = 17,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{área de varilla } A_v := \frac{\pi \cdot \phi_z^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{número de varillas } N_{v_L} := \left\lceil \frac{A_{s_L}}{A_v} \right\rceil = 9$$

$$\text{área de acero de diseño } A_{ace_colocar_L} := A_v \cdot N_{v_L} = 18,1 \text{ cm}^2$$

$$\text{separación de refuerzo } S_{long_L} := \frac{B - (2 \cdot rec) - \phi_z}{N_{v_L} - 1} = 24,2 \text{ cm}$$

$$\text{separación mínima } S_{min, long} := \text{Max} (1 \text{ in}; \phi_z; 1 \text{ in}) = 2,54 \text{ cm}$$

$$\text{separación máxima } S_{max, long} := \text{Min} (18 \text{ in}; 2 \cdot h) = 45,72 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &:= \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} \\
 q''' &:= \frac{x_1 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{B} + q_{u_min} \\
 M_{U_L} &:= \left(\frac{q''' \cdot (x_1^2)}{2} \right) \cdot B \\
 A_{s_min_L} &:= \rho \cdot (B \cdot h) \\
 A_{s_req_L} &:= 0,85 \cdot \frac{f'c \cdot B \cdot d_1}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{U_L}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot B \cdot d_1^2}} \right) \\
 A_{s_L} &:= \text{Max} (A_{s_min_L}; A_{s_req_L}) \\
 A_v &:= \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} \\
 N_{v_L} &:= \left\lfloor \frac{A_{s_L}}{A_v} \right\rfloor \\
 A_{soe_colocar_L} &:= A_v \cdot N_{v_L} \\
 S_{long_L} &:= \frac{B - (2 \cdot rec) - \phi_s}{N_{v_L} - 1} \\
 s_{min, long} &:= \text{Max} (1 \text{ in}; \phi_s; 1 \text{ in}) \\
 s_{max, long} &:= \text{Min} (18 \text{ in}; 2 \cdot h)
 \end{aligned}$$

□— ACERO TRANSVERSAL

distancia desde la cara de la columna hasta la cara del cimientto $x_3 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} = 0,85 \text{ m}$

esfuerzo en la cara de la columna $q''' := \frac{x_3 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{H} + q_{u_min} = 17,38 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Momento de flexión $M_{U_T} := \left(\frac{q''' \cdot (x_3^2)}{2} \right) \cdot H = 13,19 \text{ tonnef m}$

acero mínimo $A_{s_min_T} := \rho \cdot (H \cdot h) = 17,01 \text{ cm}^2$

acero requerido $A_{s_req_T} := 0,85 \cdot \frac{f'c \cdot H \cdot d_1}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{U_T}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot H \cdot d_1^2}} \right) = 9,63 \text{ cm}^2$

acero de diseño $A_{s_T} := \text{Max} (A_{s_min_T}; A_{s_req_T}) = 17,01 \text{ cm}^2$

$$\text{área de varilla} \quad A_v := \frac{\pi \cdot \varphi_z^2}{4} = 2,0106 \text{ cm}^2$$

$$\text{número de varillas} \quad N_{v_T} := \left\lceil \frac{A_{s_T}}{A_v} \right\rceil = 9$$

$$\text{área de acero de diseño} \quad A_{ace_colocar_T} := A_v \cdot N_{v_T} = 18,1 \text{ cm}^2$$

$$\text{espaciamiento} \quad S_{long_T} := \frac{H - (2 \cdot rec) - \varphi_z}{N_{v_T} - 1} = 24,2 \text{ cm}$$

$$\text{separación mínima} \quad S_{min,trans} := \text{Max}(1 \text{ in}; \varphi_z; 1 \text{ in}) = 2,54 \text{ cm}$$

$$\text{separación máxima} \quad S_{max,trans} := \text{Min}(18 \text{ in}; 2 \cdot h) = 45,72 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &:= \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} \\
 q'''' &:= \frac{x_3 \cdot (q_{u_max} - q_{u_min})}{H} + q_{u_min} \\
 M_{U_T} &:= \left(\frac{q'''' \cdot (x_3^2)}{2} \right) \cdot H \\
 A_{s_min_T} &:= \rho \cdot (H \cdot h) \\
 A_{s_req_T} &:= 0,85 \cdot \frac{f'c \cdot H \cdot d_1}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{U_T}}{0,85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot H \cdot d_1^2}} \right) \\
 A_{s_T} &:= \text{Max} \left(A_{s_min_T}; A_{s_req_T} \right) \\
 A_v &:= \frac{\pi \cdot \phi_z^2}{4} \\
 N_{v_T} &:= \left\lceil \frac{A_{s_T}}{A_v} \right\rceil \\
 A_{ace_colocar_T} &:= A_v \cdot N_{v_T} \\
 S_{long_T} &:= \frac{H - (2 \cdot rec) - \phi_z}{N_{v_T} - 1} \\
 s_{min,trans} &:= \text{Max} \left(1 \text{ in}; \phi_z; 1 \text{ in} \right) \\
 s_{max,trans} &:= \text{Min} \left(18 \text{ in}; 2 \cdot h \right)
 \end{aligned}$$

□—LONGITUD DE DESARROLLO—

condición a cumplir $l_{du_B} \geq l_d$

diámetro de barra de refuerzo en zapata $\phi_{ld} := \phi_z = 16 \text{ mm}$

factor de modificación - ubicación del refuerzo (menor a 300mm)

$$\Psi_t := 1$$

factor de modificación - recubrimiento epóxico (sin recubrimiento)

$$\Psi_e := 1$$

factor de modificación - grado del refuerzo
(grado 420)

$$\Psi_g := 1$$

factor de modificación
(peso del concreto: normal)

$$\lambda := 1$$

longitud de desarrollo para ϕ de barra $\leq 20\text{mm}$

$$l_{d_{\phi 20}} := \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_g}{6,6 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) \cdot \phi_{1d} = 65,7234 \text{ cm}$$

longitud de desarrollo para ϕ de barra $> 22\text{mm}$

$$l_{d_{\phi 22}} := \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_g}{5,3 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) \cdot \phi_{1d} = 81,8442 \text{ cm}$$

distancia desde la cara de columna hasta
el filo de zapata (sentido B)

$$x_B := \frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} = 0,85 \text{ m}$$

distancia desde la cara de columna hasta
el filo de zapata (sentido H)

$$x_H := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} = 0,85 \text{ m}$$

long desarrollo última (sentido B) $l_{du_B} := (x_B - rec) = 77,5 \text{ cm}$

long desarrollo última (sentido H) $l_{du_H} := (x_H - rec) = 77,5 \text{ cm}$

```

Ψc
Ψe
Ψg
λ
if φ1d ≤ 20 mm
  ld_B := ld_φ20
else
  ld_B := ld_φ22
end
xB
xH
ldu_B
ldu_H
if ldu_B ≥ ld_B
  GB := "CUMPLE PARA EL LADO B"
else
  GB := "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO B"
if GB = "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO B"
  ldh_B := (xB - rec)
  lext_B := ld_B - ldu_B
else
  lext_B := 0

```

```

Ψc
Ψe
Ψg
λ
if ϕ1d ≤ 20 mm
    ld_H := ld_ϕ20
else
    ld_H := ld_ϕ22
end
xB
xH
ldu_B
ldu_H
if ldu_H ≥ ld_H
    GH := "CUMPLE PARA EL LADO H"
else
    GH := "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO H"
if GH = "REQUIERE GANCHO EN SENTIDO H"
    ldh_H := (xH - rec)
    lext_H := ld_H - ldu_H
else
    lext_H := 0

```

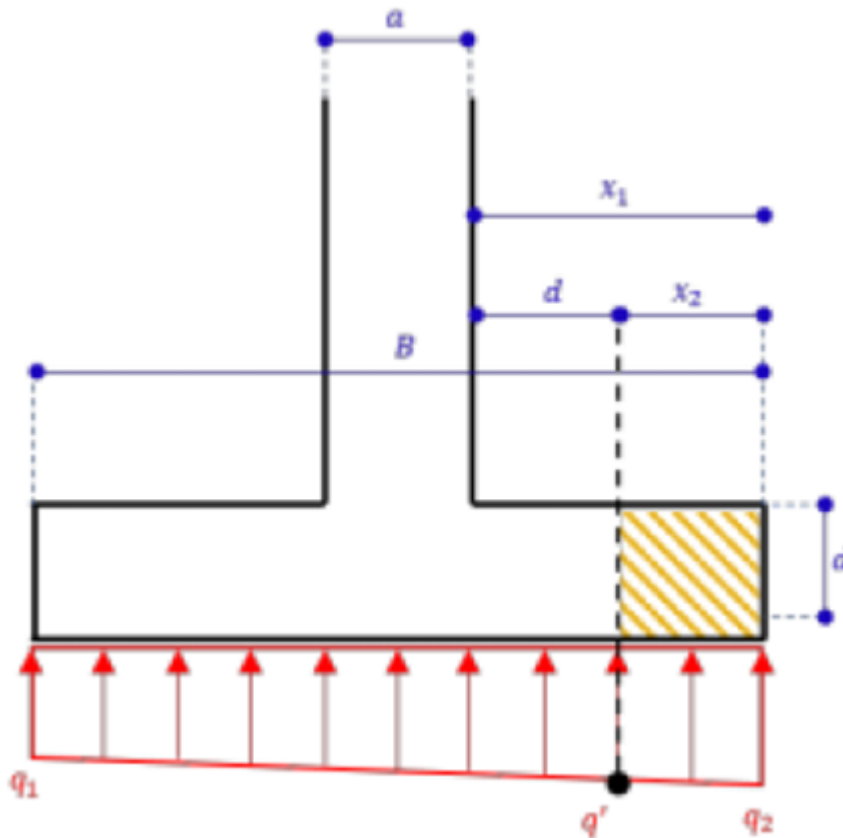
☐—VERIFICACIÓN AL CORTANTE—

condición a cumplir $V_U \leq \phi \cdot V_C$

factor de reducción de resistencia para corte $\phi_c := 0,75$

peralte tentativo $d_1 := d = 36,7 \text{ cm}$

Cortante en dirección x



Verificación al cortante en x

$$\phi_c := 0,75 \quad = \text{"NO FALLA POR CORTANTE"}$$

$$d_1$$

$$\lambda := 1$$

$$x_2 := \left(\frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} - d_1 \right)$$

$$q'_x := \frac{(q_{u_max} - q_{u_min}) \cdot (x_2)}{B} + q_{u_min}$$

$$q_{real_x} := \frac{q'_x + q_{u_max}}{2}$$

$$A_{insidencia_x} := \left(\frac{B}{2} - \frac{a_0}{2} - d_1 \right) \cdot H$$

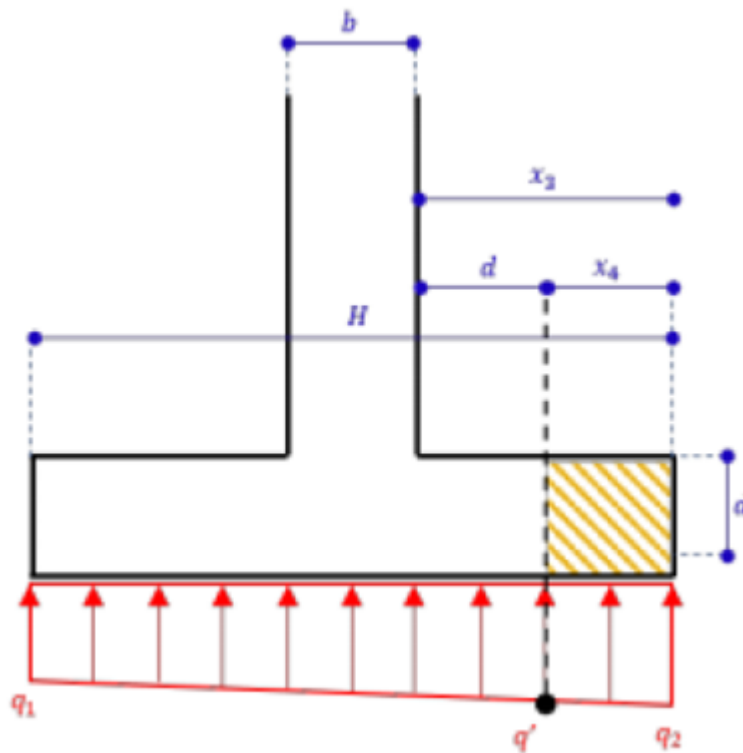
$$V_{U_Cx} := q_{real_x} \cdot A_{insidencia_x}$$

$$\rho_w := \frac{A_{z_x}}{H \cdot d_1}$$

$$\phi V_{C_Cx} := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'c \frac{kgf}{cm^2}} \cdot H \cdot d_1$$

if $V_{U_Cx} \leq \phi V_{C_Cx}$
"NO FALLA POR CORTANTE"
else
"FALLA POR CORTANTE"

Cortante en dirección y



Verificación al cortante en y

```

 $\phi_c := 0,75$ 
 $d_1$ 
 $\lambda := 1$ 
 $x_3 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2}$ 
 $x_4 := \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} - d_1$ 
 $q'_y := \frac{(q_{u\_max} - q_{u\_min}) \cdot (x_3)}{H} + q_{u\_min}$ 
 $q_{real\_y} := \frac{q'_y + q_{u\_max}}{2}$ 
 $A_{insidencia\_y} := \left( \frac{H}{2} - \frac{b_0}{2} - d_1 \right) \cdot B$ 
 $V_{U\_Cy} := q_{real\_y} \cdot A_{insidencia\_y}$ 
 $\rho_w := \frac{A_{s\_y}}{H \cdot d_1}$ 
 $\phi V_{C\_Cy} := \phi_c \cdot 2,1 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'c \frac{kgf}{cm^2}} \cdot B \cdot d_1$ 
if  $V_{U\_Cy} \leq \phi V_{C\_Cy}$ 
    "NO FALLA POR CORTANTE"
else
    "FALLA POR CORTANTE"

```

= "NO FALLA POR CORTANTE"

— DATOS DE SALIDA —

"Chequeo por Cortante en una Direccion"	$\left[\begin{array}{l} \text{concat} \left("", "Vu_x: ", \text{var2str} \left(\frac{Vu_x}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \leq \phi Vc_x: ", \text{var2str} \left(\frac{\phi Vc_x}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \text{ tonnef} \right) \\ \text{concat} \left("", "Vu_y: ", \text{var2str} \left(\frac{Vu_y}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \leq \phi Vc_y: ", \text{var2str} \left(\frac{\phi Vc_y}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \text{ tonnef} \right) \end{array} \right]$	<pre> try if ((Vu_x ≤ φVc_x) ^ (Vu_y ≤ φVc_y)) "Cumple" else "Revisar" on error "error1" try if Vu_p ≤ φVc_p "Cumple" else "Revisar" on error "error2" try if SteelLevel > q_max "Cumple" else "Revisar" on error "error3" try if R_13p > R_011 "Cumple" else "Revisar" on error "error3" try if (s_long > s_min_long) ^ (s_long < s_max_long) "Cumple" else "Revisar" on error "error4" try if (s_long > s_min_trans) ^ (s_long < s_max_trans) "Cumple" else "Revisar" on error "error5" </pre>
"Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)"	$\text{concat} \left("", "Vu: ", \text{var2str} \left(\frac{Vu_p}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \leq \phi Vc: ", \text{var2str} \left(\frac{\phi Vc_p}{\text{tonnef}}; 2 \right); " \text{ tonnef} \right)$	
"Chequeo por Aplastamiento del suelo"	$\text{concat} \left("", "q_{max}: ", \text{var2str} \left(\frac{q_{max}}{\text{tonnef/m}^2}; 2 \right); " \leq q_{adm}: ", \text{var2str} \left(\frac{q_{adm}}{\text{tonnef/m}^2}; 2 \right); " \text{ tonnef/m}^2 \right)$	
"Chequeo por Aplastamiento del concreto"	$\text{concat} \left("", "N_{actuante}: ", \text{var2str} \left(\frac{N_{act}}{\text{tonnef}}; 2 \right); " < N_{resistente}: ", \text{var2str} \left(\frac{N_{res}}{\text{tonnef/m}^2}; 2 \right); " \text{ tonnef/m}^2 \right)$	
"Separacion de varillas en sentido B"	$\text{concat} \left("", \text{var2str} \left(\frac{s_{min,long}}{\text{cm}}; 2 \right); " \text{ cm}"; " < "; \text{var2str} \left(\left \frac{s_{long,L}}{\text{cm}} \right ; 0 \right); " \text{ cm}"; " \leq "; \text{var2str} \left(\frac{s_{max,long}}{\text{cm}}; 2 \right); " \text{ cm} \right)$	
"Separacion de varillas en sentido H"	$\text{concat} \left("", \text{var2str} \left(\frac{s_{min,trans}}{\text{cm}}; 2 \right); " \text{ cm}"; " < "; \text{var2str} \left(\left \frac{s_{long,T}}{\text{cm}} \right ; 0 \right); " \text{ cm}"; " \leq "; \text{var2str} \left(\frac{s_{max,trans}}{\text{cm}}; 2 \right); " \text{ cm} \right)$	

VERIFICACIONES

Chequeo por Cortante en una Direccion	Vu_x: 23.50 ≤ φVc_x: 66.22 tonnef	Cumple
	Vu_y: 23.50 ≤ φVc_y: 66.22 tonnef	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	Vu: 71.42 ≤ φVc: 143.91 tonnef	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del suelo	q_max: 6.90 ≤ q_adm: 14.22 tonnef/m^2	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	N_actuante: 1326.00 < N_resistente: 2652.00 tonnef/m^2	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	2.54 cm < 25 cm ≤ 45.72 cm	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	2.54 cm < 25 cm ≤ 45.72 cm	Cumple

— DATOS DE SALIDA —

— DATOS DE SALIDA —

"DIMENSIONES DE ZAPATA"	"Lado B en direccion x" concat (""; var2str ($\frac{B}{m}$; 2); " m")
	"Lado H en direccion y" concat (""; var2str ($\frac{H}{m}$; 2); " m")
	"Espesor de zapata (h)" concat (""; var2str ($\left \frac{h}{cm} \right $; 0); " cm")
"OTROS PARAMETROS"	"Area de zapata" concat (""; var2str ($\frac{A_z}{m^2}$; 2); " m^2")
	"Peralte efectivo de zapata (d)" concat (""; var2str ($\left \frac{d}{cm} \right $; 0); " cm")
	"Recubrimiento usado" concat (""; var2str ($\frac{rec}{cm}$; 1); " cm")
	"peso especifico del hormigón" concat (""; var2str ($\frac{Y_{ho}}{\frac{kgf}{m^3}}$; 0); " kg/m3")

```

acero_refuer := [
  "ACERO LONGITUDINAL (B)"
  "Número de varillas"      concat (""; num2str (Nv_L))
  "Diámetro de varillas"   concat (""; num2str (  $\frac{\phi_s}{mm}$  ); " mm" )
  "Separación de varillas" concat (""; num2str (  $\left\lfloor \frac{S_{long_L}}{cm} \right\rfloor$  ); " cm" )
  "Longitud de desarrollo (Ld)" concat (""; var2str (  $\frac{l_{d_B}}{cm}$ ; 2 ); " cm" )
  "(Ldh)"                  concat (""; var2str (  $\frac{l_{du_B}}{cm}$ ; 2 ); " cm" )
  "Longitud de gancho (Lext)" concat (""; var2str (  $\frac{l_{ext_B}}{cm}$ ; 1 ); " cm" )
  "ACERO TRANSVERSAL (H)"
  "Número de varillas"      concat (""; num2str (Nv_T))
  "Diámetro de varillas"   concat (""; num2str (  $\frac{\phi_s}{mm}$  ); " mm" )
  "Separación de varillas" concat (""; num2str (  $\left\lfloor \frac{S_{long_T}}{cm} \right\rfloor$  ); " cm" )
  "Longitud de desarrollo (Ld)" concat (""; var2str (  $\frac{l_{d_H}}{cm}$ ; 2 ); " cm" )
  "(Ldh)"                  concat (""; var2str (  $\frac{l_{du_H}}{cm}$ ; 2 ); " cm" )
  "Longitud de gancho (Lext)" concat (""; var2str (  $\frac{l_{ext_H}}{cm}$ ; 1 ); " cm" )
]

```

CARACTERÍSTICAS DE ZAPATA

DIMENSIONES DE ZAPATA	Lado B en direccion x	2,10 m
	Lado H en direccion y	2,10 m
	Espesor de zapata (h)	45 cm
OTROS PARAMETROS	Area de zapata	4,41 m ²
	Peralte efectivo de zapata (d)	37 cm
	Recubrimiento usado	7,5 cm
	peso especifico del hormigón	2400 kg/m ³

REFUERZO DE ACERO

ACERO LONGITUDINAL (B)	Número de varillas	12
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	25 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	119.00 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm
ACERO TRANSVERSAL (H)	Número de varillas	12
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	25 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	119.00 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm

□

Vuelo en la dirección "a" $v_a := \frac{B - a_0}{2} = 85 \text{ cm}$

Vuelo en la dirección "b" $v_b := \frac{H - b_0}{2} = 85 \text{ cm}$

```
CreateRect (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "rect"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out_6 := fc
  out
```

```
CreateLine (pp; lc; w) :=
  out_1 := "line"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out
```

```
CreateCircle (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "circle"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  if fc = "none"
  1
  else
  out_6 := fc
  out
```

```
zapata := CreateRect (stack (0; 0; B; H); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (v_a; v_b; a_0; b_0); "black"; 1; "gray")
```

```
planta := [ [ zapata ]
            [ pilar ] ]
```

```
x_0 := B + 50 cm
```

```
zapata := CreateRect (stack (x_0; 0; B; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_0 + v_a; h; a_0; D_f); "black"; 1; "none")
```

```
alzado_a := [ [ zapata ]
              [ pilar ] ]
```

```
x_0 := x_0 + B + 50 cm
```

```
zapata := CreateRect (stack (x_0; 0; B; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_0 + v_b; h; b_0; D_f); "black"; 1; "none")
```

```
alzado_b := [ [ zapata ]
              [ pilar ] ]
```

```
l_B := CreateLine (stack (0; 0 - 0,2 m; B; 0 - 0,2 m); "red"; 1)
```

```
l_H := CreateLine (stack (0 + B + 0,20 m; 0; B + 0,20 m; 0 + H); "blue"; 1)
```

```
l_a0 := CreateLine (stack (0 + v_a; H + 0,15 m; B - v_a; H + 0,15 m); "purple"; 1)
```

```
l_b0 := CreateLine (stack (0 - 0,15 m; v_b; 0 - 0,15 m; H - v_b); "green"; 1)
```

```
l_h1 := CreateLine (stack (B · 2 + 0,7 m; 0; B · 2 + 0,7 m; 0 + h); "orange"; 1)
```

```
l_h2 := CreateLine (stack (2 · B + H + 1,2 m; 0; 2 · B + H + 1,2 m; 0 + h); "orange"; 1)
```

```
l_df := CreateLine (stack (0 + B · 2 + 0,7 m; h; B · 2 + 0,70 m; h + D_f); "black"; 1)
```

```

longitudes := [
  [ l_B ]
  [ l_H ]
  [ l_a0 ]
  [ l_b0 ]
  [ l_h1 ]
  [ l_h2 ]
  [ l_df ]
]

```

```

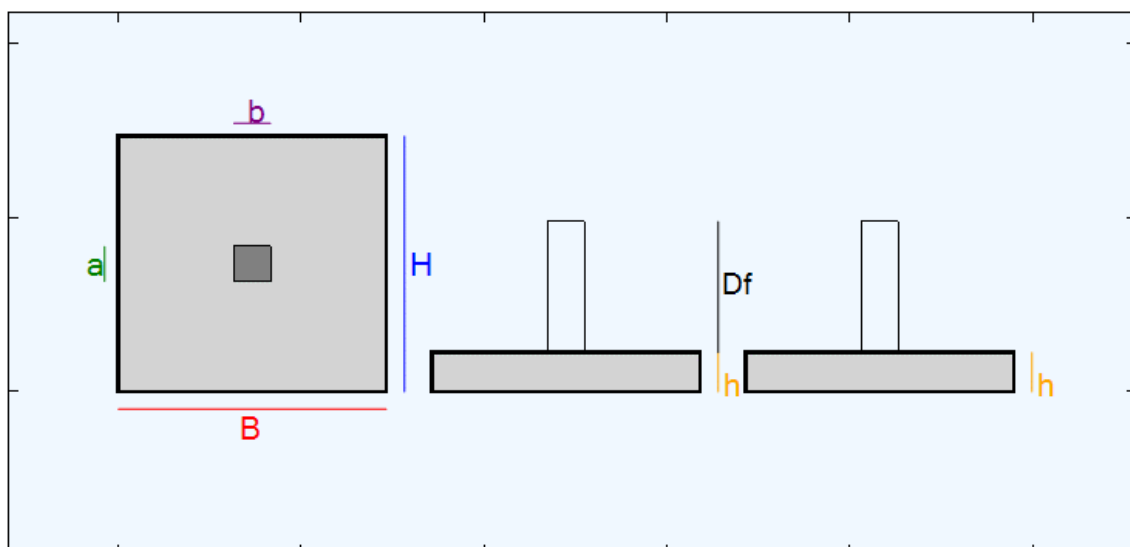
títulos := [
  B + 20 cm    0,2 m +  $\frac{H}{2}$     "H" 10 "blue"
  0 +  $\frac{B}{2,3}$     0 - 0,2 m    "B" 10 "red"
  0 - 0,40 m    v_b + b_0    "b" 10 "green"
  v_a +  $\frac{a_0}{4}$     H + 0,5 m    "a" 10 "purple"
  2 · B + 70 cm    h    "h" 10 "orange"
  2 · B + H + 1,2 m    h    "h" 10 "orange"
  B + B + 70 cm    h +  $\frac{D_f}{2}$     "Df" 9 "black"
]

```

```

títulos_e := [
  1 m 1 m    ""    10 "blue"
  2 m 2 m "LA GEOMETRIA NO ES VALIDA" 10 "red"
  0 0    ""    10 "green"
  0 0    ""    10 "purple"
  0 h    ""    10 "orange"
  0 h    ""    10 "orange"
  0 0    ""    9 "black"
]

```



□— PLANO

Vuelo en la dirección "a" $v_a := \frac{B - a_0}{2} = 85 \text{ cm}$

Vuelo en la dirección "b" $v_b := \frac{H - b_0}{2} = 85 \text{ cm}$

```
CreateRect (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "rect"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out_6 := fc
  out
```

```
CreateLine (pp; lc; w) :=
  out_1 := "line"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  out
```

```
CreateCircle (pp; lc; w; fc) :=
  out_1 := "circle"
  out_2 := pp
  out_3 := lc
  out_4 := "solid"
  out_5 := w
  if fc = "none"
    1
  else
    out_6 := fc
  out
```

```
zapata := CreateRect (stack (0; 0; B; H); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (v_a; v_b; a_0; b_0); "black"; 1; "gray")
```

```
for i ∈ [1..N_v_L]
```

```
armado_a_i := CreateLine (stack (B/2 - ((N_v_L+1)·S_long_L)/2 + (i)·S_long_L; rec; B/2 - ((N_v_L+1)·S_long_L)/2 + (i)·S_long_L; H - rec); "red"; 1)
```

```
armado_a
```

```
for i ∈ [1..N_v_T]
```

```
armado_b_i := CreateLine (stack (rec; H/2 - ((N_v_T+1)·S_long_T)/2 + (i)·S_long_T; B - rec; H/2 - ((N_v_T+1)·S_long_T)/2 + (i)·S_long_T); "blue"; 1)
```

```
armado_b
```

```
planta := [
  [ zapata ]
  [ pilar ]
  armado_b
  armado_a
]
```

$x_0 := B + 100 \text{ cm}$

```
zapata := CreateRect (stack (x_0; 0; B; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_0 + v_a; h; a_0; H - h); "black"; 1,5; "none")
```

```
armado_a_h := CreateRect (stack (x_0 + rec; rec; B - 2·rec; φ_z); "blue"; 0; "blue")
```

```
armado_a_v_1 := CreateRect (stack (x_0 + rec; rec; φ_z; L_d_B); "blue"; 0; "blue")
```

```
armado_a_v_2 := CreateRect (stack (x_0 + B - rec; rec; φ_z; L_d_B); "blue"; 0; "blue")
```

```
for i ∈ [1..N_v_L]
```

```
armado_b_i := CreateCircle (stack (x_0 + B/2 - ((N_v_L-1)·S_long_L)/2 + (i-1)·S_long_L; rec + 1,5·φ_z; φ_z/2); "red"; 1; "red")
```

```
armado_b
```

```
alzado_a := [
  [ zapata ]
  [ pilar ]
  [ armado_a_h ]
  [ armado_a_v_1 ]
  [ armado_a_v_2 ]
  armado_b
]
```

$x_1 := x_0 + B + 100 \text{ cm}$

```
zapata := CreateRect (stack (x_1; 0; H; h); "black"; 2; "lightgray")
```

```
pilar := CreateRect (stack (x_1 + v_b; h; b_0; H - h); "black"; 1,5; "none")
```

```
armado_b_h := CreateRect (stack (x_1 + rec; rec; H - 2·rec; φ_z); "red"; 0; "red")
```

```
armado_b_v_1 := CreateRect (stack (x_1 + rec; rec; φ_z; L_d_H); "red"; 0; "red")
```

```
armado_b_v_2 := CreateRect (stack (x_1 + H - rec; rec; φ_z; L_d_H); "red"; 0; "red")
```

```
for i ∈ [1..N_v_T]
```

```
armado_a_i := CreateCircle (stack (x_1 + H/2 - ((N_v_T-1)·S_long_T)/2 + (i-1)·S_long_T; rec + 1,5·φ_z; φ_z/2); "blue"; 1; "blue")
```

```
armado_a
```

$$\text{alzado}_b := \begin{bmatrix} [\text{zapata}] \\ [\text{pilar}] \\ [\text{armado}_b_h] \\ [\text{armado}_b_v_1] \\ [\text{armado}_b_v_2] \\ \text{armado}_a \end{bmatrix}$$

$$\text{títulos} := \begin{bmatrix} \frac{B}{2} - \frac{v_a}{1,5} - 0,2 \text{ m} & \text{"PLANTA"} & 8 \text{ "black"} \\ x_0 - \frac{v_a}{3} - 0,2 & \text{"CORTE DIRECCION B"} & 8 \text{ "black"} \\ x_1 - \frac{v_b}{4} - 0,2 & \text{"CORTE DIRECCION H"} & 8 \text{ "black"} \end{bmatrix}$$

□—CANTIDAD DE MATERIALES

CANTIDAD DE HORMIGON

$$\text{Cant}_{ho} := \text{round}((B \cdot H \cdot h); 2) = 1,98 \text{ m}^3$$

cantidad total de hormigón

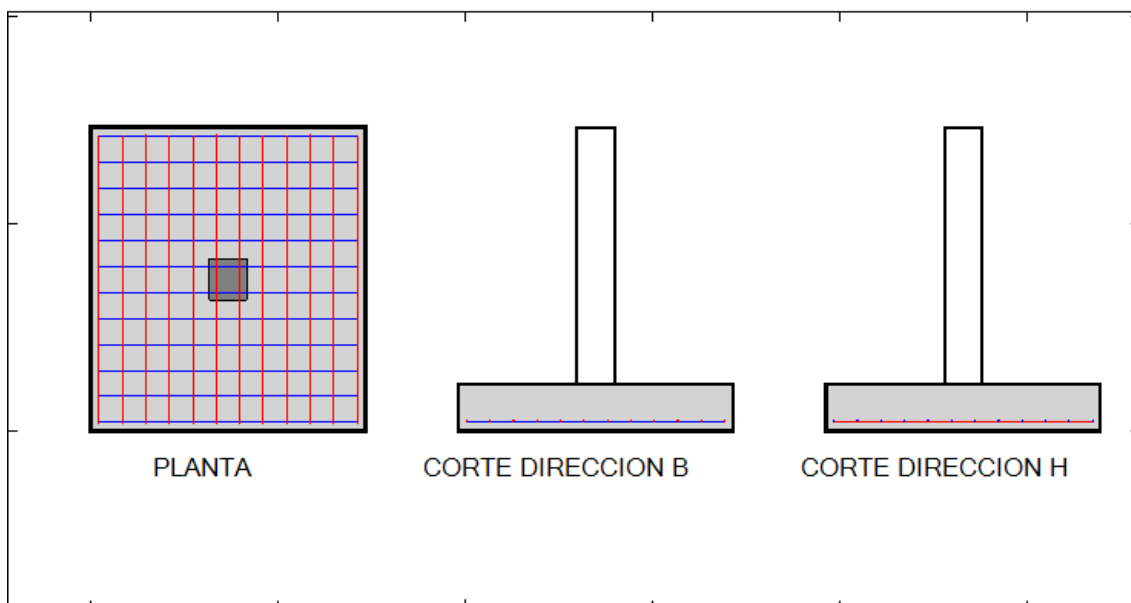
$$\text{Cant}_{ho} = 1,98 \text{ m}^3$$

CANTIDAD DE ACERO

densidad del acero

$$\text{den}_{acero} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned}
L_{var, long} &:= \text{round} \left(L_{d_B} \cdot 2 + B - (2 \cdot rec); 2 \right) \\
L_{var, trans} &:= \text{round} \left(L_{d_H} \cdot 2 + H - (2 \cdot rec); 2 \right) \\
var_{long} &:= \left| \frac{1 \text{ m} \cdot \frac{A_{s_L}}{A_v}}{1 \text{ ft}} \right| \\
var_{trans} &:= \left| \frac{1 \text{ m} \cdot \frac{A_{s_T}}{A_v}}{1 \text{ ft}} \right| \\
A_{var} &:= \left(\text{round} \left(\pi \cdot \frac{(\varphi_z)^2}{4}; 7 \right) \right) \\
peso_{long} &:= \text{round} \left(den_{acero} \cdot A_{var} \cdot L_{var, long} \cdot var_{long}; 2 \right) \\
peso_{trans} &:= \text{round} \left(den_{acero} \cdot A_{var} \cdot L_{var, trans} \cdot var_{trans}; 2 \right) \\
Peso_{tot} &:= peso_{long} + peso_{trans} \\
Long_{sent, long} &:= L_{var, long} \cdot var_{long} \\
Longsentra &:= L_{var, trans} \cdot var_{trans} \\
cantidades &:= \left[\begin{array}{l}
4,8 \text{ 6 m} \quad \text{concat} \left(""; \text{"Refuerzo longitudinal: } \varphi"; \text{num2str} \left(\frac{\varphi_s}{\text{mm}} \right); \text{"mm @"}; \text{num2str} \left(\left\lfloor \frac{S_{long_L}}{\text{cm}} \right\rfloor \right); \text{"cm"} \right) \quad 8 \text{ "red"} \\
4,8 \text{ 5,5 m} \quad \text{concat} \left(""; \text{"Refuerzo transversal: } \varphi"; \text{num2str} \left(\frac{\varphi_s}{\text{mm}} \right); \text{"mm @"}; \text{num2str} \left(\left\lfloor \frac{S_{long_T}}{\text{cm}} \right\rfloor \right); \text{"cm"} \right) \quad 8 \text{ "blue"} \\
4,8 \text{ 5 m} \quad \text{concat} \left(""; \text{"Cantidad de Hormigón: "}; \text{var2str} \left(\frac{Cant_{ho}}{\text{m}^3} \right); \text{" m3"} \right) \quad 8 \text{ "black"} \\
4,8 \text{ 4,5 m} \quad \text{concat} \left(""; \text{"Cantidad de Acero: "}; \text{var2str} \left(\frac{Peso_{tot}}{\text{kg}} \right); \text{" kg"} \right) \quad 8 \text{ "black"} \\
4,8 \text{ 4 m} \quad \text{concat} \left(""; \text{"Cantidad de suelo a extraer: "}; \text{concat} \left(""; \text{var2str} \left(\frac{B \cdot H \cdot (D_f + h)}{\text{m}^3}; 2 \right) \right); \text{" m3"} \right) \quad 8 \text{ "brown"}
\end{array} \right]
\end{aligned}$$



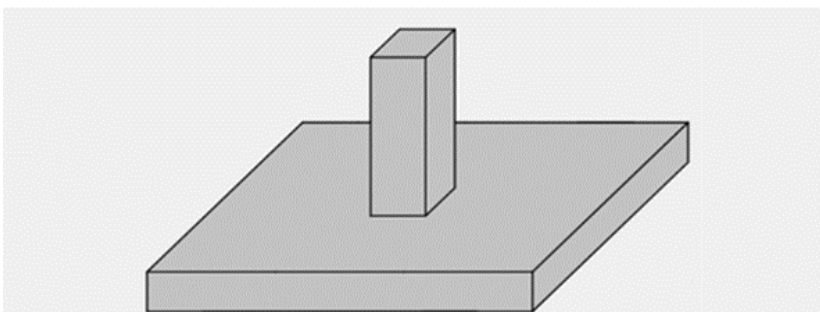
Refuerzo longitudinal: $\phi 16\text{mm @}25\text{cm}$
 Refuerzo transversal: $\phi 16\text{mm @}25\text{cm}$
 Cantidad de Hormigón: 3.86 m³
 Cantidad de Acero: 342.32 kg
 Cantidad de suelo a extraer: 16.74 m³

— GUIA DE USUARIO —

GUIA DEL USUARIO

JPZAP

ZAPATA AISLADA CENTRAL



El programa para pre dimensionamiento y verificación de zapatas aisladas centrales, efectúa los cálculos de manera automática, y da como resultado las verificaciones estructurales, según la normativa NEC 15 y ACI 318 – 19.

El programa utiliza los conceptos estipulados en las normativas antes dichas para las verificaciones como chequeo por cortante en una dirección, chequeo por cortante en dos direcciones o de punzonamiento y chequeo por aplastamiento.

El presente programa ha sido desarrollado en el software libre Smath Studio y puede ser utilizado de forma sencilla; únicamente hay que descargarlo y ejecutarlo para tener disponible todas las opciones que presenta.

El programa esta desarrollado para el cálculo de zapatas que soporten columnas netamente cuadradas o rectangulares. Por otro lado, las cimentaciones estan diseñadas solamente para cargas de compresion (Axil de compresion).

USO DEL PROGRAMA

Una vez abierto el programa, nos vamos a encontrar con una barra de menús, que contendrá los Datos de Entrada, Verificaciones, Datos de Salida, Plano y Guía del Usuario.



Datos de Entrada

En el apartado de Datos de Entrada, vamos a tener todas las variables que necesitan ser ingresadas para que el programa pueda realizar el cálculo y las verificaciones de la zapata aislada central, que se pretenda pre dimensionar.

Como variables iniciales a ingresar tener los materiales que se utilizan en la zapata aislada, estos materiales deben ser definidos previamente mediante estudio de suelos realizados in situ, del terreno en donde se pretende construir dicha zapata.

MATERIALES

Esfuerzo admisible del Suelo	<input type="text" value="1.8"/>	kgf/(cm ²) ▾
Resistencia del hormigón	<input type="text" value="240"/>	kgf/(cm ²) ▾
Resistencia del acero	<input type="text" value="4200"/>	kgf/(cm ²) ▾
Peso específico del suelo	<input type="text" value="1900"/>	kgf/(m ³) ▾

CARGAS Y MOMENTOS

Axil por Carga viva	<input type="text" value="15.1"/>	tonnef ▾
Axil por Carga muerta	<input type="text" value="43.76"/>	tonnef ▾
Axil por Carga sismica	<input type="text" value="0"/>	tonnef ▾
Momento por carga viva en x	<input type="text" value="-0.11"/>	tonnef m ▾
Momento por carga viva en y	<input type="text" value="0.01"/>	tonnef m ▾
Momento por carga muerta en x	<input type="text" value="-0.08"/>	tonnef m ▾
Momento por carga muerta en y	<input type="text" value="-0.03"/>	tonnef m ▾
Momento por carga sismica en x	<input type="text" value="0"/>	tonnef m ▾
Momento por carga sismica en y	<input type="text" value="0"/>	tonnef m ▾

Las variables a ingresar son:

- **Resistencia del Hormigón:** es la resistencia del hormigón de la que va tener a los 28 días en la estructura en kgf/cm²

- **Resistencia del Acero:** es la resistencia que van a tener las barras de refuerzo en kgf/cm².

- **Peso específico del hormigón:** es el peso específico del hormigón que se utiliza, comúnmente se usa este parámetro de 2400 kgf/m³, para hormigón de peso normal.

- **Presión admisible del suelo:** es la máxima carga que puede soportar el terreno sin que el muro sufra daños, este incluye el factor de seguridad.

- **Cargas y momentos:** son las cargas y momentos a la cual esta sometida la zapata, estas cargas son transmitidas desde elementos como columnas o pilares. Cabe recalcar que el diseño esta hecho solo para zapatas cuyas cargas esten en el tercio medio de la base de zapata, es decir, cuya excentricidad es menor que L/3. El usuario debera llenar los datos que requiera para el predimensionamiento.

- **Peso específico del hormigón:** para todos los procesos y casos dentro de esta herramienta se a considerado un peso específico de hormigon normal cuyo valor es de 2400 kg/m³.

- **Recubrimiento:** es la distancia que existen entre la superficie exterior de hormigón y el acero de refuerzo, en el caso de cimientos, según la normativa empleada es de 7.5 cm. Para el proceso de calculo se usa este valor como predeterminado.

DIMENSIONES

Base de zapata (mínimo 1m)	<input type="text" value="2.1"/>	<input type="text" value="m"/>
Ancho de zapata (mínimo 1m)	<input type="text" value="2.1"/>	<input type="text" value="m"/>
Altura estimada de zapata (mínimo 30cm)	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="cm"/>
Base de columna	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="m"/>
Ancho de columna	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="m"/>
Altura de desplante (mínimo 1m)	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="m"/>

- Geometría de zapata: aquí el usuario debe elegir el tipo de geometría que tendrá la zapata: las opciones disponibles son cuadrada y rectangular.

- Base de la zapata: hace referencia a la distancia que tendrá el lado mayor que tendrá la zapata aislada. Es un dato importante, ya que es la base para verificar si la zapata cumple a nivel estructural

- Ancho de zapata: hace referencia a la distancia que tendrá el otro lado del cimiento. De igual manera es un dato importante para el respectivo cálculo.

- Altura estimada de zapata: es el espesor que tendrá el cimiento, el usuario deberá ingresar un valor tentativo para proceder con el predimensionamiento.

- Base de columna: es la distancia del lado "a" de la columna.

- Ancho de columna: es la distancia del lado "b" de la columna.

- Altura de desplante: es la profundidad a la cual se encuentra la zapata desde el nivel del suelo.

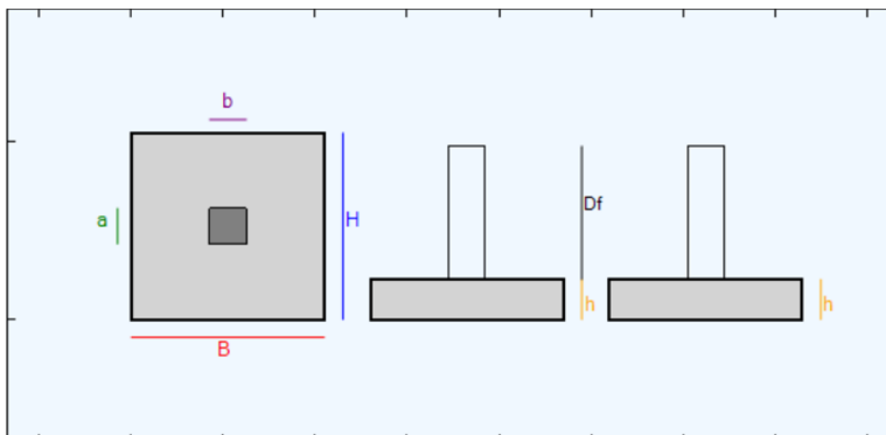
Los valores mínimos a introducir de base y ancho de zapata, así como, de profundidad de desplante son tomados de la NEC 15 específicamente de NEC - SE- VIVIENDA, y el valor mínimo de altura de zapata es basado en la norma ACI 318-19 (redondeando a 30cm por ser múltiplo de 10cm).

Las siguiente variable que se deben ingresar son el diámetro de las varillas de refuerzo que se van a utilizar en la zapata aislada. El diseño está elaborado para zapatas que tengan columnas cuadradas y rectangulares sobre ellas.

REFUERZO DE ACERO

Diámetro de varillas en zapata

Seguido a esto se tiene un gráfico, que nos indica las dimensiones de la zapata aislada central que se pretende pre dimensionar y analizar.



Se utilizará el mismo diámetro de varilla en toda la estructura, es decir, tanto en sentido longitudinal como transversal.

Los diámetros de las varillas que se han utilizado se han tomado de un catálogo comercial de refuerzo de acero, de modo que pueda ser utilizado en el Ecuador.

Verificaciones

En la ventana de verificaciones, se puede observar una tabla

En las verificaciones se tiene dos opciones de resultados, Cumple o Corregir las dimensiones de la zapata que se han ingresado al inicio; dentro de estas verificaciones tenemos:

Chequeo por Cortante en una Direccion	$V_{u,x} : 16.72 \leq \phi V_{c,x} : 50.69 \text{ tonnef}$	Cumple
	$V_{u,y} : 16.73 \leq \phi V_{c,y} : 50.69 \text{ tonnef}$	
Chequeo por Cortante en dos Direcciones (Punzonamiento)	$V_u : 65.77 \leq \phi V_c : 158.72 \text{ tonnef}$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del suelo	$q_{max} : 13.47 \leq q_{adm} : 14.22 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Chequeo por Aplastamiento del concreto	$N_{actuante} : 1326.00 < N_{resistente} : 2652.00 \text{ tonnef/m}^2$	Cumple
Separacion de varillas en sentido B	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple
Separacion de varillas en sentido H	$2.54 \text{ cm} < 24 \text{ cm} \leq 45.72 \text{ cm}$	Cumple

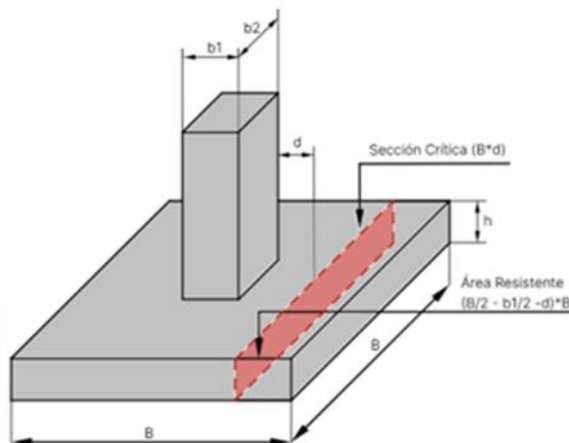
- Chequeo por Cortante en una direccion: hace referencia al comportamiento que tiene la zapata como una viga, se debe obtener el esfuerzo cortante ultimo en una seccion critica a una distancia "d". (Garza Vasquez, 2000)

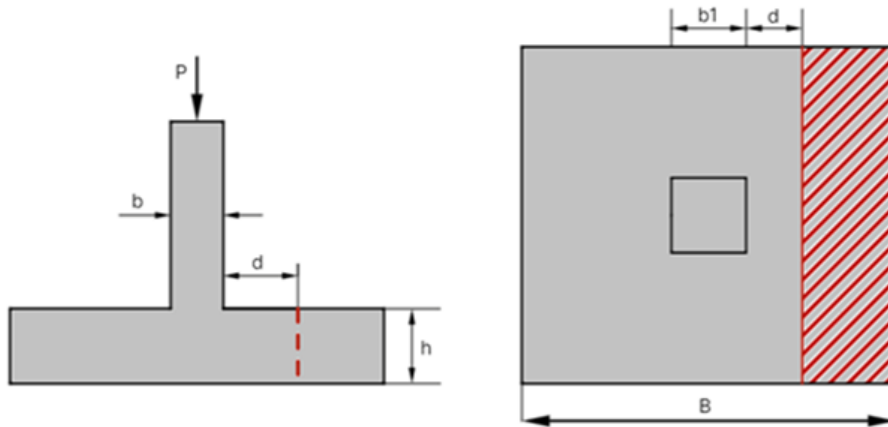
Se debe cumplir la siguiente condicion para que la zapata no falle por eeste tipo de cortante.

$$V_u \leq \phi V_c$$

Donde :

V_u = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.
 ϕV_c = Fuerza cortante última o mayorada.





- Chequeo por Cortante en dos direcciones o Punzonamiento: hace referencia al fenómeno en el que la zapata trata de fallar por una superficie en forma de pirámide, como respuesta a la carga vertical que le transfiere la columna o pedestal. (Garza Vasquez, 2000)

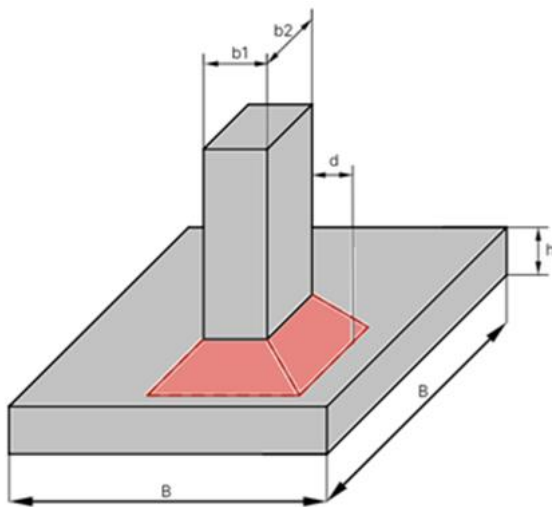
De la misma forma que en el chequeo por cortante en una dirección el punzonamiento debe cumplir una condición igual.

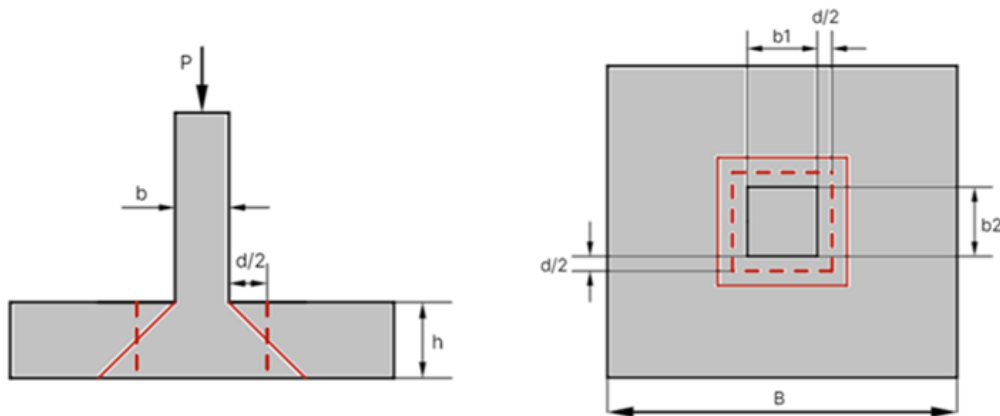
$$V_u \leq \phi V_c$$

Donde :

V_u = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.

ϕV_c = Fuerza cortante última o mayorada.





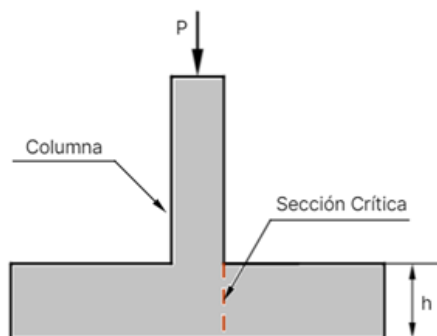
- Chequeo por Aplastamiento del suelo: hace referencia a que el esfuerzo neto del suelo sea mayor al esfuerzo actuante dado por la estructura o edificación. Se debe cumplir esta condición para que el suelo no se deforme debido a las cargas generadas por la edificación.

- Chequeo por Aplastamiento del concreto: hace referencia a la unión entre la columna y el cimiento, y ocurre cuando la resistencia nominal del concreto en la zapata es mayor que la resistencia nominal del concreto a compresión de la columna. En esta situación, la resistencia de la zapata es suficiente para soportar la carga de la columna, caso contrario, se puede dar lugar a una falla en la unión columna-cimiento.(Barrera Romero, 2022)

- Separación de varillas en el sentido B: en este apartadado se verifica si la separación entre las barras de acero es adecuada y si esta dentro del rango, es decir que se mayor al espaciamiento mínimo y menor al espaciamiento máximo con respecto al sentido B.

- Separación de varillas en el sentido H: en este apartadado se verifica si la separación entre las barras de acero es adecuada y si esta dentro del rango, es decir que se mayor al espaciamiento mínimo y menor al espaciamiento máximo con respecto al sentido H.

Ademas, cabe aclarar, que las secciones críticas se han adoptado, para todos los casos de diseño, en el borde de la columna (caso mas desfavorable), tal como se muestra en el siguiente gráfico:



Datos de Salida

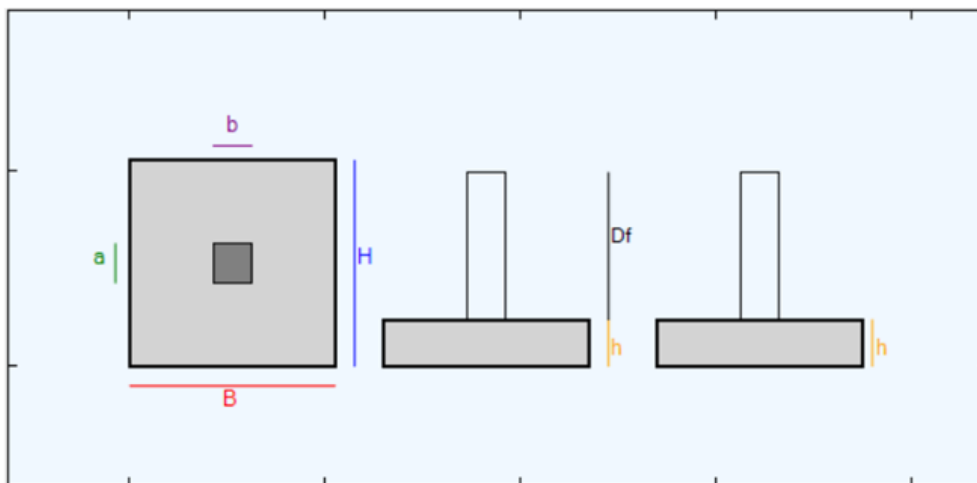
En la ventana de Datos de Salida, tendremos los resultados en cuanto a las dimensiones optimas para la zapata aislada central y demas parametros, tambien se tendran resultados del refuerzo de acero, tanto longitudinal como transversalmente que incluye el diámetro de varilla, separación de varillas y longitud de desarrollo. Por otro lado, se muestra un dibujo con las dimensiones de zapata para una mejor comprensión.

CARACTERISTICAS DE ZAPATA

DIMENSIONES DE ZAPATA	Lado B en direccion x	2,10 m
	Lado H en direccion y	2,10 m
	Espesor de zapata (h)	45 cm
OTROS PARAMETROS	Area de zapata	4,41 m ²
	Peralte efectivo de zapata (d)	37 cm
	Recubrimiento usado	7,5 cm
	peso especifico del hormigón	2400 kg/m ³

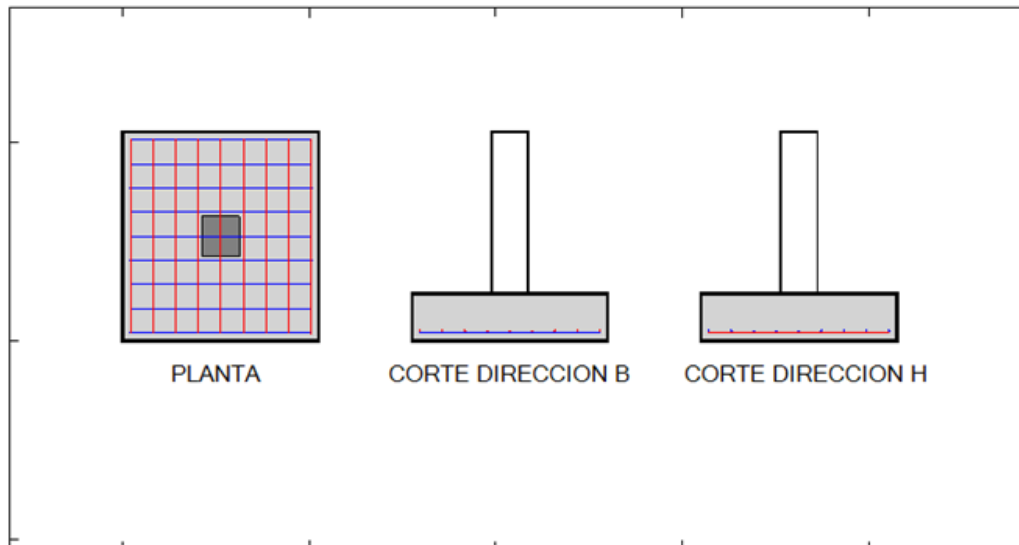
REFUERZO DE ACERO

ACERO LONGITUDINAL (B)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	77.50 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm
ACERO TRANSVERSAL (H)	Número de varillas	9
	Diámetro de varillas	16 mm
	Separación de varillas	24 cm
	Longitud de desarrollo (Ld)	65.72 cm
	(Ldh)	65.72 cm
	Longitud de gancho (Lext)	0.0 cm



Plano

En la última ventana del programa contiene un plano didáctico de las dimensiones de la zapata aislada, además de la disposición del refuerzo de acero que contiene la estructura, la cantidad de hormigón y acero que se requieren..



PLANTA

CORTE DIRECCION B

CORTE DIRECCION H

Refuerzo longitudinal: $\phi 16\text{mm @}24\text{cm}$

Refuerzo transversal: $\phi 16\text{mm @}24\text{cm}$

Cantidad de Hormigón: 2.09 m³

Cantidad de Acero: 184.7 kg

Cantidad de suelo a extraer: 8.71 m³

B. Anexo 2

Catálogo Adelca de varillas de refuerzo

TABLA DE VARILLAS								
Diám /mm	Kg/m	12 m		9m		6 m		TOLERANCIA
		Kg	Var x Qq	Kg	Var x Qq	Kg	Var x Qq	
8	0.395	4.740	9.568	3.555	12.757	2.370	19.136	± 50mm
10	0.617	7.404	6.125	5.553	8.167	3.702	12.251	
12	0.888	10.656	4.256	7.992	5.675	5.328	8.512	
14	1.208	14.496	3.129	10.872	4.171	7.248	6.257	
16	1.578	18.936	2.395	14.202	3.193	9.468	4.790	
18	1.998	23.976	1.892	17.982	2.522	11.988	3.783	
20	2.466	29.592	1.533	22.194	2.043	14.796	3.065	
22	2.984	35.808	1.267	26.856	1.689	17.904	2.533	
25	3.853	46.236	0.981	34.677	1.308	23.118	1.962	
28	4.834	58.008	0.782	43.506	1.042	29.004	1.564	
32	6.313	75.756	0.599	56.817	0.798	37.878	1.197	
36	7.990	95.880	0.473	71.910	0.631	47.940	0.946	

PROPIEDADES MECÁNICAS		MPa	kgf/mm ²
Límite de fluencia mínimo		420	42
Límite de fluencia máximo		540	55
Resistencia a la tracción mínima		550	56

ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA		Lo=200mm
Diámetro nominal (mm)		%
8-20		14
22-32		12

DOBLADO A 180°	
Diámetro nominal (d) mm	Diámetro del mandril
8-18	3d
20-25	4d
28-32	6d

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Jonnathan Paul Criollo Chimbo portador de la cédula de ciudadanía N.º 0106556954. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización para el predimensionamiento de zapatas aisladas centrales utilizando SmathStudio " de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de octubre de 2023



F:

Jonnathan Paul Criollo Chimbo

0106556954