



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

**APLICACIÓN DE SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA DISEÑO DE
ZAPATAS EN EDIFICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

AUTOR: ALEXANDRA FABIOLA BARRERA ROMERO

DIRECTOR: ING. RÓMULO RICARDO ROMERO GONZÁLEZ, MGS.

AZOGUES - ECUADOR

2022

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

**APLICACIÓN DE SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA DISEÑO DE
ZAPATAS EN EDIFICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

AUTOR: ALEXANDRA FABIOLA BARRERA ROMERO

DIRECTOR: ING. RÓMULO RICARDO ROMERO GONZÁLEZ, MGS.

AZOGUES - ECUADOR


2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Alexandra Fabiola Barrera Romero portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302629365**. Declaro ser el autor de la obra: **“Aplicación de software especializado para diseño de zapatas en edificaciones”**, 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.

Azogues, **24 de mayo de 2022**

F: 

Alexandra Fabiola Barrera Romero

C.I. 0302629365

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Azogues, 16 de mayo de 2022.

ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación.

Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES. UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación del estudiante BARRERA ROMERO ALEXANDRA FABIOLA, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “APLICACIÓN DEL SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA EL DISEÑO DE ZAPATAS EN EDIFICACIONES”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de 50/50.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Ricardo Romero González. Mgs.

**DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES**

www.ucacue.edu.ec

Cuenca: Av. de las Américas y Tarqui. Tel: 2240752, 2524365, 2626562. Azogues: Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (frente al Terminal Terrestre).
Tel: 591 (7) 2241-613, 2243-444, 2245-205, 2246-587. Cañar: Calle Antonio Aulla Cívico. Tel: 072252065, 072252670. San Pablo de la Troncal: Cda. Universitaria
km.72 Quimsora Este y Primera Sur. Tel: 2424119. Macas: Av. Cap. José Villaverde s/n. Tel: 2703051, 2703052

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres Luciano y Judith quienes, con su amor, paciencia, carácter me han permitido y ayudado a cumplir una meta más, gracias por ser parte de cada sueño logrado e inculcar en mí el valor de esfuerzo y de lucha por cada objetivo, de no temer a las adversidades porque Dios y ellos están conmigo siempre.

A mis hermanas por todo el cariño y apoyo incondicional durante cada día, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus palabras de aliento y consejos hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma siempre me acompañan a lograr lo que me propongo.

También va dedicado a cada una de las personas que de una u otra manera me han extendido una mano en momentos difíciles. A un dúo de personas maravillosas que han sido parte de nuevas experiencias y de la etapa universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primeramente a Dios por guiar cada paso dado para alcanzar esta meta propuesta, así como también, infinita gratitud a mis padres y familiares por el apoyo brindado, valores y consejos que han sido la base de mi formación.

A la Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, que me abrió sus puertas y me forjó como ser humano, en la persona del Ing. Ricardo Romero González por su dedicación, acompañamiento y asesoramiento brindado durante el planteamiento, desarrollo y culminación de este trabajo de titulación.

RESUMEN

Para el diseño de cimentaciones superficiales existen varios tipos de software, programas y hojas cálculo que permiten el procesamiento de datos y obtención de resultados, a pesar de los servicios que brindan estos materiales de trabajo no todos son accesibles, debido a que se debe realizar un pago por cualquiera de estos programas en muchos de los casos tienen un valor económico alto.

Esta investigación se orienta en crear hojas de trabajo gratuitas sobre el diseño de cimentaciones superficiales usando hojas de cálculo y un software para la posterior verificación de resultados, con la finalidad de generar una herramienta de cálculo donde sea posible visualizar la formulación empleada en el desarrollo del diseño y que no tenga ningún costo para adquirirla.

Las hojas de trabajo fueron desarrolladas en el software MathCad Prime cumpliendo con los requisitos de diseño estipulados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y códigos sugeridos por la normativa ya mencionada, pudiendo plasmar los resultados de diseño obtenidos en diferentes gráficas en donde se podrán observar el dimensionamiento y distribución del acero del cemento.

Al final del trabajo de investigación se mostrará tablas que contemplan los resultados obtenidos en las hojas desarrolladas y los resultados obtenidos en el software CYPECAD además de planos en planta del diseño estructural de las zapatas.

Palabras clave: Cimentación, diseño, manual, normativa, resultados

Abstract

BARRERA ROMERO ALEXANDRA FABIOLA

For the design of superficial foundations, there are several types of software, programs, and spreadsheets that allow the processing of data and obtaining results, despite not all of the services provided by these work materials are accessible because there must be a payment for any of them and, in many cases, they have a high price.

This research tries to create free worksheets on the design of superficial foundations using spreadsheets and software for the subsequent verification of results to generate a calculation tool where it is possible to visualize the formulation used, and that does not have any cost to acquire.

The worksheets were developed by MathCad Prime software in compliance with the design requirements stipulated in the Ecuadorian Construction Standard and codes suggested by the above-mentioned regulations. The design results, the dimensioning, and distribution of the foundation steel can be observed in different graphs.

Finally, the results obtained in the developed sheets and the CYPECAD software will be shown in tables, as well as the floor plans of the structural design of the footings.

Keywords: foundation, design, manual, standards, results

Azogues, 25 de mayo de 2022

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.



Abg. Liliana Urgilés Amoroso, Mgs.
COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES

www.ucacue.edu.ec

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
LISTADO DE FIGURAS	11
LISTADO DE ANEXOS	12
I. Generalidades.....	13
A. Introducción	13
B. Formulación del Problema	14
C. Delimitación del Problema.....	14
D. Objetivos	15
1) Objetivo General.....	15
2) Objetivos Específicos	15
E. Justificación.....	15
II. Marco Teórico.....	17
A. Cimentación	17
B. Requisitos para una Buena Cimentación.....	17
C. Clasificación de las Cimentaciones.....	17
1) Cimentaciones Superficiales.....	18
2) Cimentaciones Profundas	18
D. Clasificación de las Cimentaciones Superficiales	19
1) Zapatas Aisladas	19
E. Criterios para el Diseño de Cimentaciones	23
1) Criterio Geotécnico.....	23
2) Criterio Estructural	23
F. Factores que Influyen en el Dimensionamiento del Cimiento	23
G. Capacidad de Carga.....	24
1) Teoría de Karl Terzaghi.....	24
2) Teoría de Mayerhof	27
3) Método de Brinch Hansen	27
H. Métodos Aplicados al Diseño en Cimentaciones	28

1) Método de Presión Admisibles.....	29
2) Método del Factor de Seguridad Global.....	31
3) Método por Factores de Carga y Resistencia	32
4) Método de los Estados Límites.....	32
I. Normativa Nacional Aplicable.....	34
1) NEC-SE-GC – Geotecnia y Cimentaciones	35
2) NEC-SE-HM – Estructuras de Hormigón Armado	37
J. Norma Extranjera Aplicable.....	38
1) Capítulo 13- Cimentaciones	38
2) Capítulo 19 – Concreto: Requisitos de Diseño y Durabilidad.....	38
3) Capítulo 20 – Refuerzo de Acero y Propiedades, Durabilidad y Embebidos.....	39
III. Metodología	40
A. Diseño Geotécnico de cimentaciones.....	40
1) Estado Límite Último (Estabilidad).....	40
2) ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ASENTAMIENTOS).....	45
B. Diseño Estructural de la Cimentación.....	45
1) Procesos para Diseño Estructural de Cimentaciones.....	46
2) Cargas	46
3) Presión Neta.....	47
4) Diseño por Cortante.....	47
5) Diseño por Flexión	47
6) Verificación por Aplastamiento.....	47
C. Análisis Estructural	48
1) Determinación del Modelo	48
D. Programas.....	48
2) MathCad Prime.....	48
3) Software CYPECAD	48
E. Modelado de la Estructura En CYPECAD	49
4) Extracción de Datos para el Diseño de Cimentaciones Superficiales	51
F. Datos para el Cálculo	52
G. Diseño de Zapata Aislada.....	53
1) Diseño Geotécnico.....	54

2) Diseño Estructural	62
3) Dimensionamiento.....	62
4) Verificación por Cortante	64
5) Diseño de Refuerzo Longitudinal.....	67
6) Verificación por Aplastamiento.....	70
7) Longitud de Desarrollo.....	71
H. Diseño Zapata de Lindero	72
1) Diseño Geotécnico.....	72
2) Diseño Estructural Zapata de Lindero	75
I. Diseño Zapata con Viga de Cimentación.....	76
1) Cargas Aplicadas en el Cimiento.....	77
2) Dimensionamiento de Zapata	77
3) Diseño viga de cimentación.....	78
J. Programa Propuesto Utilizando Mathcad Prime.....	81
1) Manual de uso de las hojas de trabajo para diseño geotécnico	82
2) Manual de uso de las hojas de trabajo para diseño estructural.....	83
IV. Resultados.....	85
A. Zapata Céntrica	85
B. Zapata de Lindero.....	86
C. Zapata Con Viga de Cimentación	87
V. Conclusiones y Recomendaciones.....	90
A. Conclusiones	90
B. Recomendaciones	91
VI. Bibliografía	92
VII. Anexos	96

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Zapata Aislada Céntrica.....	20
Figura 2. Zapata Aislada de Lindero.....	20
Figura 3. Zapata de Esquina.....	21
Figura 4. Zapata con Viga de Conexión.....	22
Figura 5. Zapata Continua.....	22
Figura 6. Falla por Capacidad de Carga en Suelo Bajo una Cimentación Rígida Corrida	25
Figura 7. Expresiones para Diseño Geotécnico	45
Figura 8. Modelado de Edificación (Ejemplo).....	49
Figura 9. Modelado de Edificación con vista del acero de refuerzo.....	50
Figura 10. Ubicación de Columnas.....	50
Figura 11. Zapata Central.....	54
Figura 12. Variables para Diseño Estructural Zapata Central.....	62
Figura 13. Zapata de Lindero.....	73
Figura 14. Variables para Diseño Estructural Zapata de Lindero.....	75
Figura 15. Variables para Diseño Estructural Zapata con Viga de Conexión	76

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Factores de Seguridad para fundaciones por Carga Última	96
Anexo 2. Coeficiente de ponderación de cargas	96
Anexo 3. Combinaciones de Carga	96
Anexo 4. Factores de Diseño Mínimo	97
Anexo 5. Coeficientes de estimación	97
Anexo 6. Coeficientes de seguridad adicional	98
Anexo 7. Ecuaciones para factores de corrección	98
Anexo 8. Altura mínima de vigas no preesforzadas	100
Anexo 9. Hojas de trabajo para diseño geotécnico zapata céntrica	101
Anexo 10. Hojas de trabajo para diseño estructural de zapata céntrica	110
Anexo 11. Datos del Software CYPECAD para Zapata Aislada Céntrica	125
Anexo 12. Datos del Software CYPECAD para Zapata de Lindero	126
Anexo 13. Datos del Software CYPECAD de Cimiento Exterior para Zapata con Viga de Conexión	127
Anexo 14. Datos del Software CYPECAD de Cimiento Exterior para Zapata con Viga de Conexión	128
Anexo 15. Datos del Software CYPECAD de viga de cimentación	129
Anexo 16. Planos de Distribución de Acero para Zapata Céntrica	130
Anexo 17. Planos de Distribución de Acero para Zapata de Lindero	131
Anexo 18. Planos de Distribución de Acero para Zapata con Viga de Cimentación y zapata Interi	132

CAPITULO I

I. GENERALIDADES

A. Introducción

Actualmente existen varias investigaciones dedicadas al estudio de cimentaciones lo que ha derivado a descubrir diversos métodos de diseño tales como el de los estados límites, factor de seguridad global y esfuerzos admisibles.

El diseño de cimentaciones superficiales, en el Ecuador, se realiza por el método de Estado Límite de Servicio, también se emplea el método de Estado Límite de Falla según La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), estos dos métodos ayudan a obtener diseños seguros, racionales y económicos.

Para obtener diseños con estas características el profesional encargado del diseño le corresponderá aplicar el cumplimiento estricto de la normativa y códigos, además de emplear un estudio sistemático; es decir, el diseño deberá considerar cada uno de los factores involucrados en las características de las cimentaciones.

En la actualidad existen programas computacionales desarrollados para diseño de elementos estructurales que en su mayoría tienen un valor económico considerable y el procedimiento de desarrollo se desconoce; por lo tanto, el presente documento identifica la necesidad de crear hojas de trabajo gratuitas mediante el software MathCad Prime para el análisis y diseño de cimentaciones superficiales con la función de visualizar los cálculos de variables (acero de refuerzo y dimensiones) establecidas en la normativa nacional, consiguiendo diseños confiables y funcionales.

Se pretende establecer en este documento un conjunto de datos (tipo de cargas, característica del material, variables) para el diseño de tres tipos de cimentaciones superficiales (zapatas aisladas, zapatas de lindero y zapatas con viga de ligadura) sometidas a esfuerzos que genere una edificación. El conjunto de variables requeridas en el diseño y análisis de cimentaciones superficiales deben ser comprendidos por el ingeniero o estudiante. Por ello se generará una herramienta computacional

que faciliten la comprensión de los mismos., las hojas de cálculo podrían ser empleadas por estudiantes de pregrado, así como por profesionales.

B. Formulación del Problema

Hoy en día dentro del ámbito de la construcción existe una variedad de programas destinados al análisis y diseño estructural; sin embargo, el acceso a este software es limitado debido a su alto costo, provocando dificultad a estudiantes como a profesionales involucrados en el diseño de cimentaciones adquirir estos programas por su valor económico elevado. Además, estos programas carecen de un espacio en el que se puede observar el procedimiento que se debe realizar para generar cada uno de los resultados, evitando que el usuario conozca el desarrollo que utiliza el software para llegar a la obtención de los mismos.

En la actualidad existe una limitada disponibilidad de programas de bajo costo o gratuitos, también se desconoce un software que integre la alternativa de visualizar el procedimiento para el diseño de cimentaciones superficiales.

C. Delimitación del Problema

Se desarrollará el diseño estructural de cimentaciones superficiales de tipo aisladas, de lindero y con vigas de ligadura, que cumplan con disposición de normativa nacional (NEC-15) e internacional (ACI 318-14), obviando abordar las cimentaciones profundas; diseño estructural que se desarrollará para un edificio de oficinas. El análisis será realizado en hojas de trabajo en el software MathCad Prime permitiendo al calculista, estudiante o docente inspeccionar paso a paso el desarrollo matemático. Cabe mencionar que, para dicho análisis en el presente proyecto los datos sobre las características geotécnicas del suelo se considerarán las de un análisis existente realizado en laboratorio. Así mismo para el caso de obtención de resultados de reacciones se tomarán de un análisis previo de una edificación ya modelada con cargas vivas, muertas y sísmicas.

D. Objetivos

1) Objetivo General

Crear un conjunto de hojas de trabajo para el diseño de cimentaciones superficiales mediante una programación desarrollada en MathCad Prime para brindar a los usuarios la posibilidad de obtener una herramienta gratuita, que permita visualizar y controlar el proceso de diseño de una forma sencilla.

2) Objetivos Específicos

- Estudiar el estado del conocimiento relacionado con los métodos utilizados en el diseño de cimentaciones superficiales para edificaciones, además de las metodologías y procedimientos existentes para la aplicación del software.
- Aplicar una metodología de cálculo estructural que permita obtener diseños de cimentaciones óptimos que cumpla con los requerimientos propuestos en la Normativa Ecuatoriana y métodos obtenidos en la literatura investigada.
- Elaborar cálculos en hojas de trabajo definido por MathCad Prime donde se aborden tres tipos de cimentaciones según el tipo de estructura propuesto y tabulación de resultados.
- Validar las hojas de trabajo confeccionadas mediante el software CYPECAD y ejecución de planos estructurales que se visualizaran en los anexos del proyecto para comparar resultados.
- Desarrollar una guía de uso de las hojas de trabajo bajo el entorno del software MathCad Prime en las que se detalle los datos y variables obtenidos a través de la experimentación, como también las limitaciones que existan dentro de las mismas.

E. Justificación

Considerando lo mencionado en el problema, surge la idea de saber: ¿Cómo producir un aporte a la ingeniería civil implementando la metodología de diseño estructural de cimentaciones poco profundas en hojas de trabajo de MathCad Prime por el método de Estados límite, de tal forma que

sea posible para los interesados visualizar el procedimiento e interactuar con el programa sin dificultad y de forma libre o gratuita?

En efecto, en este trabajo se creará una herramienta con una interfaz sencilla y accesible que abarque toda la parte conceptual para el diseño y revisión de cimentaciones superficiales aplicando lo estipulado en el código ACI 318S-14 y la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, además de estar validada por un software especializado.

Por lo que se elaborará un paquete de hojas de trabajo que integre un conjunto de formulaciones y terminología relevantes acerca del diseño estructural de cimentaciones superficiales. De tal forma que los usuarios obtengan toda la información teórica necesaria para el entendimiento del procedimiento. Además, no tendrá ningún costo por lo que será fácil adquirirla por parte de los estudiantes de titulación como para ingenieros.

Finalmente, al tratarse de un proyecto que implica la generación y cálculo de varias variables como la geometría de la cimentación y presiones de suelo que relacionan esfuerzos actuantes versus esfuerzos admisibles, es factible ejecutar esta investigación, ya que se cuenta con software y documentación técnica necesaria.

CAPITULO II

II.MARCO TEÓRICO

A. Cimentación

A las cimentaciones se le conoce como el componente estructural que se coloca generalmente bajo el suelo cuya función es transferir las cargas de la superestructura o elementos apoyados en ella al suelo subyacente, repartiéndolas adecuadamente de tal manera que no sobre pase la tensión permisible del mismo provocando asentamientos disparejos comprometiendo así la integridad de la estructura soportada [1]

B. Requisitos para una Buena Cimentación

Para poder decir que se tiene una buena cimentación, esta debe cubrir los siguientes requisitos.

1. La cimentación debe construirse a un calado adecuado para evitar daños a causa de agentes naturales, a levantamientos del cimientto y daños futuros a causa de otras construcciones.
2. Debe contar con un estudio correcto de las propiedades físicas y propiedades mecánicas del suelo sobre el cual se apoyará el cimientto.
3. Debe brindar seguridad ante la falla del suelo sobre el cual se asienta.
4. Evitar producir un asentamiento enorme que dañen la estructura.
5. Debe de soportar las sollicitaciones a las que se va encontrar sometido debido a la distribución de tenciones de contacto.
6. El cimientto debe presentar un diseño óptimo, de bajo costo y de fácil construcción.

C. Clasificación de las Cimentaciones

El tipo de cimentación dependerá de la capacidad de soporte del suelo, de su ubicación y de las características mecánicas que posea el terreno como el nivel freático, su cohesión, etc.; las cimentaciones se clasifican en superficiales y profundas [2].

1) Cimentaciones Superficiales

Son elementos estructurales que se asientan a profundidades cercanas a la superficie del terreno, además son capaces de soportar las cargas que genera la superestructura y transmitir las a un suelo que presente una capacidad portante buena. Estos tipos de cimentaciones distribuyen las cargas en un plano de apoyo horizontal [3]

Las zapatas superficiales al distribuir las cargas generan una distribución de presión en el suelo, esta distribución es de tres tipos: la primera es una distribución trapezoidal, la segunda es triangular que inicia desde la cara exterior del cimiento y la tercera también es triangular, pero a diferencia de la segunda esta inicia a la altura de la cara exterior de la columna.

De acuerdo a [4] define las cimentaciones superficiales como aquellas que poseen una razón entre ancho y profundidad, relación que debe ser menor a cuatro; cuando esta razón es mayor a cuatro se trataría de una cimentación profunda. Además, menciona que un cimiento correctamente diseñado es aquel que transfiere las cargas al suelo sin sobreesforzar a éste. Sin embargo, Terzaghi (1943) al presentar su teoría sobre la capacidad de carga última en cimentaciones menciona que una cimentación superficial se puede clasificar de esta forma cuando la profundidad a la que se encuentra el cimiento sea mayor o igual a cuatro. Investigaciones posteriores realizadas por personas dedicadas a la materia, sugieren que las cimentaciones con una profundidad equivalente a tres o cuatro veces el ancho del cimiento se consideran como cimentación superficial [4]

2) Cimentaciones Profundas

Son estructuras que se construyen a grandes profundidades, su sección transversal es pequeña en comparación con su sección longitudinal al igual que las cimentaciones superficiales su función es trasladar y distribuir las cargas de la superestructura al suelo. Estas cimentaciones se emplean cuando no se encuentra un suelo firme cerca de la superficie del terreno, además son capaces de soportar cargas de compresión en el extremo inferior como lateral del cimiento de tal forma que se equilibren las fuerzas aplicadas [5]

D. Clasificación de las Cimentaciones Superficiales

Las cimentaciones superficiales pueden clasificarse de varios tipos, según su función:

1) Zapatas Aisladas.

Estas zapatas son las más usadas, sirven como apoyo de un único elemento como son las columnas siempre y cuando cada columna se encuentre situada a una distancia no muy cercana la una de la otra. La superficie de apoyo de esta zapata se agranda hasta conseguir que el suelo logre soportar las cargas y sobrecargas transmitidas. Una zapata aislada puede ser centrada, esquinera, excéntrica o medianera, cualquiera de estos elementos individuales se contempla como solución cuando el terreno sobre el cual se va a construir este conformado por un suelo de poca comprensibilidad, suelos duros o con cargas estructurales moderadas. Para el cálculo de las presiones generadas por la zapata sobre el suelo se debe considerar además del peso propio de la construcción y sobrecargas, el peso de la tierra que se encuentra sobre el elemento y el peso propio del mismo. La profundidad a la cual se va a construir el cimiento se establece en base a los resultados del informe geotécnico [6]

a) Zapata Centrada.

En esta zapata se encuentra la columna en el centro de la base del cimiento, la carga en este tipo de zapata puede coincidir con la posición del centro de gravedad de la base o también puede tener una excentricidad mínima, es decir la carga debería encontrarse en el tercio central de la zapata, al igual que los otros tipos de zapatas aisladas es muy utilizada en construcciones para edificaciones.

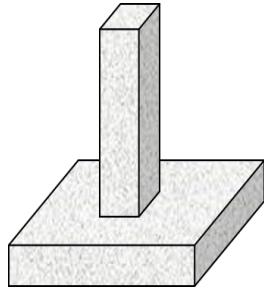


Figura 1. Zapata Aislada Céntrica

Fuente: Autor

b) Zapatas Medianeras.

Este tipo de zapatas también son conocidas como zapatas excéntricas por lo que su carga no coincide con el centro de gravedad de la base del cimiento, es empleada cuando en el terreno colindante existen pilares muy cerca del límite de la propiedad. Las cargas que se producen en la columna son excéntricas con respecto al cimiento, además se tendrá presiones que serán mayores a un lado y menores al otro, es decir se presentara una distribución trapezoidal o triangular [7]

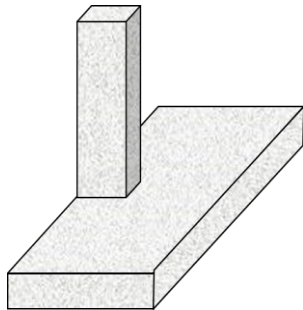


Figura 2. Zapata Aislada de Lindero

Fuente: Autor

c) *Zapata de Esquina.*

Estos elementos estructurales son usados en edificios, precisamente en las esquinas del inmueble en donde coinciden dos zapatas medianeras o en donde se puede encontrar una zapata medianera y la fachada de la edificación, frecuentemente se usan en construcciones que se llevan a cabo en zonas urbanas y en pocas construcciones industriales [7]

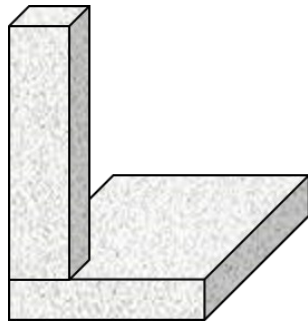


Figura 3. *Zapata de Esquina*

Fuente: Autor

d) *Zapata Combinada.*

Son elementos que se utilizan para unir dos o más pilares, al empalmar los pilares individuales cada uno con momentos flectores diferentes se puede obtener un único elemento con mayor estabilidad y sometido a un menor momento resultante. Se emplean principalmente para el diseño de una columna de lindero, ya que se debe respetar los límites del lote [8]

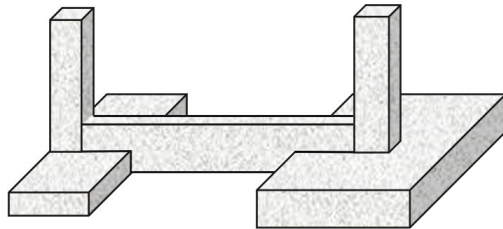


Figura 4. Zapata con Viga de Conexión

Fuente: Autor

e) Zapata Corrida o Continua.

Es el tipo de cimentación superficial que se aplica para cimentar una fila de columnas o muros portantes; el diseño estructural empleado en este tipo de zapata permite que el elemento funcione como viga flotante recibiendo cargas puntuales individuales. Este tipo de cimientos usualmente se emplean cuando se desea cimentar elementos que se encuentran muy próximos y queremos homogeneizar las bases de una hilera de pilares y nos sirve para arriostramiento [9]

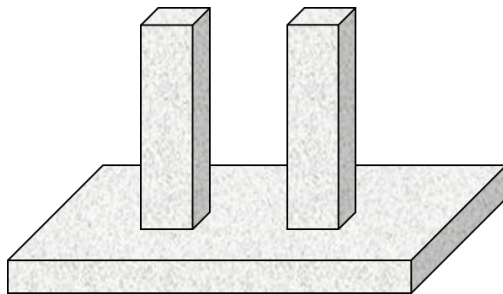


Figura 5. Zapata Continua

Fuente: Autor

E. Criterios para el Diseño de Cimentaciones

Para el diseño de cimentaciones se debe considerar dos criterios fundamentales que son:

1) Criterio Geotécnico

Para el diseño de una cimentación teniendo en cuenta el criterio geotécnico se debe determinar las siguientes características:

- Estabilidad
- Deformación

Características determinadas en base al método de aplicación que se emplea en el desarrollo del análisis geotécnico.

2) Criterio Estructural

Para el diseño de una cimentación teniendo en cuenta el criterio estructural, se debe determinar las siguientes características:

- Espesor de la base del cimiento
- Cantidad de acero de refuerzo
- Esfuerzos admisibles del concreto

F. Factores que Influyen en el Dimensionamiento del Cimiento

Para determinar las dimensiones del cimiento se deben considerar los siguientes factores:

- Geometría de la cimentación.

- El tipo de suelo sobre el que se asienta la zapata.
- Calado del cimiento.
- Cargas de servicio.
- Uso de la edificación.
- Nivel freático.

G. Capacidad de Carga

Es la resistencia que el terreno presenta para tolerar una carga sin que se generen fracturas en el interior del suelo que soporta a la cimentación.

Otros autores la definen como “la carga por unidad de área bajo la cimentación, donde se produce la falla por corte, es decir, es la mayor presión unitaria que el suelo puede resistir sin llegar al estado plástico” [10, p. 54].

Sin embargo, la evaluación de la capacidad de carga es compleja, según Jiménez [11] los siguientes factores hacen que el cálculo de la capacidad sea complejo:

- Varias características geotécnicas.
- Estratos de las capas del suelo.
- Calado del nivel freático.
- Profundidad a la que se construye el cimiento.
- El dimensionamiento de la zapata.
- Excentricidad y dirección de la carga.

Existen varios métodos que explican cómo hallar la capacidad de carga de un suelo los cuales se indicaran a continuación:

1) Teoría de Karl Terzaghi

Terzaghi 1943 [4] fue uno de los primeros ingenieros en plantear una teoría para valorar la capacidad de carga en cimentaciones, en base a esta teoría, una cimentación se clasifica como superficial cuando la profundidad de desplante es menor o igual ancho del cimiento como ya se mencionó anteriormente [4]

Terzaghi 1943 [4] en su teoría supone que el suelo que se encuentra cubriendo el cimiento origina un efecto que es simbolizado como una sobrecarga equivalente $q = \gamma D_f$, que actúa en un plano horizontal. También supone que los ángulos que se forman bajo la cimentación son iguales a los ángulos de fricción (ϕ') del suelo como se observa en la **Figura 6** [4]

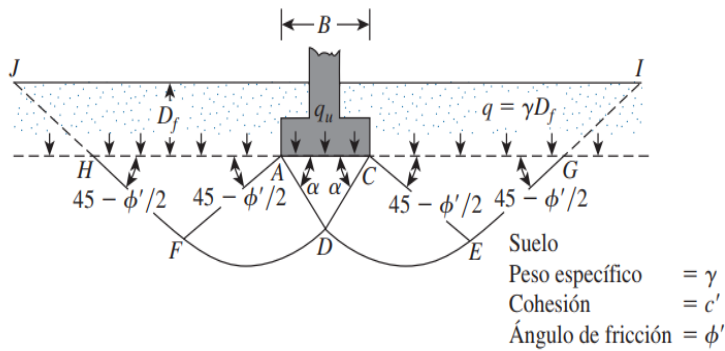


Figura 6. Falla por Capacidad de Carga en Suelo Bajo una Cimentación Rígida Corrida.

Fuente: [4]

Terzaghi empleando el análisis de equilibrio, logró expresar la capacidad de carga última para cimientos corridos, mediante:

Capacidad de carga última para cimiento corridos.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma \quad (1)$$

Donde:

q_u = capacidad de carga última

$q = \gamma D_f$

D_f = profundidad de desplante de la cimentación.

c = cohesión del suelo.

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga adimensionales.

B = ancho del cimiento.

γ = peso específico del suelo

Comentado [MQJP1]: Editor de ecuaciones

Los factores de carga se determinan a través de las siguientes ecuaciones:

Factor capacidad de carga por cohesión

$$N_c = (N_q + 1) \cot \phi \quad (2)$$

Factor capacidad de carga por esfuerzo efectivo

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (3)$$

Factor capacidad de carga por peso específico

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (4)$$

Partiendo de la ecuación (1), puede estimarse la capacidad de carga última para cimentaciones cuadradas y circulares ejecutando ciertas modificaciones:

Capacidad de carga última para cimiento cuadrado

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (5)$$

Capacidad de carga última para cimiento circular.

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (6)$$

2) Teoría de Mayerhof

Mayerhof propone una ecuación general para determinar la capacidad de carga del suelo, en el que introduce la teoría que el suelo que se encuentra sobre el desplante del cimiento puede desarrollar esfuerzos por cortante. Por ello, Mayerhof complementa la ecuación de la capacidad de carga de Terzaghi con factores de profundidad, forma e inclinación de la cimentación, llegando a la siguiente ecuación.

Capacidad de carga del suelo ecuación general.

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (7)$$

Donde:

s_c, s_q, s_γ = factores que tienen en cuenta la forma del cimiento

d_c, d_q, d_γ = factores que tienen en cuenta la profundidad

i_c, i_q, i_γ = factores que tienen en cuenta la inclinación de la carga externa

3) Método de Brinch Hansen

La capacidad que un suelo tiene para soportar una carga puede ser determinado a través de varios métodos como los expuestos por Terzaghi, Meyerhof y Brinch Hansen, las cuales poseen varios parámetros semejantes; sin embargo, cada investigador ha introducido nuevos parámetros y Brinch Hansen no es la excepción, según este método se expresa las siguientes ecuaciones.

Capacidad de carga para suelos ϕ y C- ϕ

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma + c N_c s_c i_c d_c g_c + q N_q s_q i_q d_q g_q \quad (8)$$

Capacidad de carga para suelos C ($\phi = 0$)

$$q_u = 5.14 c * (1 + s_c + d_c - i_c - g_c) + q' \quad (9)$$

Donde:

s_c, s_q, s_γ = factores que tienen en cuenta la forma del cimiento

d_c, d_q, d_γ = factores que tienen en cuenta la profundidad

i_c, i_q, i_γ = factores que tienen en cuenta la inclinación de la carga externa

g_c, g_q, g_γ = factores de inclinación del terreno

$q' = \gamma D_f$

H. Métodos Aplicados al Diseño en Cimentaciones

La construcción de las cimentaciones ha sido un tema de importancia, ya que no existe antecedentes sobre su diseño y proceso de ejecución, por lo que varios investigadores se han enfocado en el estudio de los cimientos llegando así a desarrollar métodos de diseño que ofrezcan resultados cercanos a la realidad. Con el transcurso de los años en la Geotecnia se han desarrollado métodos aplicados al diseño geotécnico, estos son:

- Método de los Esfuerzos Admisibles.
- Método del Factor de Seguridad Global.
- Método de los Estados Límites.

1) *Método de Presión Admisibles*

Este método plantea que la base de la cimentación puede estar sometida únicamente a cargas que puede soportar el terreno, es decir que los esfuerzos actuantes que se determinan en la base del cimiento no pueden exceder los esfuerzos admisibles del suelo. Este fue uno de los primeros métodos empleados para el diseño; sin embargo, el procedimiento ha ido quedando de lado al no ser considerado como la primera opción para ejecutar en un diseño. Este método de forma simplificada se expresa como se indica en la siguiente ecuación.

Comparación de capacidad de carga (Método de la Presión Admisible)

$$q_{u \text{ act}} \leq q_{u \text{ adm}} \quad (10)$$

Donde:

$q_{u \text{ act}}$: Presión actuante

$q_{u \text{ adm}}$: Presión admisible

Para determinar las presiones actuantes se debe emplear algunas consideraciones, tales como:

- Las cargas no deben factorizarse
- Se considera que trabajan en régimen elástico
- No se minoran las cargas del suelo

El método de la presión admisibles posee una desventaja sobre la forma de determinar los esfuerzos admisibles debido a que en realidad este término no es una propiedad propia de los suelos además de que no se presenta de forma real la capacidad portante del suelo [12]

a) Presunta Carga Admisible

Este método el cálculo de la carga admisible se basa en las experiencias que hayan adquirido los ingenieros trabajando en proyectos anteriores, ya que estos guardaban información sobre proyectos exitosos para poder ser usados en proyectos futuros con iguales circunstancias.

En años anteriores las grandes ciudades registraban las presiones usadas en proyectos satisfactorios como en proyectos que fracasaron con el objetivo de crear una base de datos y una guía que ayude en la práctica, debido a esto toma el nombre de presunta carga admisible [13] Según McCormac [3] los códigos relaciones con la construcción presentan presiones admisibles aproximadas como las que se indica en la **Tabla 1**.

TABLA I
PRESUNTAS CARGAS UNITARIAS ADMISIBLES, TÍPICAS

Roca masiva sana	40.00-100.00 kg/cm ²	
Arcilla firme	0.75-1.25 kg/cm ²	
Roca en capas, laminada o fracturada	5.00-15.00 kg/cm ²	
Arena muy suelta	Seca 0.0-0.5 kg/cm ²	Inundada 0-0.3 kg/cm ²
Arcilla blanda	0.0-0.75 kg/cm ²	
Arcilla firme	0.75-1.25 kg/cm ²	
Arena firme	Seca 1.5-3.0 kg/cm ²	Inundada 1.0-2.0 kg/cm ²
Arcilla dura	2.50-5.00 kg/cm ²	

Arena suelta	Seca 0.5-0.15 kg/cm ²	Inundada 0.3-1.0 kg/cm ²
Arcilla resistente	1.25-2.50 kg/cm ²	
Roca masiva con algunas fisuras	15.00-40.00 kg/cm ²	

2) Método del Factor de Seguridad Global

Esta teoría está enfocada en que la seguridad forme parte del diseño geotécnico de la cimentación mediante la implementación de un factor de seguridad, este método halla la tensión máxima que el suelo puede soportar evitando que este falle por estabilidad, en el desarrollo para determinar la tensión máxima se incluyen valores normativos de las características físico- mecánicas del suelo, donde dichas características son influenciadas por un coeficiente de seguridad general (FS) [12]

“El coeficiente de seguridad general (FS) disminuye el valor de la capacidad de carga a un valor de tensión de trabajo, planteándose un comportamiento tenso- deformación lineal del suelo” [12]

El método se expresa mediante la siguiente comparación:

Comparación de tensiones (Método del Factor de Seguridad Global)

$$F_1 \leq \frac{F_2}{FS} \quad (11)$$

Donde:

F_1 = función de las tensiones actuantes, con valores normativos

F_2 = función de la capacidad resistente de la base la cimentación, determinada con los valores normativos de las características físico-mecánicas de los suelos.

FS = factor de seguridad, generalmente varía entre 2.0 a 3.0

La desventaja de este método está en el factor de seguridad, ya que no existe ninguna guía que indique el factor de seguridad que debería elegirse para un caso determinado, pues la selección del

factor de seguridad generalmente depende de la experiencia del ingeniero que este encargado del diseño. [12]

3) *Método por Factores de Carga y Resistencia*

El Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) es un método de diseño en el cual las cargas de diseño se mayoran y las resistencias de diseño se minoran multiplicando por factores mayores y menores que la unidad, respectivamente. En este método las cimentaciones se dimensionan de modo que las cargas mayoradas sean menores o iguales que las resistencias nominales. [14, p. 10]

Método por Factores de Carga y Resistencia.

$$RF * R_n = \sum (LF)_i * Q_i \quad (12)$$

Donde:

RF = factor de resistencia.

R_n = resistencia nominal (no minorada).

$(LF)_i$ = factor de carga para carga unitaria y combinación de cargas determinada.

Q_i = es una carga de un tipo particular (por ejemplo, carga permanente, carga viva, etc.)

4) *Método de los Estados Límites*

Este método es usado en varias ramas de la ingeniería civil, por lo que se ha generalizado su uso pudiendo ser así aplicado en el diseño de diferentes elementos de concreto armado y componentes metálicos.

El método establece que cualquier tipo de elemento que se diseñe bajo las restricciones del Estado Límite durante la vida útil de la construcción no podrá cumplir con las funciones para la cual fue

proyectada; es decir de ninguna manera convendrá que la estructura alcance la falla para cumplir con los criterios de diseño, si este suceso ocurriese se entendería que el elemento ha conseguido llegar a su estado límite [15]

Otros autores definen como estado límite “cuando una estructura o elemento estructural se vuelve inadecuado para su uso previsto” [16].

En el cálculo de las cimentaciones este método se enfoca en obtener un diseño donde las deformaciones y desplazamientos que se originen durante la vida útil del cimiento, así como las presiones a las que se va encontrar sometido el suelo subyacente a la cimentación, sean cercanas a las permisibles en cada caso [12]

Se deben valorar dos tipos de estados límites dentro del método tales como:

- Estados Límites Últimos
- Estados Límite de Servicio

a) Estado Límite Último

Éste estado es conocido también como Estado Límite de Falla estos están relacionados con el colapso total o parcial del suelo que se encuentra debajo y alrededor la cimentación, también están involucrados con el colapso de la estructura del cimiento a causa de estar sometido a grandes deformaciones [15]

Se puede considerar como Estados Límites Últimos los siguientes criterios que se deben a factores como:

- Pérdida de equilibrio de la cimentación por hundimiento del terreno, provocando el vuelco o deslizamiento de la estructura.

- Fractura de una parte del cimiento por pérdida de resistencia de los materiales provocando el colapso de la cimentación.
- Aplicación de sobrecarga en un miembro conectado a otro generaría el colapso de varios miembros provocando que la estructura que recibe toda esta sobrecarga colapse.

b) Estado Límite de Servicio

Relacionados con la baja funcionalidad de la estructura, es decir la cimentación no funcionaría adecuadamente debido a condiciones como deformaciones y desplazamientos laterales que afectan al funcionamiento de la misma, a diferencia del Estado Límite Último o de Falla esté no llega a colapsar [17]

Según MacGregor [16] los Estados Límites De Servicio deben considerarse lo relacionado con los siguientes aspectos:

- Las deflexiones y esfuerzos exagerados de las cimentaciones pueden provocar un mal funcionamiento de la estructura, afectando el aspecto visual de la obra y provocar daños en la estructura o cambios en la distribución de fuerzas.
- El deterioro que puede afectar a la parte estética del elemento, a la calidad del material y por ende comprometer la funcionalidad de la obra.
- Las vibraciones a las cuales está expuesta una edificación pueden provocar fastidio a los usuarios.

I. Normativa Nacional Aplicable

En Ecuador la normativa que se aplica para distintos proyectos es la normativa NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción) establece los parámetros, objetivos y procedimientos con base a la ubicación geográfica del Ecuador siendo esta dentro de una zona de alto riesgo sísmico, como: la evaluación y rehabilitación de estructuras; el diseño sismo resistente; también establece los requisitos para el diseño en hormigón armado, en acero, con mampostería, geotecnia y

cimentaciones; lo que incluyen reglamentos, aplicación de normas nacionales e internacionales y pautas para la construcción de edificaciones con el propósito de aumentar la calidad de cualquier estructura, fomentar el desarrollo sostenible y proteger al usuario.

Para llevar a cabo el diseño estructural como geotécnico se emplea el capítulo NEC-SE-GC - Geotecnia y Cimentaciones además de la NEC-SE-HM – Estructuras de Hormigón Armado.

1) NEC-SE-GC – Geotecnia y Cimentaciones

Este capítulo contiene criterios básicos que se debe emplear para realizar los estudios geotécnicos, partiendo desde un estudio del subsuelo, forma de la superficie y características estructurales, brindando recomendaciones y una guía del diseño geotécnico de cimentaciones futuras o de reforzamiento de cimientos existentes.

a) Función

La normativa menciona que antes de ejecutar cualquier diseño primero se debe realizar un estudio en el cual se comprobará la capacidad del suelo adyacente al elemento estructural bajo un criterio de resistencia al corte y al asentamiento; con el objetivo de que las cargas temporales, cargas permanentes y sísmicas bajo las cuales se encuentra sometida la cimentación se transfieran adecuadamente al suelo [18]

b) Clasificación

La normativa NEC -15 NEC-SE-GC [19] también clasifica a las cimentaciones en profundas y superficiales, dicha diferenciación se establece a través de la siguiente relación.

Clasificar como cimentación superficial.

$$\frac{D_f}{B} \leq 4 \quad (13)$$

Clasificar como cimentación profunda.

$$\frac{D_f}{B} \geq 4 \quad (14)$$

Donde:

D_f = Profundidad de desplante

B = Ancho de cimentación

c) Capacidad de Carga y Factor de Seguridad

La capacidad de carga según la NEC -15 NEC-SE-GC [19] puede determinarse mediante cualquier método explicado en temas anteriores, siempre que se sustente adecuadamente el método de selección.

Los factores de seguridad se usan en el diseño de cimentaciones y muros, son los encargados de garantizar que los esfuerzos transmitidos por la estructura de una edificación mientras ocurren la aplicación de las cargas de servicio no sobrepasen los esfuerzos admisibles del suelo [19]

La normativa menciona dos tipos de factores de seguridad:

- Factores de seguridad por corte: la normativa propone que estos factores se pueden considerar como básicos o como factores de seguridad geotécnica real [19].
- Factores de seguridad indirectos: caso contrario ocurre con estos factores, ya que éste se deriva de los factores de seguridad por corte, a pesar de la relación entre los factores tiene valores diferentes [19].

La Norma Ecuatoria De La Construcción dentro de sus secciones recomienda que siempre se debe evidenciar que para el uso de los factores de seguridad indirectos deben estar involucrados factores

de seguridad por corte superiores o iguales a los mínimos que se indican en la normativa. Sin embargo, sugiere el empleo de los factores de seguridad indirecta mostrados en el **Anexo 1**. [20] Además, la NEC -15 NEC-SE-GC recomienda factores de seguridad para el análisis de estabilidad que se relaciona con el primer estado límite y factores para el Estado Límite de servicio mostrados en la siguiente tabla.

d) Asentamientos

Los asentamientos son el resultado del aumento de esfuerzos ejercidos por la obra u otras cargas que provocando que los estratos del del suelo se compriman dando paso a que se produzca un asentamiento. En el diseño se debe trabajar con un asentamiento total, el cual resulta de la suma de algunos tipos de asentamientos tales como:

- Asentamiento inmediato.
- Asentamiento por consolidación.
- Asentamiento inducido por sismos.

2) NEC-SE-HM – Estructuras de Hormigón Armado

Este capítulo de la NEC-15 hace referencia al análisis y dimensionamiento de distintos elementos que conformen la estructura de una edificación de hormigón armado además del cumplimiento de normativa interaccional [18].

En esta sección de la normativa se establecen los requisitos bajo los cuales debe ser diseñado cada elemento estructural de una edificación, como también el tipo de composición que deben comprender para obtener un diseño óptimo y garantizar una resistencia adecuada.

También establece que el diseño debe comprender un mecanismo flexible, que permita una apropiada distribución de energía sin colapso, al momento que la edificación se vea afectada por un movimiento sísmico [21]. Por lo que la normativa sugiere que “las rótulas plásticas deben

formarse en los extremos de las vigas, en la base de las columnas del primer piso y en la base de los muros estructurales” [21, p. 24].

J. Norma Extranjera Aplicable

Para el diseño de cimentaciones dentro del Ecuador la norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 NEC-SE-HM [22] ha utilizado el ACI 318S como normativa de referencia para el diseño de estructuras de hormigón armado.

American Concrete Institute ACI (Instituto Americano del Concreto), es un código de requisitos para construcción en concreto estructural, normativa vigente a nivel internacional. Este reglamento además presenta temas como el diseño y construcción para resistencia, combinaciones de carga, factores de carga y reducción de resistencia [23]

“El reglamento ACI estipula que los usuarios del reglamento serán los únicos responsables en caso de generarse cualquier tipo de problema ya sea de diseño o interpretación de lo descrito en el código” [23].

Para diseñar la parte estructural de las cimentaciones se debe emplear los siguientes capítulos contenidos en el código ACI 318S-19.

1) Capítulo 13- Cimentaciones

Este capítulo hace referencia en que tipos de diseños puede emplearse, también presenta los tipos de cimentaciones e indica los requisitos y procedimientos de diseño que se emplean. Además, menciona los diferentes capítulos que se involucran en el diseño de las cimentaciones.

2) Capítulo 19 – Concreto: Requisitos de Diseño y Durabilidad

En esta sección del código se establecen los requisitos de diseño y durabilidad del hormigón, también mencionan las propiedades que debe poseer dependiendo del tipo de material que se

emplee el elemento estructural con el objetivo que resista cualquier tipo acción y tenga una durabilidad óptima.

3) *Capítulo 20 – Refuerzo de Acero y Propiedades, Durabilidad y Embebidos*

En este capítulo se establecen los tipos de materiales que se pueden emplear como refuerzo, este capítulo se enfoca únicamente en el acero de refuerzo en donde se presentan las propiedades del acero, también se indican las propiedades que se involucran en el diseño y los requisitos de durabilidad del material además da a conocer los recubrimientos máximos y mínimos al que se encuentra un elemento estructural dependiendo del tipo de exposición al que estén sujetos y a su lugar de fabricación.

III. METODOLOGÍA

El diseño de cimentaciones depende de dos criterios para ser ejecutado, el primero se basa en el criterio geotécnico el cual permite establecer el dimensionamiento de la basa del cimiento, y el segundo es el criterio estructural relacionado con el acero de refuerzo y capacidad del hormigón.

El objetivo del presente proyecto es detallar la metodología y formulación del cálculo de cimentaciones aplicando el método de estados límites, ya que es el método establecido por la NEC para llevar a cabo el dimensionamiento del cimiento. De la misma manera se detallará la formulación para el diseño estructural de la cimentación basado en el Código ACI 318S, el cual es contemplado como guía por la NEC-15 NEC-SE-HM.

A. Diseño Geotécnico de cimentaciones

En la geotecnia los métodos existentes para desarrollar el diseño de la cimentación tienen como finalidad desarrollar ecuaciones para el dimensionamiento correcto del cimiento, cada uno de estos deberá cumplir con condiciones de diseño que aseguren la funcionalidad y seguridad de la estructura. Además, es de gran importancia mencionar que el diseño geotécnico que se presentará es para suelo sin presencia de agua o un nivel freático alto.

1) Estado Límite Último (Estabilidad)

El Estado Límite último es el que se relaciona con la falla total o parcial de la estructura, en este estado se involucran factores de carga y propiedades del suelo con el fin de garantizar estabilidad y resistencia en la estructura. Dentro del estado Límite último se debe verificar el hundimiento, vuelco y capacidad de carga, además de coeficientes que se emplean en cálculo para cada verificación.

a) *Coefficientes de Seguridad Empleados por el Método*

Al igual que otros métodos empleados a las cimentaciones, el método de los estados límites emplean factores de seguridad que son:

- Coefficiente de Ponderación de las Cargas: estos coeficientes permiten establecer la diferencia entre cargas mayoradas y cargas de servicio, que se indican en el **Anexo 3**; sin embargo, las combinaciones recomendadas son las que se indican en la sección 4.2.1 de este documento.
- Coefficientes de las Características Físico- Mecánicas: estos coeficientes se aplican a las características físico- mecánicas del suelo, características que se obtienen de ensayos realizados en laboratorio, para la aplicación del método se debe emplear un porcentaje de confianza de dependiendo del estado límite que se aplique, siendo:
95% para un Estado Límite Último
85% para un Estado Límite de Servicio

Las características físico-mecánicas del suelo se pueden obtener mediante tablas o a través de las siguientes ecuaciones:

Peso específico del suelo factorizado.

$$\gamma^* = \frac{\gamma}{\gamma_{g\gamma}} \quad (15)$$

Ángulo de fricción factorizado.

$$\varphi^* = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \varphi}{\gamma_{g \tan \varphi}} \right) \quad (16)$$

Cohesión factorizada.

$$c^* = \frac{C}{\gamma_{gc}} \quad (17)$$

Donde:

γ_{gy} = Coeficientes de peso específico

$\gamma_{g \tan \phi}$ = Coeficiente de ángulo interno

γ_{gc} = Coeficiente de cohesión

En el **Anexo 5**, se presenta valores de los coeficientes dependiendo de la probabilidad de diseño. Cabe mencionar que el “*” es para indicar que las propiedades del suelo han sido factorizadas.

- **Coeficiente de Seguridad Global:** se refieren a características físicas que influyen en el diseño tales como la importancia de la obra y condiciones bajo las cuales va a trabajar durante su vida útil la cimentación, estos coeficientes no pueden ser determinados a través de ecuaciones matemáticas. Por lo tanto, el método ha facilitado la obtención de los coeficientes a través de valores que se indican en el **Anexo 6**.

b) Comprobación al Vuelco

Esta comprobación siempre se debe realizar para garantizar la estabilidad de la estructura, en esta verificación se involucran todas las solicitaciones bajo las cuales se encuentra sometido el cimiento y los momentos que se generan en una de las esquinas de la cimentación provocados tanto por las fuerzas estabilizadoras como por las desestabilizadoras, además el factor de seguridad para realizar las verificaciones para la condición de vuelco se mostrara en el **Anexo 4**. [24]

Factor de seguridad para vuelco.

$$F.S_{vuelco} = \frac{M_{estabilizadores}}{M_{desestabilizadores}} \geq \text{factor de seguridad} \quad (18)$$

Donde:

$M_{estabilizadores}$ = momentos que contrarrestan el vuelco del cimiento.

$M_{desestabilizadores}$ = momentos que provocan el vuelco del cimiento.

c) Comprobación de Deslizamiento

Esta condición permite verificar si las fuerzas horizontales que actúan sobre la cimentación son menores a las fuerzas que se generan entre el roce de la base de la zapata y el terreno sobre el cual se asienta la cimentación además el factor de seguridad para realizar las verificaciones para la condición de vuelco se mostrase en el **Anexo 4**.

Factor de seguridad para deslizamiento.

$$F.S_{deslizamiento} = \frac{\sum F_{resistentes}}{\sum F_{deslizantes}} \geq \text{factor de seguridad} \quad (19)$$

Donde:

$\sum F_{resistentes}$ = sumatoria de fuerzas resistentes horizontales

$\sum F_{deslizantes}$ = sumatoria de fuerzas actuantes horizontales

d) Comprobación de Capacidad de Carga

La comprobación de la capacidad de carga tiene como objetivo controlar que las fuerzas que ejerce la cimentación sobre el suelo sean menores a la capacidad de soporte del terreno, es decir que no se ocasione una falla en la masa del suelo, por tanto, el método establece la siguiente comparación.

Comprobación de capacidad de carga.

$$N^* \leq Q_{bt} * \quad (20)$$

Como se ha mencionado en el capítulo anterior existen varios métodos para comprobar la capacidad de soporte del terreno; sin embargo, se ha optado por aplicar la ecuación general de Capacidad de

Carga expuesta por Terzaghi, ya que la Norma Ecuatoriana De La Construcción la contempla como opción, de igual forma el método se ha explicado en el capítulo anterior.

Además, la normativa NEC-15 NEC-SE-GC expone ecuaciones que se deberán emplear para cada uno de los términos que intervienen en la ecuación general, la cual incluyen factores de corrección como: forma, capacidad de carga, profundidad y de carga inclinada; factores que pueden ser determinados a través de ecuaciones expuestas por varios autores como se indica en el

Anexo 7.

Ecuación general de capacidad última (NEC-15).

$$q_{\text{último}} = cN_c\lambda_{cs}\lambda_{cd}\lambda_{ci} + qN_q\lambda_{qs}\lambda_{qd}\lambda_{qi} + \frac{1}{2}BN_\gamma\lambda_{\gamma s}\lambda_{\gamma d}\lambda_{\gamma i} \quad (21)$$

Donde:

$\lambda_{cs}, \lambda_{qs}, \lambda_{\gamma s}$: factores de forma

$\lambda_{cd}, \lambda_{qd}, \lambda_{\gamma d}$: factores de profundidad

$\lambda_{ci}, \lambda_{qi}, \lambda_{\gamma i}$: factores de inclinación de carga

N_c, N_q, N_γ : factores de capacidad de carga

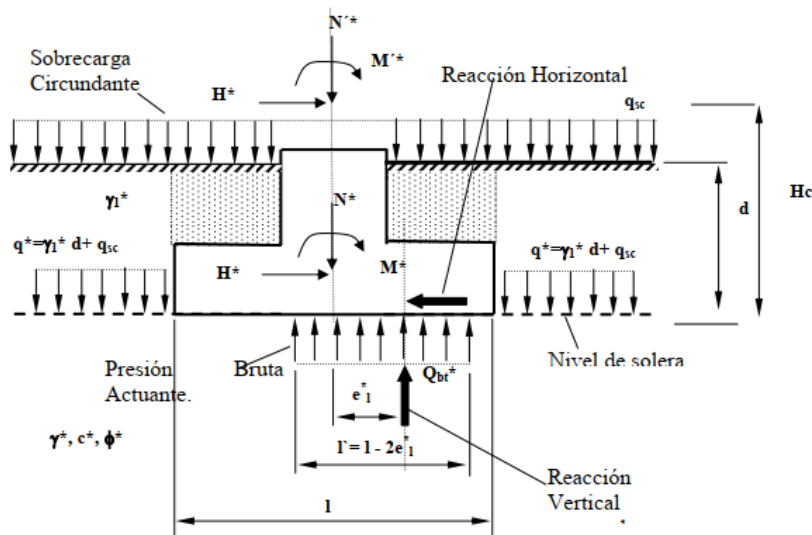


Figura 7. Expresiones para Diseño Geotécnico Fuente. [24]

2) ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ASENTAMIENTOS)

El cálculo de los asentamientos es de gran importancia dentro del diseño geotécnico, ya que se podrá estimar el desplazamiento vertical que sufre la estructura a causa de la aplicación de cargas, también se analizan las deformaciones totales y diferenciales que ocurren en el terreno. Sin embargo, dentro del trabajo de titulación no se ejecutará su desarrollo, ya que para el diseño del cimiento se desarrollará el primer estado límite debido a que el diseño estructural se realizará con cargas mayoradas las mismas que se ejercen sobre la cimentación en el Estado Límite Último.

B. Diseño Estructural de la Cimentación

El diseño estructural se desarrollará bajo los criterios del código ACI 318S -19, para luego ser comprobado los resultados en el software CYPECAD. Es importante mencionar que las hojas de trabajo están desarrolladas únicamente para el cálculo de cimientos que tengan su carga dentro de su tercio central es decir cuando la excentricidad sea menor a $L/6$ o se asuma una distribución uniforme.

1) Procesos para Diseño Estructural de Cimentaciones

El diseño estructural se define como la determinación de variables involucradas en el diseño del cimiento, tales como la cuantía y dimensiones del elemento que cumpla con las condiciones requeridas para que no colapse la estructura. Para ejecutar el diseño estructural se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Obtención de carga de servicio
2. Determinar el ancho de la cimentación (B)
3. Asumir un espesor de la zapata o calcularlo
4. Verificación de punzonamiento o corte bidireccional
5. Verificar corte unidireccional
6. Verificar efecto por flexión
7. Verificar el aplastamiento
8. Longitud de desarrollo

2) Cargas

Son fuerzas que se ejercen sobre cualquier elemento de la estructura durante la vida útil de la misma, existen algunos tipos de cargas las cuales se deben considerar por el estructurista dentro del diseño.

La Norma Ecuatoria De La Construcción clasifica las cargas en tres tipos: permanente, variable y accidentales.

- Cargas Permanentes: también conocida como carga muerta, estas cargas están formadas por los pesos de todos los elementos que conforman la estructura. [25]
- Cargas variables: son cargas vivas, estas dependen del tipo de ocupación del inmueble y están conformadas por el peso de personas o por elementos que se encuentran instalados por poco tiempo dentro de la edificación [25]

- Cargas accidentales: hace referencia a cargas sísmicas y a cargas provocadas por un incendio, choque de vehículos, etc. [25]

En la actualidad, las combinaciones de carga que ofrece la normativa NEC-15 NEC-SE-CG son las que se indica en el **Anexo 3**.

3) Presión Neta

La presión neta hace referencia a la capacidad que el terreno tiene para soportar las cargas totales que provienen de las columnas de la edificación, dentro de estas solicitaciones se considera el peso propio de la estructura y el peso del suelo que se encuentra sobre la base del cimiento.

4) Diseño por Cortante

Este diseño permite estudiar al cimiento como una viga ancha o como losas, además divide el análisis en dos casos: El primero es el corte por flexión el cual está relacionado con el comportamiento unidireccional del cimiento y el segundo es el corte por punzonamiento el cual está relacionado con el comportamiento bidireccional de la cimentación [26]

MacGregro [16] menciona que para el comportamiento bidireccional es posible que el cimiento pueda fallar tanto por corte como por punzonamiento, a pesar de tener la presencia de las dos formas de falla está siempre será menor que la capacidad de corte.

5) Diseño por Flexión

Harmsen [26] indica que las cimentaciones funcionan como losa de cimentación por lo que se encuentran sometidas a flexión en dos direcciones. Para llevar a cabo este diseño se debe ubicar la sección crítica en el borde del pilar, además el diseño del refuerzo debe realizarse para cada de las direcciones.

6) Verificación por Aplastamiento.

Esta acción ocurre en la unión columna- cimiento, esto sucede cuando la resistencia nominal del concreto de la zapata es menor que la resistencia nominal del concreto a compresión de la columna.

C. Análisis Estructural

Para el análisis estructural se modelará un edificio en un software para posteriormente obtener datos que se requieran en el diseño y cálculo de los tres tipos de cimentaciones, con el objetivo de obtener hojas de trabajo con datos más apegados a la realidad.

1) Determinación del Modelo

Para el desarrollo del presente trabajo se ha elegido conjuntamente con el tutor, como objeto de estudio las edificaciones destinadas a un uso ocupacional como vivienda, oficinas, etc., elección por el tipo de cargas de servicio que presta la estructura.

El edificio tiene una altura de 9.98m consta de 4 plantas, una planta baja de 1.50m, primera planta con una altura de 3.64m, la segunda planta con una altura de 3.28m y el último es la cubierta con una altura de 3.06m. Cada losa tiene un espesor de 0.55m.

D. Programas

2) MathCad Prime

“Es el software matemático de ingeniería líder en la industria. Se usa para realizar cálculos altamente precisos fácilmente y luego preservar, compartir y reutilizar esos cálculos para aprovechar al máximo su importante propiedad intelectual” [27]

3) Software CYPECAD

Es un software diseñado para realizar el dimensionamiento y cálculo de obras civiles, según la plataforma de CYPE Ingenieros [28] este programa puede calcular y dimensionar soportes, vigas,

forjados, cimentaciones, uniones metálicas y laminas planas. También, permite la aplicación de normativas internacionales como nacionales para el cálculo de cualquier elemento, además con este software es posible visualizar el procesamiento de la información y planos estructurales del proyecto que se desee trabajar.

E. Modelado de la Estructura En CYPECAD

A continuación se muestra el modelado en el software CYPECAD de la edificación que se seleccionó en base a la cual se desarrollará un ejemplo.

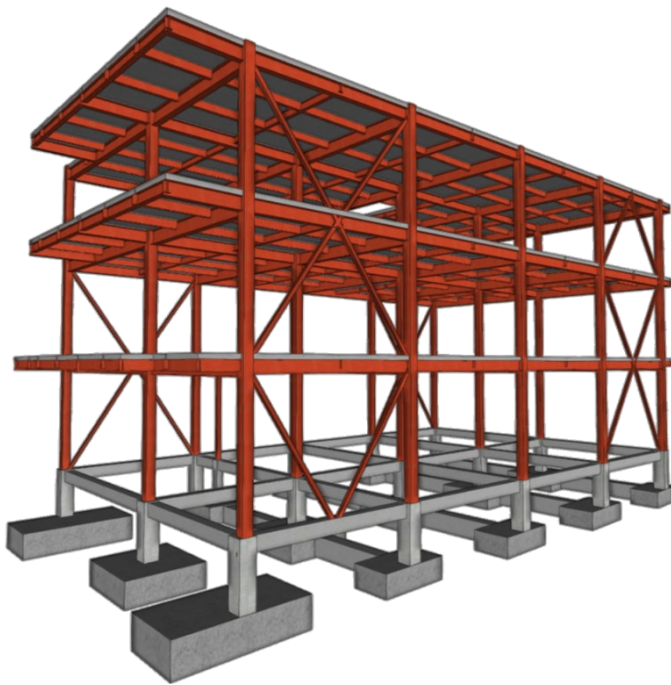


Figura 8. Modelado de Edificación (Ejemplo)

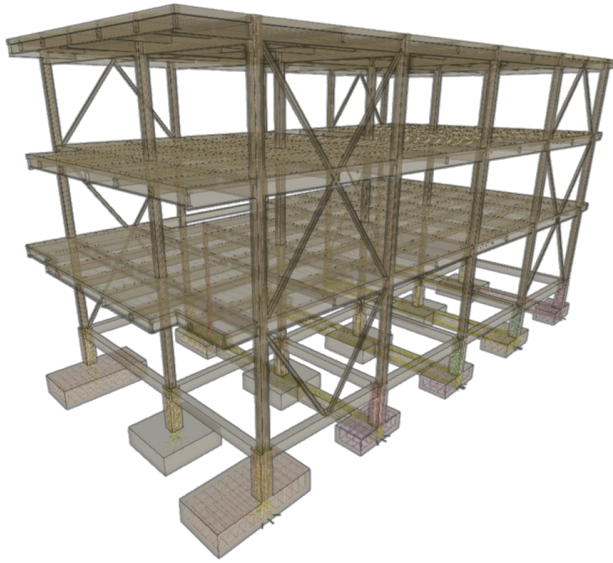


Figura 9. Modelado de Edificación con vista del acero de refuerzo

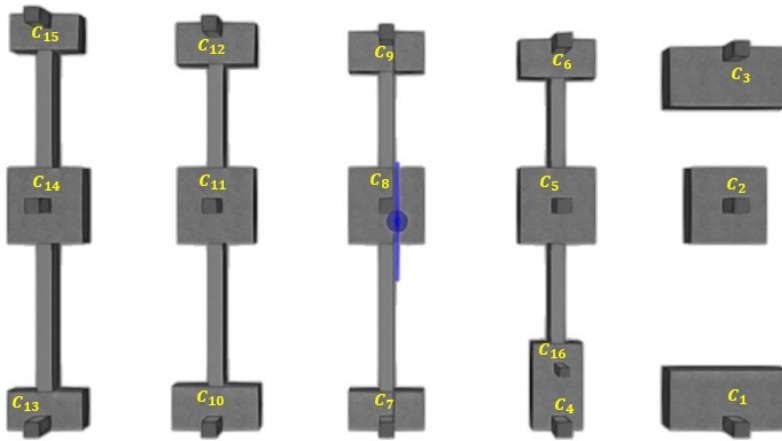


Figura 10. Ubicación de Columnas

4) Extracción de Datos para el Diseño de Cimentaciones Superficiales

Los datos requeridos para ser empleados en las hojas de trabajo se muestran a continuación:

TABLA II .
DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS

N° columna	C ₁	C ₂	C ₅	C ₆
Dimensión a	40cm	40cm	40cm	40cm
Dimensión b	40cm	40cm	40cm	40cm

TABLA III
CARGAS APLICADA EN CADA COLUMNA

N° Columna	CV (Ton)	CM (Ton)	S/C (Ton)
C ₁	6.41	20.53	-
C ₂	15.10	43.76	-
C ₅	17.98	50.4	-
C ₆	6.70	21.22	-

TABLA IV
MOMENTOS APLICADO EN LA COLUMNA

N° Columna	MCV _x (Tn-m)	MCV _y (Tn-m)	MCM _x (Tn-m)	MCM _y (Tn-m)
C ₁	0.02	-0.02	-0.04	-0.07
C ₂	-0.11	0.01	-0.08	-0.03
C ₅	0.14	0.04	0.16	0.10
C ₆	0	-0.05	-0.01	-0.08

Donde:

MCV_x: momento de carga viva en la dirección "x"

MCV_y : momento de carga viva en la dirección “y”

MCM_x : momento de carga muerta en la dirección “x”

MCM_y : momento de carga muerta en la dirección “y”

También se obtuvieron las características de los materiales con los que se trabajará en durante el diseño tales son:

Profundidad de fundación = 1.50 m

$$f'_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$$

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

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

Acero: grado 60 (Latinoamérica)

F. Datos para el Cálculo

Los datos de entrada para el diseño geotécnico y estructural necesarios para el cálculo de área de la cimentación como para sus verificaciones son los que se indican a continuación.

Simbología	Descripción
P_{cv}	Carga de servicio viva
P_{cm}	Carga de servicio muerta o permanente
P_{cs}	Carga de sismo
M_{cv}	Momento generado por carga viva
M_{cm}	Momento generado por carga muerta
M_{cs}	Momento generado por carga de sismo
$H_{x,y}$	Carga horizontal generada por el sismo
D_f	Profundidad de desplante o profundidad de construcción del cimiento
q_{adm}	Esfuerzo admisible del terreno
γ_s	Peso específico del suelo sobre la cimentación
γ_b	Peso específico del suelo bajo la cimentación

c	Cohesión
φ	Ángulo de fricción
α	Inclinación de la carga con respecto a la vertical
h_{so}	Espesor de solado o capa de delgada que colocada en el fondo de la excavación
h_{piso}	Espesor del piso que se encuentra sobre el suelo
a	Dimensión de columna respecto al eje x
b	Dimensión de columna respecto al eje y
$N_{x,x}^{\circ}$	Número de varillas de la columna en dirección x
$N_{y,y}^{\circ}$	Número de varillas de la columna en dirección y
db_t	Diámetro del acero transversal
db_l	Diámetro del acero longitudinal
r	Recubrimiento del acero en el cimiento
γ_{piso}	Peso específico del piso que se encuentra sobre el suelo
γ_{so}	Peso específico de solera
$\gamma_{H^{\circ}}$	Peso específico del concreto armado
f'_c	Resistencia a compresión del concreto
f_y	Resistencia a fluencia del acero
E_s	Módulo de elasticidad del acero de refuerzo
B	Lado menor del cimiento, en orientación X
H	Lado mayor del cimiento, en orientación Y

G. Diseño de Zapata Aislada

A continuación, se establecerán ecuaciones que se aplicaron en las hojas de trabajo para la resolución de cada parámetro, también se presentará la verificación de los resultados con el software CYPECAD, además cabe mencionar que el diseño que se llevará a cabo es de una zapata aislada céntrica con carga axial.

1) Diseño Geotécnico

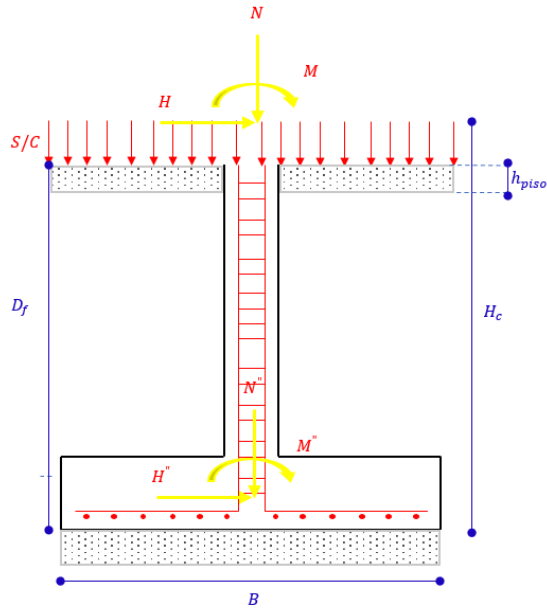


Figura 11. Zapata Central

a) Cargas de Servicio

Las cargas que actúan el cimiento es la suma de las cargas de servicio, lo mismo ocurre con los momentos a los que se encuentra sometida la zapata, cabe mencionar que puede existir también cargas de sismo que pueden ser consideradas en la suma.

Suma de cargas de servicio.

$$P = P_{CV} + P_{CM} + P_{CS} \quad (22)$$

Suma de momentos de servicio.

$$M = M_{CV} + M_{CM} + M_{CS} \quad (23)$$

b) Combinación de Cargas de Diseño Resistencia Última

Las combinaciones para la resistencia última requerida cuando se considera únicamente cargas muerta y carga viva, será la siguiente.

Suma de cargas con factor de mayoración.

$$P_u = 1.6 P_{CV} + 1.2 P_{CM} \quad (24)$$

Suma de momentos con factor de mayoración.

$$M_u = 1.6 M_{CV} + 1.2 M_{CM} \quad (25)$$

Y cuando se considera la aplicación de la carga sísmica el resultado de la mayoración de carga aplicará el valor mayor entre las combinaciones 5 y 7 expuestas en la tabla del **Anexo 3**.

c) Propiedades Físico Mecánicas del Suelo.

Las características físico mecánicas para el primer estado límite se calcularán bajo una probabilidad de diseño del 95%. Para el cálculo se emplearon las ecuaciones (16), (17) y (18)

d) Área de Zapata

Para el área de la base del cimiento debe calcularse a partir de las solicitaciones de servicio tanto fuerzas como momentos que son transmitidos al terreno. El área de la cimentación se determina igualando la carga vertical en el centro de la solera vs la capacidad de carga admisible, ya que este

caso no existe excentricidad en la carga; por tanto, el centroide de la zapata coincide con el punto de aplicación de la carga.

Capacidad de carga admisible.

$$Q = q_{adm} * B^2 \quad (26)$$

Capacidad última

Se aplicará la ecuación (5) sugerida por Terzaghi para el cálculo de la capacidad última para una cimentación cuadrada.

Esfuerzo efectivo en el fondo de la cimentación

$$q = \gamma D_f \quad (27)$$

Para calcular el dimensionamiento de cada lado basta con determinar uno solo ya que se pretende dimensionar para un cimiento.

Dimensión del lado del cimiento cuadrado en la dirección "x".

$$B = \sqrt{A} \quad (28)$$

Dimensión del lado del cimiento cuadrado en la dirección "y".

$$H = B \quad (29)$$

Donde:

B: dimensión de la zapata paralelo a la aplicación del momento, lado menor

H: dimensión de la zapata perpendicular a la aplicación del momento, lado mayor.

También se puede determinar el área como se indica el diseño de zapata de lindero.

e) Excentricidad

Se deberá calcular la excentricidad en la carga cuando la cimentación no se encuentre cargada concéntricamente, en estos casos se deberá hacer una corrección de las dimensiones con las siguientes ecuaciones:

Dimensión de cimiento en la dirección "x" para zapatas con carga excéntrica.

$$B' = B - 2e_B \quad (30)$$

Dimensión de cimiento en la dirección "y" para zapatas con carga excéntrica.

$$H' = H - 2e_H \quad (31)$$

Ecuación de excentricidad.

$$e = \frac{M}{N} \quad (32)$$

Donde:

B' = nueva dimensión de la zapata paralelo a la aplicación del momento, lado menor

L' = nueva dimensión de la zapata perpendicular a la aplicación del momento, lado mayor

e_B = excentricidad del lado menor

e_L = excentricidad del lado mayor

N = valor de carga axial aplicado a una distancia D_f

M = valor de momento aplicado a una distancia D_f

f) Determinar Cargas en el Centro del Cimiento

Las cargas actuantes en este punto se requieren para realizar las verificaciones por vuelco, deslizamiento y capacidad de carga. Para ello primero definimos la distancia entre el centro de

gravedad de la columna y el cimiento. En este caso tanto en la dirección “x”, “y” son cero ya que se trata de una cimentación con carga concéntrica.

Carga vertical en el centro de la solera.

$$N^* = N'^* + 20 \frac{kN}{m^3} * B * H * D_f \quad (33)$$

Donde:

N^* = carga axial en la base del cimiento

N'^* = carga axial mayorada a nivel de solera

20 = peso específico promedio del hormigón y el suelo sobre el cimiento.

Carga horizontal en el centro de solera.

$$H^* = H'^* \quad (34)$$

Donde:

H^* = carga horizontal en la base del cimiento

H'^* = carga horizontal mayorada

Momento en el centro de solera.

$$M^* = M'^* + H'^* * D_f - N^* * c_g \quad (35)$$

Donde:

M^* = momento en la base del cimiento

M'^* = momento mayorado a nivel de solera

C_g = distancia entre el centro de gravedad del cimiento y el centro de gravedad de la columna.

Es de importancia resaltar que para el cálculo del momento en la base del cimiento se debe multiplicar adicionalmente por la distancia que existe entre el centro de gravedad de la columna y la zapata, sin embargo, para el cimiento cuadrado no se aplica, ya que se pretende que los centros de gravedad de los dos elementos coincidan.

g) Verificación del Factor de Seguridad al Vuelco

Verificar que la relación de momentos estabilizadores y momentos desestabilizadores sea mayor o igual al factor de seguridad seleccionado del **Anexo 4**, para este caso se emplea FS de 1.6. La verificación se deberá desarrollar en las dos direcciones “X-Y”

Momentos estabilizantes para vuelco.

$$\sum M_{estabilizantes} = \frac{B}{2} \left(N + 20 \frac{kN}{m^3} * B * H * D_f \right) \quad (36)$$

Ecuación de momentos estabilizadores únicamente aplicable para cimentaciones cuadradas, en el caso de cimentaciones rectangulares con pedestal céntrico la verificación se llevará a cabo mediante $e = \frac{L}{3}$

Momentos desestabilizantes para vuelco.

$$\sum M_{desestabilizantes} = M' + H'_{x,y} * D_f \quad (37)$$

Comparación del factor de seguridad para vuelco.

$$FS = \frac{\sum M_{estabilizantes}}{\sum M_{desestabilizantes}} \geq 1.6 \quad (38)$$

h) Verificación de la estabilidad al deslizamiento

Verificar que la relación de fuerzas actuantes y fuerzas resistentes o fuerza de fricción sea mayor o igual al factor de seguridad seleccionado del **Anexo 4**, para este caso se usó un FS de 1.6. La verificación de deberá desarrollar en las dos direcciones “X-Y”

Fuerzas resistentes para deslizamiento.

$$\sum F_{resistente} = N * \tan(\varphi) + 0.75 * c * B * H \quad (39)$$

Fuerzas actuantes para deslizamiento.

$$\sum F_{actuantes} = H * \quad (40)$$

Comparación del factor de seguridad para deslizamiento.

$$FS = \frac{\sum F_{resistente}}{\sum F_{actuantes}} \geq 1.6 \quad (41)$$

i) Verificación de capacidad de carga

Verificar que la presión que actúa sobre el terreno sea menor a la capacidad de carga del suelo que se encuentra bajo la cimentación, la capacidad resistente se determinará aplicando la siguiente ecuación.

Capacidad resistente del suelo.

$$Q_{bt^{\circ}} = \frac{H * B * (q_{\text{último}} - q)}{\gamma_s} + q \quad (42)$$

Cálculo del esfuerzo efectivo al en la base de la cimentación se emplea la ecuación (27), con la única diferencia que el desplante se multiplicará con el peso específico factorizado el cual se indica en la ecuación (15). Cálculo de la capacidad última según ecuación (21).

Factores de capacidad carga: se desarrollaron aplicando las ecuaciones (2), (3) y (4) .

Factores de forma: se empleó las ecuaciones expuestas por DeBeer mismas que se puede visualizar en él. Ecuaciones para factores de corrección **Anexo 7**.

Factores de inclinación: se empleó las ecuaciones expuestas por Meyerhof (1963) mismas que se puede visualizar en el **Anexo 7**.

Factores de profundidad: se empleó las ecuaciones expuestas por Hansen (1970) mismas que se puede visualizar en el **Anexo 7**. Por último, se realiza la verificación según la ecuación (20)

2) Diseño Estructural

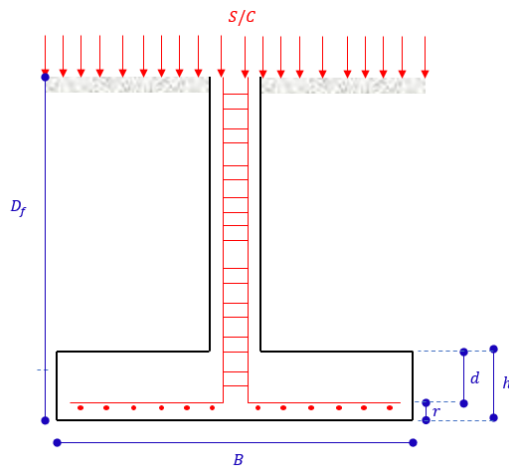


Figura 12. Variables para Diseño Estructural Zapata Central

a) Combinación de Cargas de Servicio

Las cargas para el diseño estructural se desarrollan de igual manera que lo explicado en el diseño geotécnico de la cimentación.

b) Combinación de Cargas de Diseño Resistencia Última

Las combinaciones para la resistencia al igual que las cargas de servicio se realiza como se explicó en el diseño geotécnico o revisando las varias combinaciones que existen.

Además, la norma ecuatoriana indica que, al tener cargas de viento y cargas sísmicas, no es necesario considerarlas simultáneamente.

3) Dimensionamiento

Presiones admisibles: Estos esfuerzos se obtienen a través de estudios geotécnicos, este valor se encuentra en el informe desarrollado por el ingeniero en geotecnia. También estos esfuerzos pueden encontrarse en los códigos empleados según la normativa vigente.

Área de Zapata: Para el área de la base del cimiento debe calcularse a partir de las solicitaciones de servicio tanto fuerzas como momentos que son transmitidos al terreno. El área de la cimentación se determina a partir de la ecuación que presente a continuación, ya que este caso no existe excentricidad en la carga; por tanto, el centroide de la zapata coincide con el punto de aplicación de la carga.

Área de zapata.

$$A_z = \frac{P * FM}{q_e} \quad (43)$$

Donde:

P = carga de servicio

q_e = capacidad de carga efectiva o neta.

FM = factor de mayoración por momento.

Verificación de Presiones: Dentro de esta sección se verifica que las presiones de diseño último no excedan la presión admisible del terreno, al no existir excentricidad en la carga, la presión máxima se determina de la siguiente manera:

Capacidad de presión máxima del suelo.

$$q_{max} = \frac{P_u}{A_z} \quad (44)$$

Donde:

q_{adm} = Presión ejercida por las cargas

P_u = Cargas de diseño (cargas mayoradas)

A_z = área de la cimentación.

4) *Verificación por Cortante*

La norma Ecuatoriana NEC-15 NEC-SE-HM el chequeo por cortante se ejecuta con el fin de verificar que el cortante último que se encuentra en la sección crítica sea menor e igual a la resistencia de corte del concreto.

Verificación por corte.

$$V_u \leq \Phi V_c \quad (45)$$

Donde:

V_c = Resistencia nominal corte proporcionado por el concreto.

V_c = Fuerza cortante última o mayorada.

Determinación de Peralte o Espesor del Cimiento: para determinar el espesor de la zapata se iguala el esfuerzo que es capaz de resistir el hormigón vs el esfuerzo que se ejerce en la sección crítica para cortante, para ello se deberá igualar la Verificación por corte quedando de la siguiente manera:

$$V_u = \Phi V_c$$

a) *Cortante en una Dirección*

La sección crítica se amplía en un plano a lo largo del cimiento, además el cortante se debe medir a una distancia “d” desde la cara de la columna según normativa.

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

Esfuerzo cortante último.

$$V_u = \frac{v_u}{\phi * B * d} \quad (46)$$

- Esfuerzo que resiste el hormigón a una distancia “d”

Esfuerzo capaz de resistir el concreto.

$$\Phi V_c = 0.53 * \lambda * \sqrt{f'_c} * B * d \quad (47)$$

Donde:

B = ancho de la zapata

D = altura efectiva

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

ϕ = factor de reducción de resistencia (0.75 para cortante)

b) Cortante en dos Direcciones o Punzonamiento.

El punzonamiento ocurre cuando a causa de los esfuerzos cortantes que actúan alrededor del perímetro de la columna, generalmente se debe realizar el análisis en las dos direcciones (x,y), sin embargo para una zapata cuadrada basta con el análisis en una sola dirección debido a su geometría.

- Perímetro alrededor de la columna

Perímetro de la sección crítica.

$$b_0 = 2 * (l_x + d) + 2 * (l_y + d) \quad (48)$$

Fuerza cortante admisible para cortante en dos direcciones (vc) debe ser el mínimo de las tres ecuaciones.

Cortante admisible 1

$$v_c = 0.33 * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (49)$$

Cortante admisible 2

$$v_c = 0.17 * \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) * \lambda_s * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (50)$$

Cortante admisible 3

$$v_c = 0.083 * \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) * \lambda_s * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (51)$$

La norma Ecuatoriana de la Construcción menciona que cuando se diseñe por cortante bidireccional y sobre la zapata se encuentre una columna cuadrada se use la **Cortante admisible 1** sin embargo cuando el valor de β es mayor a 2 no es conservador. También indica que para columnas rectangulares se debe escoger el menor valor de v_c .

Término de factor de efectos de tamaño dado,

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.04 d}} \leq 1 \quad (52)$$

Relación de dimensiones larga o corta,

$$\beta = \frac{\text{lado mayor de columna}}{\text{lado menor de columna}} \quad (53)$$

Constante usada para calcular V_c en losas y zapatas son [23]:

- $\alpha_z = 40$ sección crítica para columnas interiores
- $\alpha_z = 30$ sección crítica para columnas de borde
- $\alpha_z = 20$ sección crítica para columnas de esquina

Para finalizar, se realiza la verificación por punzonamiento comparando el esfuerzo resistente vs el esfuerzo último como se indica en la ecuación (45).

Si esta comparación no cumple se deberá aumentar el valor de “d” o en su caso el peralte de la zapata.

5) *Diseño de Refuerzo Longitudinal*

Área de acero por contracción y temperatura (mínimo).

$$A_{s_min} = 0.0020 * B * L \quad (54)$$

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

$$A_{s_calculado} = \frac{M_u}{\Phi * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (55)$$

Para determinar el valor de la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos “a” requerimos el cálculo de “c” [23]

Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.

$$c = \frac{\varepsilon_{cu} * d}{\varepsilon_y + \varepsilon_{cu}} \quad (56)$$

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.

$$a = \beta_1 * c \quad (57)$$

β_1 : este valor se puede calcular con la ecuación siguiente y deberá mantenerse dentro de rango ($0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$), en caso de exceder estos valores se deberá considerar valores límites.

Valor para distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto.

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'_c - 280)}{70} \quad (58)$$

También se puede usar un $\beta_1 = 0.85$ si no se desea realizar el procedimiento planteado anteriormente.

Además, se puede emplear la ecuación directa la cual se muestra a continuación que indica la norma NEC- 15 NEC-SE-HM para el cálculo del área de acero requerido.

Área de acero requerido (NEC-15).

$$A = 0.85 * \frac{f'_c * L * d}{f_y} * \left(1 - \sqrt{\frac{2 * Mu}{0.85 * \phi * f'_c * L * d^2}} \right) \quad (59)$$

Acero máximo

Como primer paso para el cálculo del acero máximo es determinar la cuantía balanceada, luego se determina la cuantía máxima y posteriormente calcular el acero máximo a través de las siguientes expresiones:

Cuantía balanceada.

$$\rho_b = \frac{0.85 * \beta_1 * f'_c * 0.003 * E_s}{f_y * (0.003 * E_s + f_y)} \quad (60)$$

Cuantía máxima.

$$\rho_{max} = 0.5 \rho_b \quad (61)$$

Área de acero máximo.

$$A_{s_max} = \rho_{max} * B * d \quad (62)$$

Para seleccionar el acero que se usará se debe realizar una comparación entre el acero mínimo, el calculado y el máximo, es decir si el acero calculado es menor al mínimo se deberá considerar para el diseño el A_{s_min} ; lo mismo ocurre cuando el cálculo excede el acero máximo se deberá considerar para el diseño el A_{s_max} y si el acero calculado no excede ninguno de los dos valores pues será el que aplicará en el resto del diseño.

c) *Espaciamiento de Acero*

El espaciamiento del acero de refuerzo de la zapata se estima mediante la siguiente ecuación establecida por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción.

Espaciamiento de acero.

$$S = \frac{B - 2r - \phi}{N_{varilla} - 1} \quad (63)$$

6) Verificación por Aplastamiento.

Para la evaluación por aplastamiento de acuerdo con la NEC – 15 NEC-SE-HM guía de hormigón armado tiene la siguiente ecuación

- Área de la columna que se encuentra sobre la zapata.

Área bruta de columna.

$$A_1 = l_x * l_y \quad (64)$$

- Área del cimiento

Área bruta de zapata.

$$A_2 = B * L \quad (65)$$

Relación entre áreas, esta relación no debe de exceder el valor de 2, pero en caso de excederlo se deberá considerar para el cálculo el valor límite.

Relación área zapata vs área columna.

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \quad (66)$$

Esfuerzo de aplastamiento de columna.

$$\Phi * 0.85 * f'_c \quad (67)$$

Esfuerzo de aplastamiento del cimiento.

$$\Phi * 0.85 * f'_c * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (68)$$

Donde

A_1 = área de columna

A_2 = área de zapata

1. resistencia de aplastamiento de columna

2. resistencia de aplastamiento de zapata

En la NEC-15 NEC-SE-HM, se establece que el esfuerzo de aplastamiento de la zapata no puede ser mayor al esfuerzo de aplastamiento de la columna, pero en el caso de ocurrir lo contrario se deberá colocar acero vertical o dowels.

7) *Longitud de Desarrollo*

La NSR-10 define a la longitud de desarrollo como la longitud embebida del refuerzo en el concreto, requerida para desarrollar la resistencia de diseño del refuerzo en una sección crítica.

La NEC-15 NEC-SE-HM establece la ecuación (69), caso contrario se deberá usar la ecuación (70).

Longitud de desarrollo para unidades en MPa.

$$l_d = \left(\frac{f'_c * \psi_t * \psi_e * \lambda}{1.4 * \sqrt{f'_c}} \right) * db \quad (69)$$

Longitud de desarrollo para unidades en kgf/cm²

$$l_d = \left(\frac{f'_c * \psi_t * \psi_e * \lambda}{4.4 * \sqrt{f'_c}} \right) * db \quad (70)$$

Donde:

Ψ_t = factor de modificación para longitud de desarrollo con base en el tamaño del refuerzo.

Ψ_e = factor de modificación para la longitud de desarrollo con base en revestimiento del refuerzo.

db = diámetro de varilla empleada en el refuerzo.

H. Diseño Zapata de Lindero

En el diseño de este tipo de zapata se realizará de forma similar al diseño de la cimentación aislada cuadrada, no expresaran explícitamente las ecuaciones únicamente se mencionará el número de ecuación que se deberá emplear, solamente se detallarán ecuaciones que no se han aplicado anteriormente o aspectos nuevos que se deberán considerar para la aplicación de fórmulas usadas en la sección anterior.

1) Diseño Geotécnico

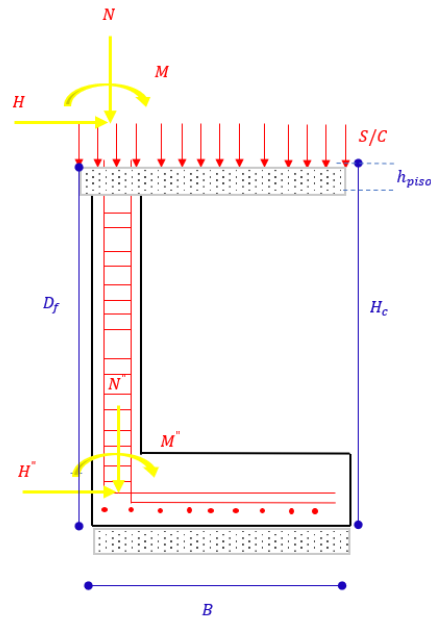


Figura 13. Zapata de Lindero

a) Área de zapata

A diferencia del procedimiento desarrollado en la zapata aislada cuadrada, en este caso se empleará directamente la ecuación (43), la cual involucra únicamente la fuerza normal y la capacidad admisible del suelo.

Según recomendaciones de diferentes autores la geometría de una zapata de lindero deberá ser rectangular ya que al tener esta geometría toda la base del cimiento aporta la distribución de esfuerzos. Para el dimensionamiento se deberá emplear las siguientes expresiones:

- Determinar lado "B"

Dimensión lado corto de cimiento rectangular.

$$B = \sqrt{\frac{A_z}{2}} \quad (71)$$

- Determinar lado “H”

Dimensión lado largo de cimiento rectangular.

$$H = 2 * B \quad (72)$$

b) Excentricidad

La excentricidad se calculará obligatoriamente ya que se trata de un cimiento con columna excéntrica, y la Norma NEC-15 NEC-SE-GC establece que se deberá determinar nuevas dimensiones en las que involucre la excentricidad, para ello se usará la Dimensión de cimiento en la dirección “x” para zapatas con carga excéntrica y Dimensión de cimiento en la dirección “y” para zapatas con carga excéntrica.

c) Cargas en el Centro del Cimiento

Las cargas actuantes en este punto se determinarán a partir de las ecuaciones (33), (34) y (35). En este caso la distancia al centro de gravedad en la dirección “x” será igual a $\frac{B}{2} - \frac{a}{2}$ y la distancia en la dirección “y” es cero ya que se encuentra paralelo al centro de gravedad.

d) Verificaciones de los factores de seguridad

Las verificaciones como capacidad de carga, de vuelco y deslizamiento se determinarán de la misma forma que se desarrolló en el diseño geotécnico de la cimentación cuadrada.

2) Diseño Estructural Zapata de Lindero

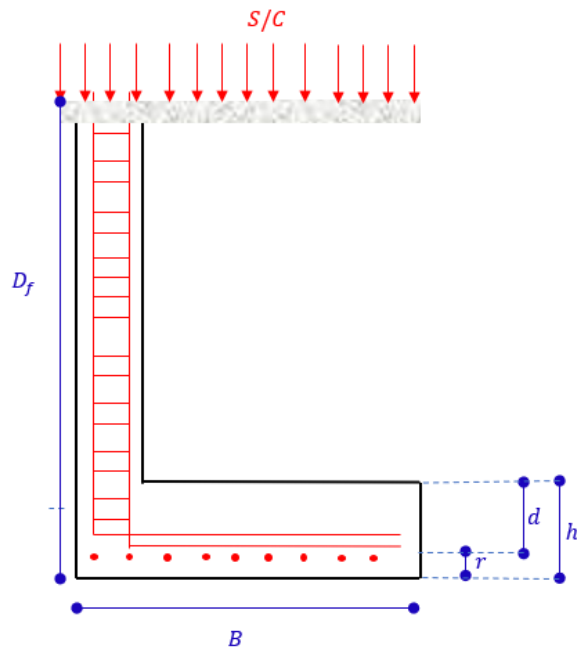


Figura 14. Variables para Diseño Estructural Zapata de Lindero

Para la verificación de presiones, de cortante unidireccional, de diseño a flexión y aplastamiento se replica el procedimiento mostrado en la sección “2)” de este documento, lo opuesto ocurre para la verificación por punzonamiento o cortante bidireccional, pues la diferencia se base en la ecuación del perímetro de la sección crítica para cortante en losas y zapatas ya que en la dirección del eje “Y” esta sección se aplica únicamente el lado derecho de la columna, por tanto la expresión será la siguiente:

- Perímetro de la sección crítica para cortante

Perímetro de la sección crítica para zapata rectangular.

$$b_o = 2 * \left(a + \frac{d}{2} \right) + (b + d) \quad (73)$$

Luego para la verificación se realiza de la misma manera que el diseño estructural del cimiento aislado céntrico.

I. Diseño Zapata con Viga de Cimentación

El diseño de las zapatas con viga de cimentación se llevará a cabo solamente la parte estructural, ya que en este caso la viga se construye con el objetivo de generar estabilidad a al cimiento, es decir evitar que este se voltee o deslice la zapata; y el estudio geotécnico se ejecuta para las evitar las mismas acciones por tanto se realizará el diseño estructural.

Es de importancia mencionar que durante el desarrollo se llamará zapata exterior al cimiento que se encuentra al lado derecho de la **Figura 15** y zapata interior al cimiento que se encuentra al lado izquierdo de la **Figura 15**.

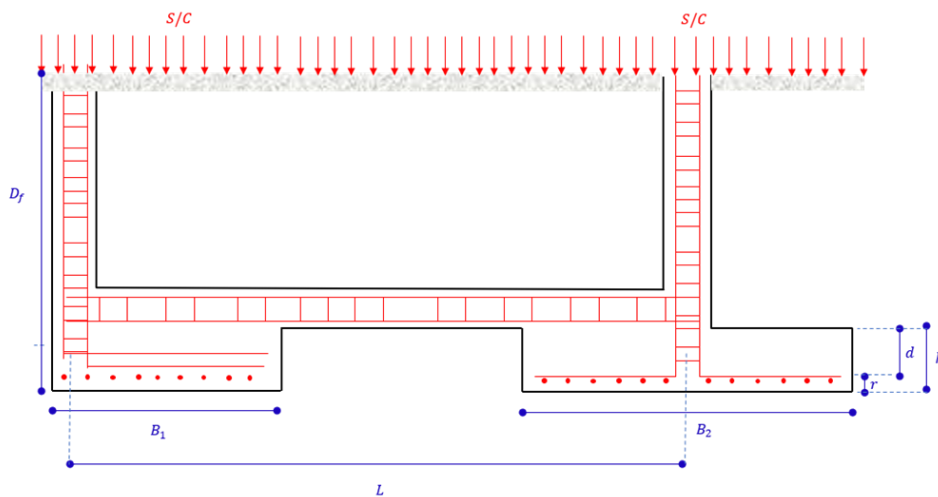


Figura 15. Variables para Diseño Estructural Zapata con Viga de Conexión.

1) Cargas Aplicadas en el Cimiento

Las cargas para este tipo de zapata se calculan siguiendo el procedimiento realizado tanto para el diseño de zapata central como para la de lindero. A diferencia de los diseños anteriores es que se deberán calcular para las dos columnas.

2) Dimensionamiento de Zapata

a) Área de zapatas.

La estimación del área para los dos cimientos se realiza a través de la ecuación (43).

b) Verificación de dimensiones de cimientos

Las verificaciones se realizan para confirmar que las dimensiones obtenidas sean las adecuadas y cumplan con los requisitos posteriores y no esperar a que estos requisitos den como error para volver a dimensionar el cimiento. Para ello se deberá emplear las siguientes ecuaciones:

Distancia de Carga Resultante.

$$x_1 = \frac{B_1}{2} - \frac{a_1}{2} \quad (74)$$

Carga Resultante Zapata Exterior.

$$R_1 = \frac{P_1 * L}{L - x_1} \quad (75)$$

Carga Resultante Zapata Interior.

$$R_2 = P_1 + P_2 - R_1 \quad (76)$$

Área de Diseño del Cimiento.

$$Az_{1 \text{ ó } 2} = \frac{R_1 \text{ ó } R_2}{q_{n,1} \text{ ó } q_{n,2}} \quad (77)$$

Verificación de lado B.

$$Brequerido = \frac{Az}{H} \quad (78)$$

Verificación de lado H.

$$Brequerido = \frac{Az}{B} \quad (79)$$

Estas verificaciones se deben hacer para la zapata exterior e interior y debe cumplir que lado requerido debe ser menor e igual al lado propuesto de diseño.

c) Peralte efectivo zapatas

La norma ecuatoriana menciona que el peralte efectivo calculado por cortante se puede aplicar también para el cortante bidireccional, no es necesario calcular el peralte efectivo para las dos acciones.

d) Diseño de refuerzo.

Se realizará con el procedimiento explicado a detalle en el diseño de zapata central.

3) Diseño viga de cimentación

a) Área viga de cimentación

El cálculo para el espesor mínimo primero se considerará las ecuaciones expuestas por el ACI 318S-19, mismo que se indican en el **Anexo 8**.

Para el diseño del peralte de la viga se empleó la siguiente expresión:

Espesor mínimo para peralte de viga.

$$h = \frac{L}{8} \quad (80)$$

El ancho de la viga dependerá del tipo de geometría que el diseñador creyere conveniente emplear, para una viga con geometría cuadrada el lado $b=h$ y para una viga con geometría rectangular $b=h/2$

b) Momento máximo

Los momentos máximos sirven para dar una idea en cuál de las dos caras de la viga se debe colocar mayor cantidad de acero, este cálculo es indispensable realizarlo para evitar una falla por cortante. Para determinar el momento máximo de la viga de cimentación se deberán emplear las siguientes ecuaciones:

Peso propio de la Viga por Unidad de Metro.

$$W_v = h * b * \gamma H \quad (81)$$

Peso Propio de Zapata Exterior.

$$W_{Z_{u1}} = \frac{R_1}{B_1} \quad (82)$$

Distancia “x” a la que Actúa el Momento.

$$x_3 = \frac{P_{u1}}{(W_{z_{u1}} - W_{u_v})} \quad (83)$$

Momento Máximo.

$$M_{\max \text{ viga}} = (W_{z_{u1}} - W_{u_v}) * \frac{x_3}{2} - P_{u1} * \left(x_3 - \frac{a_1}{2}\right) \quad (84)$$

c) Peralte Efectivo

El peralte efectivo de la viga se determina de la misma manera que en las zapatas, restando del peralte de diseño el recubrimiento, diámetro de estribo y diámetro de varilla longitudinal.

d) Estribos

Los estribos siempre deben ir colocados en la viga de cimentación, cuando el cálculo del estribo no sea necesario se deberá colocar un estribo con un diámetro mínimo de 10mm según la NEC- 15 NEC-SE-HM.

e) Diseño de refuerzo






El acero de tanto de la parte superior como de la inferior se calculan de la misma forma que se ha desarrollado en las cimentaciones anteriores.

f) Verificación por Cortante

El cortante en vigas debe de cumplir con la condición al igual que los cimientos, condición donde se debe verificar que la fuerza cortante que soporta el concreto debe ser mayor e igual a la fuerza cortante que actúa sobre el elemento.

J. Programa Propuesto Utilizando Mathcad Prime

EL software permite realizar hojas de trabajo que constan de un diseño geotécnico y un estructural, dentro de cada hoja se encuentran datos, fórmulas y variables resaltadas con colores que se indicaran a continuación para evitar confusión en el momento de entender el desarrollo o al ingresar y modificar datos.

- Datos de ingreso 
- Datos editables 
- Datos fijos 
- Ecuaciones 
- Resultados 

El funcionamiento de las hojas de trabajo es poco complejo ya que son muy pocas variables a las que el usuario debería agregar un valor o modificarlo, este software define a las variables antes del símbolo “:=” y posterior al mismo define las ecuaciones, los resultados son los que muestran luego del signo “=”. MathCad Prime permite que las variables puedan definirse combinando letras mayúsculas y minúsculas como también números, siempre se debe tener precaución en definir todas las variables ya que al no hacerlo la ecuación da como error mostrando un mensaje subraya de rojo.

Las hojas de trabajo de MathCad facilita trabajar con diferentes unidades que se encuentren el mismo sistema de unidades y cuando en una ecuación las unidades no coinciden aparece un mensaje rojo indicando “Las unidades no son compatible”. Además, permiten emplear hojas de Excel que trabajan conjuntamente con los datos de las hojas de trabajo y permite la gráfica de ecuaciones o funciones.

A continuación, se presentará un manual de uso de las hojas de trabajo propuestas para el diseño geotécnico.

1) Manual de uso de las hojas de trabajo para diseño geotécnico

Paso 1.

Familiarizarse con el código de colores que se mostrará a la primera hoja del documento antes de realizar cualquier modificación.

Paso 2.

En la sección definida como **Datos** ingresar por lo menos un valor a dos de las cargas definidas en las hojas de trabajo, el resto de datos obligatoriamente debe contener un valor numérico.

Paso 3.

En apartado **1. Cargas de Servicio** se visualizará primero los resultados de la sumatoria de cargas aplicada en la cabeza de la columna, luego se procede a seleccionar que tipo de cargas son las que se involucrarán en el diseño y posteriormente se observará el resultado de las cargas mayoradas.

Paso 4.

En el **2. Área de cimiento** primero seleccionar si el cimiento que propone es cuadrado o rectangular, luego deberá dirigirse a la variable B' resaltado de amarillo ahí podrá ingresar un valor aproximado al que se calculó automáticamente en b. o por lo contrario ingrese el mismo valor para la dimensión en la dirección "x"; se recomienda considerar valores enteros.

Paso 5.

En **3. Cargas en el centro del cimiento** aquí solamente se ingresará la distancia que existe desde el centro de gravedad de la zapata al centro de gravedad de la columna. Es importante mencionar que esta distancia existirá siempre y cuando la columna no sea céntrica.

Paso 6.

En **4. Propiedades físico – mecánicas del suelo factorizadas** en esta sección el usuario deberá seleccionar en qué condiciones se encuentra cada suelo para obtener el valor de cada de los coeficientes involucrados en la determinación de cada propiedad.

Paso 7.

Se debe seleccionar el factor de seguridad que se pretende emplear en las secciones **5. Verificación del factor de seguridad al vuelco, 6. Verificación de estabilidad al deslizamiento.**

Al finalizar la hoja de trabajo se mostrará una lista de resultados de los parámetros calculados, el desarrollo completo se puede observar en **Anexo 10.**

2) Manual de uso de las hojas de trabajo para diseño estructural

Paso 1.

Familiarizarse con el código de colores que se mostrará a la primera hoja del documento antes de realizar cualquier modificación.

Paso 2.

En la sección definida como **Datos** ingresar por lo menos un valor a dos de las cargas definidas en las hojas de trabajo, el resto de datos obligatoriamente debe contener un valor numérico.

Paso 4.

En el **2. Área de cimiento** primero seleccionar si el cimiento que propone es cuadrado o rectangular, luego deberá dirigirse a la variable B resaltado de amarillo ahí podrá ingresar un

valor aproximado al que se calculó automáticamente en B. o por lo contrario ingrese el mismo valor para la dimensión en la dirección “x”; se recomienda considerar valores enteros.

Paso 5.

En el **5. Verificación por cortante o corte unidireccional** aquí deberá ingresar el valor del d_v calculado en d_v =solución, el mismo valor puede ser utilizado en **6. Verificación por punzonamiento o corte bidireccional**. El valor de “d” que se empleará para comparar resultados será el que se determine en la sección **7. Diseño de Acero** este valor deberá volver a ingresar en la sección 6 y 7 para los valores de diseño reales.

Paso 6.

En el **7. Diseño de Acero** se deberá ingresar el valor h (espesor del cimiento) ya se él se calculó o de preferencia un valor sin decimales. También se deberá ingresar el diámetro de varillo que se pretende implementar en el cálculo del diseño para el acero.

Paso 7.

Al final del documento se observará graficas donde se visualicen la distribución del acero en planta y transversalmente.

IV.RESULTADOS

Luego de culminar con el desarrollo del diseño en las hojas de trabajo y haber empleado el tipo de cargas y características de los materiales obtenidos de un proyecto real y haber ejecutado el diseño en el software CYPECAD se han obtenido los siguientes resultados.

A. Zapata Céntrica

A continuación, se presentará una tabla donde se puedan observar los datos obtenidos con el software **Anexo 11** y el desarrollado en las hojas de MathCad Prime para un cimiento céntrico.

TABLA V
COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE CYPECAD Y MATHCAD ZAPATA CÉNTRICA

Descripción	Resultados	Resultados
	MathCad Prime	CYPECAD
Díámetro acero	16 mm	16 mm
Lado B dirección en “x”	2.10 m	2.10 m
Lado H dirección en “y”	2.10 m	2.10 m
Espesor de zapata	45 cm	45 cm
Tensiones sobre el terreno	1.74 kgf/cm ²	1.72 kgf/cm ²
Flexión en la dirección “x”	13.18 t-m	13.37 t-m
Flexión en la dirección “y”	13.19 t-m	13.28 t-m
Cortante en la dirección “x”	17.62 t	18.18 t
Cortante en la dirección “y”	17.62 t	18.05 t
Espacio para anclar arranques en fundación	34.3 cm	35 cm
Número de barras longitudinal	10	8
Número de barras transversal	10	8
Separación entre barras longitudinal	23 cm	24 cm
Separación entre barras transversal	23 cm	24 cm
Longitud de Anclaje dirección x	63 cm	75 cm

Longitud de Anclaje dirección y	83 cm	95 cm
---------------------------------	-------	-------

B. Zapata de Lindero

De igual manera se presentará una tabla donde se puedan observar los datos obtenidos con el software **Anexo 12** y el desarrollado en las hojas de MathCad Prime para un cimiento de lindero.

TABLA VI
COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE CYPECAD Y MATHCAD ZAPATA DE LINDERO

Descripción	Resultados	
	MathCad Prime	CYPECAD
Lado B dirección en “x”	1.10 m	1.10 m
Lado H dirección en “y”	2.20 m	2.20 m
Espesor de zapata	45 cm	45 cm
Diámetro acero	16 mm	16 mm
Tensiones sobre el terreno	1.44 kgf/cm ²	1.79 kgf/cm ²
Flexión en la dirección “x”	2.22 t-m	-2.78 t-m
Flexión en la dirección “y”	4.51 t-m	4.75 t-m
Cortante en la dirección “x”	5.28 t	5.28 t
Cortante en la dirección “y”	8.45 t	7.59 t
Espacio para anclar arranques en fundación	24.9 cm	25 cm
Número de barras longitudinal	5	4
Número de barras transversal	10	9
Separación entre barras longitudinal	22 cm	24 cm
Separación entre barras transversal	22 cm	24 cm
Longitud de Anclaje	78 cm	81 cm

C. Zapata Con Viga de Cimentación

Para los resultados de este tipo de cimiento se mostrarán en tres tablas distintas, la primera la tabla se presentarán los datos de la zapata exterior, la segunda tabla de la zapata interior y por último la tabla de la viga de conexión, se podrá ver los resultados obtenido del software en los **Anexo 13**, **Anexo 14**, **Anexo 15**.

TABLA VII
COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE CYPECAD Y MATHCAD ZAPATA EXTERIOR

Descripción	Resultados	
	MathCad Prime	CYPECAD
Lado B dirección en “x”	1.10 m	1.10 m
Lado H dirección en “y”	2.20 m	2.20 m
Espesor de zapata	60 cm	60 cm
Diámetro acero	16 mm	16 mm
Tensiones sobre el terreno	1.5 kgf/cm ²	1.40 kgf/cm ²
Flexión en la dirección “x”	7.13 t-m	0 t-m
Flexión en la dirección “y”	8.63 t-m	7.22 t-m
Cortante en la dirección “x”	3.22 t	3.03 t
Cortante en la dirección “y”	6.75 t	6.98 t
Espacio para anclar arranques en fundación	49.3 cm	50 cm
Número de barras longitudinal	7	6
Número de barras transversal	14	12
Separación entre barras en “x”	16 cm	18 cm
Separación entre barras en “y”	16 cm	18 cm
Longitud de Anclaje en “x”	66 cm	44 cm

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE CYPECAD Y MATHCAD ZAPATA INTERIOR

Descripción	Resultados	
	MathCad Prime	CYPETCAD
Lado B dirección en “x”	2.25 m	2.25 m
Lado H dirección en “y”	2.25 m	2.25 m
Espesor de zapata	60 cm	60 cm
Diámetro acero	16 mm	16 mm
Tensiones sobre el terreno	1.7 kgf/cm ²	1.5 kgf/cm ²
Flexión en la dirección “x”	16.48 t-m	16.72 t-m
Flexión en la dirección “y”	16.48 t-m	16.63 t-m
Cortante en la dirección “x”	15.72 t	18.54 t
Cortante en la dirección “y”	15.72 t	16.19 t
Espacio para anclar arranques en fundación	49.3 cm	50 cm
Número de barras longitudinal	14	12
Número de barras transversal	14	12
Separación entre barras en “x”	17 cm	18 cm
Separación entre barras en “y”	17 cm	18 cm
Longitud de Anclaje en “x”	66 cm	36 cm

TABLA IX
COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE CYPECAD Y MATHCAD VIGA DE CIMENTACIÓN

Descripción	Resultados	
	MathCad Prime	CYPETCAD
Lado b dirección en “x”	0.40 cm	0.40 cm
Lado hv dirección en “y”	0.70 cm	0,70 cm
Diámetro estribos	10 cm	10 cm
Separación armadura inferior	5.85 cm	5.5 cm
Separación armadura superior	5.85 cm	5.5 cm
Separación armadura de piel	24.5 cm	18.2 cm

Separación máxima de estribos	25.4 cm	25.4 cm
Separación entre barras en “y”	22.8 cm	23 cm

Como se puede observar en las tablas presentadas, la mayoría de las comprobaciones de cada de una de las cimentaciones se observan valores similares y otros valores muy próximos a los resultados obtenidos en CYPECAD, las variaciones mínimas que ocurren en algunos de los casos se dan por la cantidad de números decimales en otras ocasiones dependen mucho de los valores y factores involucrados en la formulación empleada para el cálculo de alguna variable.

El único resultado exageradamente diferente es el de la flexión en la dirección “x” de la zapata exterior del diseño del cimiento con viga de cimentación, esto ocurre debido a la excentricidad de la carga para este caso la excentricidad es mayor a $L/6$ lo genera una distribución triangular, esta distribución inicia desde la cara de la columna con un valor y terminando en valor máximo en la interior de la base del cimiento.

V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

Tras estudiar las metodologías y procedimientos de diseño para cimentaciones superficiales se puede afirmar que las teorías expuestas parten desde la misma idea de calcular la capacidad de carga del suelo sobre el cual se asienta el cimiento y cada una de estas investigaciones suman a sus cálculos variables nuevas, que son obtenidas al mejorar o encontrar nuevos factores a partir de anteriores investigaciones; la geometría de una zapata con viga de ligadura depende mucho del lugar donde se vaya a construir esta puede ser rectangular-cuadrada si se encuentra en el lindero de un predio, cuadrada-cuadrada o rectangular las dos cuando exista una extensión amplia de terreno.

El método de última resistencia es seleccionado para el diseño estructural de cimentaciones superficiales definido por el código ACI 318S 19 y sugerido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM; para obtener los valores de los lados de una zapata de lindero, la normativa exige una modificación en las dimensiones iniciales al pasar B a B' y de H. Calculadas para la aplicación de una carga viva y una carga muerta sin factorizar sobre un suelo con una capacidad admisible de 1.8 kgf/cm^2 , para ser diseñada con valores de $B=1.10 \text{ m}$ y $H=2.20 \text{ m}$; está corrección ocurre cuando a un cimiento llega una carga excéntrica y por lo tanto genera un incremento en la dimensión y peso del cimiento.

Con la implementación de las hojas de trabajo en MathCad Prime, se consiguió desarrollar el cálculo geotécnico - estructural para cimentaciones superficiales; los valores de separación calculados entre barras de acero corrugado grado 60 con un diámetro de 16 mm para zapata céntrica es de 23 cm en dirección longitudinal y 23 cm dirección transversal, mientras que las obtenidas en CYPECAD son de 24 cm en dirección longitudinal y 24 cm dirección transversal de un cimiento de $B=2.10 \text{ m}$ y $H=2.10$ que soporto una carga última de 76.67 Tn, esta diferencia se debe a que el software fracciona la separación en rangos de un 1cm o lo que dispone el usuario, situación que ha generado un cambio en la cantidad del acero de refuerzo colocado.

Se demostró la validez de la herramienta de cálculo al comparar los resultados de la hoja de trabajo y la aplicación del software CYPECAD, es evidente la existencia de una diferencia mínima en los resultados obtenidos sobre las tensiones del terreno, cortantes, flexiones, número de barras, espaciamiento de acero y longitud de desarrollo; al aplicar el software y hacerlo correr automáticamente se observó un sobredimensionamiento en planta esto se debe a que CYPECAD considera al cimiento rígido cuando la relación volado – espesor (altura) es menor igual a 2 y flexible cuando la relación volado – espesor (altura) es mayor a 2.

Con el desarrollo del manual se le proporciona a los usuarios el fácil acceso y manejo de las distintas hojas de trabajo desarrolladas para el diseño de zapatas superficiales, las restricciones que se han impuesto en la guía son muy pocas. Así mismo, en las hojas de cálculo de MathCad son de carácter editable con la característica de editar y ampliar nuevos parámetros para complementar una metodología al uso y beneficio del profesional.

Comentado [MQJP2]: MathCad en el marco teórico

B. Recomendaciones

Incorporar nuevas hojas de trabajo para el diseño geotécnico que parta desde un estudio de suelos hasta la determinación de cada parámetro como la cohesión, capacidad admisible, ángulo de fricción para obtener un diseño geotécnico completo del cimiento.

Ampliar la perspectiva de cálculo estructural para el diseño de cimentaciones tanto excéntricas, centrales o de lindero incorporando el diseño con el factor del módulo de balasto con la finalidad de controlar asentamientos diferenciales y totales y capacidad de carga, también comparar los resultados de las hojas realizadas con otro tipo de softwares desarrollados para el diseño de cimentaciones superficiales.

VI.BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. H. Nilson, *Desing of Concrete Structures*, New York: McGraw-Hill Education, 2016.
- [2] M. R. Proaño, *Temas de Hormigón Armado*, Ecuador, 2008.
- [3] McCormac y Brown, *Diseño de Concreto Reforzado*, México: Alfaomega, 2011.
- [4] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, Sacramento: International Thomson Editores, S.A, 2001.
- [5] L. G. Vasquez, Artist, *Diseño de Estructuras de Cimentación de Acuerdo a NSR-10*. [Art]. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín, 2004.
- [6] Y. C. V. Arias, Artist, *Elaboración De Un Software Para El Diseño De Cimentaciones Superficiales Basado En La NSR-10*. [Art]. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña, 2012.
- [7] J. Calavera, *Cálculo De Estructuras De Cimentación*, Madrid : INFOPRINT, S.A, 1982.
- [8] Cifuentes y Malagon, Artists, *Software De Aplicación Para El Análisis Y Diseño Estructural De Cimentaciones Superficiales*. [Art]. Universidad Distrital Francisco José De Caldas , 2018.
- [9] E. G. C. Palacios, Artist, *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*. [Art]. Universidad De Cuenca, 2010.
- [10] A. J. Teniente Paucar , Artist, *Análisis Comparativo en la Determinación de la Capacidad de Carga Admisible por los Métodos de Terzagui y Meyerhof, para el Diseño de Cimentaciones Superficiales Según las Características del Suelo de Inquilapa del Distrito de Ant*. [Art]. Universidad Andina del Cusco , 2016.
- [11] J. C. B. Canchari, Artist, *Métodos Analíticos Y Numéricos Aplicando Al Diseño De Cimentaciones Superficiales Considerando Su Interacción Con El Suelo*. [Art]. Universidad Nacional De Ingeniería , 2013.

- [12] C. P. Trujillo Valverde, Artist, *Estudio Comparativo De Los Métodos De Diseño Geotécnico De Cimentaciones Superficiales*. [Art]. Universidad De Cuenca, 2005.
- [13] G. B. Sowers y G. F. Sowers , *Introducción A La Mecánica De Suelos Y Cimentaciones*, México: Limusa -Wiley S.A., 1972.
- [14] P. L. L. Sorrondeguil, Artist, *Diseño Automatizado De Cimentaciones Superficiales Por Estados Límites, Empleando Métodos No Lineales*. [Art]. Universidad Central " Marta Abreu" De Las Villas, 2017.
- [15] N. Moreno y I. R. Berdugo, «Estructuras De Códigos Geotécnicos Basados En El Modelo De Estados Límite De Diseño,» *INGE CUC*, vol. 8, nº 1, pp. 241-260, 2012.
- [16] J. G. MacGregor y J. K. Wight, *Reinforced Concrete Mechanics & Desing*, New Jersey: PEARSON, 2012.
- [17] G. Quevedo Sotolongo y A. V. González Cueto Vila, «Aplicación De La Teoría De Seguridad Al Diseño De Cimentaciones en Arenas. Chequeo De Linealidad,» *Ingeniería De Construcción*, vol. 22, nº 2, pp. 81-87, 2007.
- [18] M. F. Vasquez Unda, Artist, *Análisis Investigativo Del Cumplimiento De La Norma Ecuatoriana De La Construcción En La Industria De La Construcción Del Distrito Metropolitano De Quito*. [Art]. Escuela Politécnica Nacional , 2019.
- [19] N. E. D. L. C. NEC-15, *Geotécnia Y Cimentaciones*, Quito: Dirección De Comunicación Social, MIDUVI, 2015.
- [20] N. E. D. L. C. NEC-15, *Guía Práctica Para La Ejecución De Estudios Geotécnicos Y Trabajos De Cimentación*, Quito : Imprenta Activa , 2012.
- [21] Ministerio De Desarrollo Urbano Y Vivienda, *Guía Práctica De Diseño De Viviendas De Hasta 2 Pisos Con Luces De Hasta 5 Metros*, Quito: Imprenta Activa , 2016.
- [22] N. E. D. L. C. NEC-15, *Estructuras de Hormigón Armado*, Quito: MIDUVI, 2015.
- [23] I. A. C. ACI 318-19, *Requisitos De Reglamento Para Concreto Estructural*, Farmington, 2019.
- [24] (. Oficina Nacional de Normalización, *Norma Para El Diseño Geotecnico De Cimentaciones Superficiales*, La Habana, 2004.

- [25] N. E. D. L. C. NEC-15, Cargas (No Sísmicas), Quito: Dirección De Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [26] T. E. Harmsen, Diseño De Estructuras De Concreto Armado, Perú: FONDO EDITORIAL, 2002.
- [27] C. McClintock, «PTC Mathcad Prime,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mathcad.com/en/blogs/whats-in-prime-7..>
- [28] CYPECAD, «Diseño y cálculo de estructuras,» 2021. [En línea]. Available: <http://cypecad.cype.es/>.
- [29] Jiménez, Jalixto-Cuyo y Pampas-Quiroga, Artists, *Teorías De Capacidad De Carga Y Sus Limitaciones En Suelos Comprensibles*. [Art]. 2012.
- [30] D. Graux, Fundamentos De Mecánica De Suelos Proyectos De Muros Y Cimentaciones, España: Editores Técnicos Asociados S.A..
- [31] M. Nayib y I. R. Berdugo, «Estructuración De Códigos Geotécnicos Basados En El Modelo De Estados Límite De Diseño,» *INGE CUC*, vol. 8, n° 1, pp. 241-260, 2012.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Factores de Seguridad para fundaciones por Carga Última

Condición	F.S.I.M. Admisible
Carga muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño pseudo estático	1.5
Carga muerta + Carga Viva Normal	3.0

Anexo 2. Coeficiente de ponderación de cargas

Tipos de Carga	Valores (γ_f)
Cargas Variables	1.4
Cargas Permanentes	1.2
Cargas Ambientales	1.3

Anexo 3. Combinaciones de Carga

Combinaciones	Ecuaciones
Combinación 1	$1.4 * D$
Combinación 2	$1.2 * D + 1.6 * L + 0.5 \max[L_r; S; R]$
Combinación 3	$1.2 * D + 1.6 \max[L_r; S; R] + \max[L_r; 0.5W]$
Combinación 4	$1.2 * D + 1 * W + L + 0.5 \max[L_r; S; R]$
Combinación 5	$1.2 * D + 1 * E + L + 0.2 * S$
Combinación 6	$0.9 * D + 1 * W$
Combinación 7	$0.9 * D + 1 * E$

Anexo 4. Factores de Diseño Mínimo

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Pseudo Estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de:				
Momento Resistente/Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	Diseño	$\leq 1/4$
Capacidad de carga Portante				
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00

Anexo 5. Coeficientes de estimación

Probabilidad de diseño $\alpha=85\%$	Suelos ($c > 0, \varphi \leq 25^\circ$)		
	γ_{gy}	$\gamma_{gtan\varphi}$	γ_{gc}
	1.03	1.15	1.35
	Suelos ($\varphi > 25^\circ$)		
	γ_{gy}	$\gamma_{gtan\varphi}$	γ_{gc}
	1.03	1.10	1.30

Suelos ($c > 0, \varphi \leq 25^\circ$)			
	γ_{gy}	$\gamma_{gtan\varphi}$	γ_{gc}
Probabilidad de diseño	1.05	1.25	1.45
$\alpha=95\%$	Suelos ($\varphi > 25^\circ$)		
	γ_{gy}	$\gamma_{gtan\varphi}$	γ_{gc}
	1.05	1.20	1.40

Anexo 6. Coeficientes de seguridad adicional

Condiciones de trabajo de la base del cimiento	Tipo de falla		
	Leve	Grave	Muy Grave
Favorables	1.1	1.15	1.2
Normales	1.15	1.2	1.25
Desfavorables	1.2	1.25	1.30

Anexo 7. Ecuaciones para factores de corrección

Factores de Corrección	
Factores de Profundidad	
Para un $f=0^\circ$	
Meyerhof (1963)	$\lambda_{cd} = 1 + 0.2 \left(\frac{D_f}{B} \right)$
	$\lambda_{qd} = \lambda_{\gamma d} = 1$
Para un $f \geq 10^\circ$	
	$\lambda_{cd} = 1 + 0.2 \left(\frac{D_f}{B} \right) \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$

$$\lambda_{qd} = \lambda_{\gamma d} = 1 + 0.1 \left(\frac{D_f}{B} \right) \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Para $\frac{D_f}{B} \leq 1$

$$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \text{sen } \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$\lambda_{\gamma d} = 1$$

Hansen (1970)

Para $\frac{D_f}{B} > 1$

$$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \text{sen } \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$\lambda_{\gamma d} = 1$$

Factores de Inclinación

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

$$\lambda_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

Meyerhof (1963)

$$\lambda_{qi} = \left(1 - \frac{0.5 Q_u \sin \alpha}{Q_u \cos \alpha + B L c \cot \phi} \right)^5$$

Hansen (1970)

$$\lambda_{ci} = \lambda_{qi} - \left(\frac{1 - \lambda_{qi}}{N_c - 1} \right)$$

$$\lambda_{\gamma i} = \left(1 - \frac{0.7 Q_u \sin \alpha}{Q_u \cos \alpha + B L c \cot \phi} \right)^5$$

Factores de forma

Para un $f=0^\circ$

$$\lambda_{cs} = 1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$\lambda_{qs} = 1$$

$$\lambda_{\gamma s} = 1$$

Meyerhof (1963)

Para un $f \geq 10^\circ$

$$\lambda_{cs} = 1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\lambda_{qs} = \lambda_{\gamma s} = 1 + 0.1 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\lambda_{cs} = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \left(\frac{B}{L} \right)$$

DeBeer

$$\lambda_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \phi$$

$$\lambda_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right)$$

Anexo 8. Altura mínima de vigas no preesforzadas


Condiciones de apoyo	Altura mínima, h
Simplemente apoyada	l/16
Con un extremo continuo	l/18.5
Ambos extremos continuos	l/21
En voladizo	l/8


Anexo 9. Hojas de trabajo para diseño geotécnico zapata céntrica


**DISEÑO GEOTÉCNICO
DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES**


ZAPATA AISLADA CÉNTRICA

Código de colores:

Datos a ingresar: 

Datos editables: 

Datos no cambiar: 

Ecuaciones: 

Resultados: 

Fig. 1 Zapata Céntrica

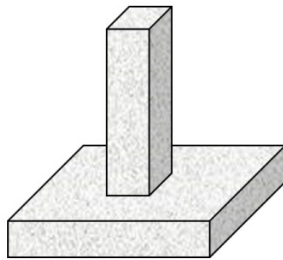
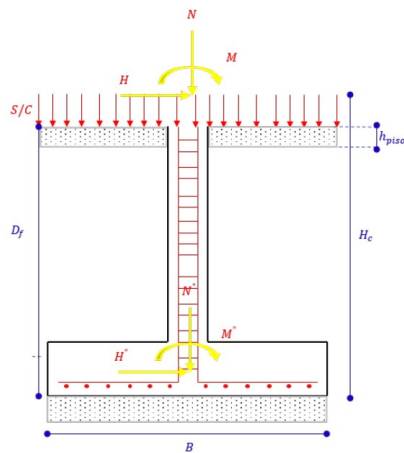


Fig. 2 Datos geométricos y cargas



Datos requeridos

Solicitud carga viva:	$P_{CV} := 6.41 \text{ tonnef}$	Profundidad de desplante:	$D_f := 1.50 \text{ m}$
	$M_{X_{CV}} := 0.02 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	Capacidad admisibles del suelo:	$q_{adm} := 1.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
	$M_{Y_{CV}} := -0.02 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		
Solicitud carga muerta:	$P_{CM} := 20.53 \cdot \text{tonnef}$	Sobrecarga S/C:	$S_C := 0 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
	$M_{X_{CM}} := -0.04 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	Ángulo de inclinación del terreno:	$\alpha := 0^\circ$
	$M_{Y_{CM}} := -0.07 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	Espesor de piso de planta baja:	$h_{piso} := 0.55 \text{ m}$
Solicitud carga sismo:	$P_{CE} := -3.5 \text{ tonnef}$	Peso especifico del hormigón :	$\gamma_H := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
	$M_{X_{CE}} := 4.82 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		
	$M_{Y_{CE}} := -0.53 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$	Columna 1:	$a := 40 \text{ cm}$ $b := 40 \text{ cm}$
	$H_{X_{CE}} := 1.86 \text{ tonnef}$		
	$H_{Y_{CE}} := -0.41 \text{ tonnef}$		
Solicitud carga de viento:	$P_{CW} := 0 \text{ tonnef}$		
	$M_{X_{CW}} := 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		
	$M_{Y_{CW}} := 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		
	$H_{X_{CW}} := 0 \text{ kN}$		
	$H_{Y_{CW}} := 0 \text{ kN}$		
Cohesión:	$c := 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
Ángulo de fricción:	$\varphi := 30^\circ$		
Peso especifico del suelo sobre el cimienta:	$\gamma_s := 1.8 \cdot \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$		
Peso especifico del suelo bajo el cimienta:	$\gamma_s := 1.8 \cdot \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$		

1. Cargas de Servicio

1.1 Cargas de Zapata

$$N' := P_{CV} + P_{CM} + P_{CE} + P_{CW} = 23.44 \text{ tonnef}$$
$$N' = 23.44 \text{ tonnef}$$

$$H_x' := H_{x_{CW}} + H_{x_{CE}} = 1.86 \text{ tonnef}$$
$$H_x' = 1.86 \text{ tonnef}$$

$$H_y' := H_{y_{CW}} + H_{y_{CE}} = -0.41 \text{ tonnef}$$
$$H_y' = -0.41 \text{ tonnef}$$

$$M_x' := M_{x_{CV}} + M_{x_{CM}} + M_{x_{CE}} + M_{x_{CW}} = 4.8 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$
$$M_x' = 4.8 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_y' := M_{y_{CV}} + M_{y_{CM}} + M_{y_{CE}} + M_{y_{CW}} = -0.62 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$
$$M_y' = -0.62 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

1.2 Definir tipo de combinación

$$\text{Combinación_carga} := \text{CM} + \text{CV} + \text{CE}$$

1.3 Cargas de Mayoradas

$$N'' = 27.55 \text{ tonnef}$$

$$H_x'' = 1.86 \text{ tonnef}$$

$$H_y'' = -0.41 \text{ tonnef}$$

$$M_x'' = 4.79 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_y'' = -0.63 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

2. Área de Cimiento

2.1 Determinar geometría de zapata

Cuadrada

2.2 Predimensionamiento

Capacidad admisible del suelo: $q_n := q_{adm} - S_C - (y_s \cdot D_f) - (h_{piso} \cdot \gamma_H)$ $q_n = 13.98 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Factor de mayoración de momento: $FM = 1.1$

Área estimada: $A_z := \frac{FM \cdot N'}{q_n}$ $A_z = 1.84 \text{ m}^2$

Predimensionamiento lado b: $b = 1.36 \text{ m}$

Predimensionamiento lado hz: $h_z = 1.36 \text{ m}$

Dimensión de diseño dirección "x": $B' = 1.50 \text{ m}$

Nota: NEC-15 establece dimensión menor de zapata 1m ó lo que sustente el diseño

Dimensión de diseño
dirección "y" : $H_z' = 1.5 \text{ m}$

Área de zapata: $A_z := B' \cdot H_z' = 2.25 \text{ m}^2$

3. Cargas en el centro de gravedad del cimiento

Distancia desde el centro de gravedad de la columna al centro de gravedad del cimiento en dirección "x": $d_{cg-x} := 0 \text{ m}$

Distancia desde el centro de gravedad de la columna al centro de gravedad del cimiento en dirección "y": $d_{cg-y} := 0 \text{ m}$

3.1 Cargas en la dirección "x"

Carga normal factorizadas: $N_x^o := N^o + 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot B' \cdot H_z' \cdot D_f$ $N_x^o = 34.43 \text{ tonnef}$

Carga horizontal factorizadas: $H_x^o := H_x'^o$ $H_x^o = 1.86 \text{ tonnef}$

Momento factorizado : $M_x^o := M_x'^o + H_x'^o \cdot D_f - N^o \cdot d_{cg-x}$ $M_x^o = 7.58 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

3.2 Cargas en la dirección "y"

Carga normal factorizadas: $N_y^o := N^o + 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot B' \cdot H_z' \cdot D_f$ $N_y^o = 34.43 \text{ tonnef}$

Carga horizontal factorizadas: $H_y^o := H_x'^o$ $H_y^o = 1.86 \text{ tonnef}$

Momento factorizado : $M_y^o := M_y'^o + H_x'^o \cdot D_f - N^o \cdot d_{cg-y}$ $M_y^o = 2.16 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

4. Propiedades físico -mecánicas del suelo factorizadas

4.1 Selección de coeficientes

Coeficiente de peso específico: $\gamma_{gy} := \{\varphi > 25^\circ\}$ $\gamma_{gy} = 1.05$

Coeficiente ángulo de fricción : $\gamma_{g_tamp} := \{\varphi > 25^\circ\}$ $\gamma_{g_tamp} = 1.2$

Coeficiente de cohesión: $\gamma_{gc} := \{c > 0, \varphi < 25^\circ\}$ $\gamma_{gc} = 1.45$

4.2 Propiedades del suelo

Cohesión:	$c^{\circ} := \frac{c}{\gamma_{gc}}$	$c^{\circ} = 0.07 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
Ángulo de fricción:	$\varphi^{\circ} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{g_{\tan\varphi}}}\right)$	$\varphi^{\circ} = 0.45 \text{ rad}$
Peso específico del suelo sobre el cimientó:	$\gamma^{\circ} := \frac{\gamma_s}{\gamma_{gy}}$	$\gamma^{\circ} = 1.71 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$
Peso específico del suelo bajo el cimientó:	$\gamma^{\circ} := \frac{\gamma_s}{\gamma_{gy}}$	$\gamma^{\circ} = 1.71 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$

5. Verificación del factor de seguridad al vuelco

Condición que debe cumplir: $FSv = \frac{\Sigma M_{\text{estabilizante}}}{\Sigma M_{\text{desestabilizante}}} \geq fsv$

Seleccionamos el factor de seguridad: $fsv := \text{Construcción} = 3$

5.1 Verificación en la dirección "x"

Sumatoria de momentos de estabilidad: $\Sigma M_{\text{estabilizante}_x} := \frac{B'}{2} \left(N' + 20 \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot B' \cdot H_z' \cdot D_f \right)$

$$\Sigma M_{\text{estabilizante}_x} = 120.83 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Altura considerando espesor del piso de primera planta:

$$H_c := D_f + h_{\text{piso}}$$

Sumatoria de momentos desestabilizantes:

$$\Sigma M_{\text{desestabilizante}_x} := M_x' + H_x' \cdot H_c$$

$$\Sigma M_{\text{desestabilizante}_x} = 8.61 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Comprobación de vuelco:

$$FSv_x := \frac{\Sigma M_{\text{estabilizante}_x}}{\Sigma M_{\text{desestabilizante}_x}} = 14.03$$

Verificación_al_vuelco_x = "El cimientó no se vuelca"

5.2 Verificación en la dirección "y"

Sumatoria de momentos de estabilidad: $\Sigma M_{\text{estabilizante}_y} := \frac{H_z'}{2} \left(N' + 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot B' \cdot H_z' \cdot D_f \right)$

$$\Sigma M_{\text{estabilizante}_y} = 22.74 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Sumatoria de momentos
desestabilizantes:

$$\Sigma M_{\text{desestabilizante}_y} := M_y' + H_x' \cdot H_c$$

$$\Sigma M_{\text{desestabilizante}_y} = 3.19 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Comprobación de vuelco:

$$FSV_y := \frac{\Sigma M_{\text{estabilizante}_y}}{\Sigma M_{\text{desestabilizante}_y}} = 7.12$$

Verificación_al_vuelco_x = "El cimiento no se vuelca"

6. Verificación de estabilidad al deslizamiento

Condición que debe cumplir:

$$FSd = \frac{\Sigma F_{\text{actuantes}}}{\Sigma F_{\text{resistentes}}} \geq fsd$$

Seleccionamos el factor de
seguridad:

$$fsd = \text{Construcción} = 1.6$$

6.1 Verificación en la dirección "x"

Fuerzas estabilizadoras:

$$\Sigma F_{\text{friccion}_x} := N_x^{\circ} \cdot \tan(\varphi) + 0.75 \cdot c^{\circ} \cdot B' \cdot H_z'$$

$$\Sigma F_{\text{friccion}_x} = 20 \text{ tonnef}$$

Fuerzas desestabilizadoras:

$$\Sigma F_{\text{actuantes}_x} := H_x^{\circ}$$

$$\Sigma F_{\text{actuantes}_x} = 1.86 \text{ tonnef}$$

Comprobación de deslizamiento:

$$FSd_x := \frac{\Sigma F_{\text{friccion}_x}}{\Sigma F_{\text{actuantes}_x}} = 10.75$$

Verificación_al_deslizamiento_x = "El cimiento no se desliza"

6.2 Verificación en la dirección "y"

Fuerzas estabilizadoras:

$$\Sigma F_{\text{friccion}_y} := N_y^{\circ} \cdot \tan(\varphi) + 0.75 \cdot c^{\circ} \cdot B' \cdot H_z'$$

$$\Sigma F_{\text{friccion}_y} = 20 \text{ tonnef}$$

Fuerzas desestabilizadoras:

$$\Sigma F_{\text{actuantes}_y} := H_y^{\circ}$$

$$\Sigma F_{\text{actuantes}_y} = 1.86 \text{ tonnef}$$

Comprobación de deslizamiento:

$$FSd_y := \frac{\Sigma F_{\text{friccion}_y}}{\Sigma F_{\text{actuantes}_y}} = 10.75$$

Verificación_al_deslizamiento_y = "El cimiento no se desliza"

7. Verificación por capacidad de carga

Condición que debe cumplir:

$$N^o \leq Q_{bt}^o$$

Capacidad de carga resistente:

$$Q_{bt}^o = \frac{H' \cdot B' (q_{\text{último}} - q^o)}{\gamma S} + q^o$$

7.1 Factores de capacidad de carga factorizados

Aporte de Sobrecarga: $N_q := e^{\pi \tan(\varphi^o)} \cdot \left(\frac{1 + \sin(\varphi^o)}{1 - \sin(\varphi^o)} \right) \quad N_q = 11.47$

Aporte de cohesión: $N_c := (N_q - 1) \cot(\varphi^o) \quad N_c = 21.77$

Aporte de peso volumétrico: $N_\gamma := (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \varphi^o) \quad N_\gamma = 7.6$

7.1 Factores de forma, inclinación y profundidad

Factores de forma:

Para cohesión: $\lambda_{cs} := 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{B'}{H_z'} \right) \quad \lambda_{cs} = 1.53$

Para sobrecarga: $\lambda_{qs} := 1 + \left(\frac{B'}{H_z'} \right) \cdot \tan(\varphi^o) \quad \lambda_{qs} = 1.48$

Para peso específico: $\lambda_{\gamma s} := 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{H_z'} \right) \quad \lambda_{\gamma s} = 0.6$

Factores de inclinación:

Para cohesión: $\lambda_{ci} := \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right)^2 \quad \lambda_{ci} = 1$

Para sobrecarga: $\lambda_{qi} := \lambda_{ci} \quad \lambda_{qi} = 1$

Para peso específico: $\lambda_{\gamma i} := \left(1 - \frac{\alpha}{\varphi} \right)^2 \quad \lambda_{\gamma i} = 1$

Factores de profundidad:

Relación profundidad de desplante / dimensión en la dirección "x" $\frac{D_f}{B'} = 1$

Ecuaciones para: $\frac{D_f}{B'} > 1$

Ecuaciones para: $\frac{D_f}{B'} \leq 1$

$$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{D_f}{B'}\right)$$

$$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \operatorname{atan}\left(\frac{D_f}{B'}\right)$$

$$\lambda_{\gamma d} = 1$$

$$\lambda_{cd} = 1 + 0.4 \cdot \left(\frac{D_f}{B'}\right)$$

$$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \left(\frac{D_f}{B'}\right)$$

$$\lambda_{\gamma d} = 1$$

Para cohesión: $\lambda_{cd} = 1.4$

Para sobrecarga: $\lambda_{qd} = 1.29$

Para peso específico: $\lambda_{\gamma d} = 1$

Esfuerzo efectivo a nivel cimentación sin factorizar: $q^0 := \gamma^0 \cdot D_f + S_C$ $q^0 = 2.57 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

7.2 Capacidad última

$$q_{\text{último}} := c \cdot N_c \cdot \lambda_{cs} \cdot \lambda_{cd} \cdot \lambda_{ci} + q^0 \cdot N_q \cdot \lambda_{qs} \cdot \lambda_{qd} \cdot \lambda_{qi} + \frac{1}{2} \cdot \gamma^0 \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot \lambda_{\gamma s} \cdot \lambda_{\gamma d} \cdot \lambda_{\gamma i}$$

$$q_{\text{último}} = 66.92 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

7.3 Selección coeficiente de seguridad adicional

Tabla 2. Coeficiente de seguridad adicional

"Condiciones de trabajo de la base del cimiento "	"Leve"	"Grave"	"Muy grave"
"Normales"	1.15	1.2	1.25
"Desfavorables"	1.2	1.25	1.3
"Favorables "	1.1	1.15	1.2

$$y_s := 1.1$$

7.4 Capacidad de carga resistente

$$Q_{br} := \left(\left(\frac{q_{\text{último}} - q^0}{y_s} \right) + q^0 \right) \cdot B' \cdot H_z'$$

$$Q_{br} = 137.41 \text{ tonnef}$$

Verificación.capacidad.de.carga = "Cimiento estable"

8. DATOS FINALES DE DISEÑO

Dimensión lado B:	$B' = 1.5 \text{ m}$
Dimensión lado H:	$H_z' = 1.5 \text{ m}$
Área de zapata:	$A_z = 2.25 \text{ m}^2$
Verificación 1:	$Verificación_al_vuelco_x = \text{"El cimiento no se vuelca"}$ $Verificación_al_vuelco_y = \text{"El cimiento no se vuelca"}$
Verificación 2:	$Verificación_al_deslizamiento_x = \text{"El cimiento no se desliza"}$ $Verificación_al_deslizamiento_y = \text{"El cimiento no se desliza"}$
Verificación 3:	$Verificación.capacidad.de.carga = \text{"Cimiento estable"}$

Anexo 10. Hojas de trabajo para diseño estructural de zapata céntrica

DISEÑO ESTRUCTURAL
DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

ZAPATA AISLADA CÉNTRICA

Código de colores:

Datos a ingresar:

Datos editables:

Datos no cambiar:

Ecuaciones:

Resultados:

Fig. 1 Zapata Céntrica

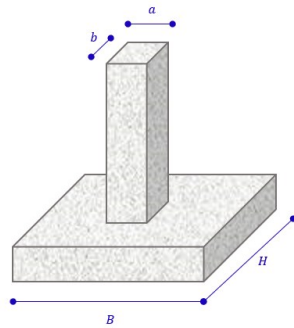


Fig. 2 Datos geométricos

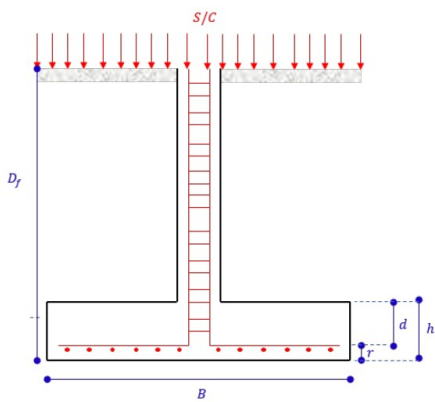
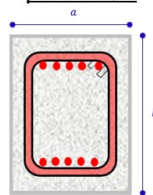


Fig. 3 Sección en planta columna



Datos requeridos

Solicitud carga viva:	$P_{CV} = 15,10 \text{ tonnef}$	Resistencia a compresión del concreto:	$f'_c = 240 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	
	$Mx_{CV} = -0,11 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		Resistencia a fluencia del acero:	$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
	$My_{CV} = 0,01 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
Solicitud carga muerta:	$P_{CM} = 43,76 \cdot \text{tonnef}$	Profundidad de desplante:	$D_f = 1,50 \text{ m}$	
	$Mx_{CM} = -0,08 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$		Espesor de piso de planta baja:	$h_{piso} = 0 \text{ m}$
	$My_{CM} = -0,03 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
Solicitud carga sismo:	$P_{CE} = 0 \text{ tonnef}$	Sobrecarga S/C:	$S_{_C} = 0 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	
	$Mx_{CE} = 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
	$My_{CE} = 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
Solicitud carga de viento:	$P_{CW} = 0 \text{ tonnef}$			
	$Mx_{CW} = 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
	$My_{CW} = 0 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$			
Recubrimiento:	$r = 7,5 \text{ cm}$			
Columna 1:	$a = 40 \text{ cm}$			
	$b = 40 \text{ cm}$			
Diámetro columna:	$db_{columna} = N4 \checkmark = 12 \text{ mm}$			
Peso específico del suelo :	$\gamma_s = 1800 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$			
Capacidad admisibles del suelo:	$q_{adm} = 1,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$			
Peso específico del hormigón :	$\gamma_H = 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$			

1. Cargas de Servicio

1.1 Cargas de Servicio Columna

$$P = P_{CV} + P_{CM} + P_{CE} + P_{CW}$$
$$P = 58.86 \text{ tonnef}$$

$$M_x = M_{X_{CV}} + M_{X_{CM}} + M_{X_{CE}} + M_{X_{CW}}$$
$$M_x = -0.19 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_y = M_{Y_{CV}} + M_{Y_{CM}} + M_{Y_{CE}} + M_{Y_{CW}}$$
$$M_y = -0.02 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

1.2 Definir tipo de combinación

Combinación_carga = CM+CV

Combinación_carga = "Combinación_2"

1.3 Cargas de Mayoradas

$$P_u = 76.67 \text{ tonnef}$$

$$M_{x,u} = -0.27 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_{y,u} = -0.02 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

2. Área de Cimiento

2.1 Predimensionamiento

Definir geometría de zapata: Geometría_zapata = Cuadrada

Definir geometría de columna: Geometría_columna = Cuadrada

Capacidad admisible del suelo: $q_n = q_{adm} - S \cdot C - (\gamma_s \cdot D_f) - (h_{piso} \cdot \gamma_f)$ $q_n = 15.3 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Factor de mayoración de momento: FM = 1.1

Área estimada: $A_z = \frac{FM \cdot P}{q_n}$ $A_z = 4.23 \text{ m}^2$

Dimensión estimada lado corto: $B_s = 2.06 \text{ m}$

Dimensión estimada lado largo: $H_s = 2.06 \text{ m}$

Dimensión de diseño dirección "x": $B = 2.10 \text{ m}$

Nota: NEC-15 establece dimensión menor de zapata 1m ó lo que sustente el diseño

Dimensión de diseño dirección "y": $H = 2.1 \text{ m}$

Área de diseño: $A_z := B \cdot H$ $A_z = 4.41 \text{ m}^2$

3. Cálculo de excentricidades

$$e = \frac{M}{P}$$

3.1 Excentricidad en "x"

$$e_x := \frac{M_x}{P}$$

$$e_x = -0.003 \text{ m}$$

Distribución_x = "Forma trapezoidal "

3.2 Excentricidad en "y"

$$e_y := \frac{M_y}{P}$$

$$e_y = -0.0003 \text{ m}$$

Distribución_y = "Forma trapezoidal "

3.1 Excentricidad factorizada en "x"

$$e_{x,f} := \frac{M_{x,u}}{P_u}$$

$$e_{x,f} = -0.004 \text{ m}$$

Distribución_x = "Forma trapezoidal "

3.2 Excentricidad factorizada en "y"

$$e_{y,f} := \frac{M_{y,u}}{P_u}$$

$$e_{y,f} = 0 \text{ m}$$

Distribución_y = "Forma trapezoidal "

4. Verificación de Esfuerzos

4.1 Verificación de esfuerzos normales dirección "x"

Esfuerzo mínimo en la dirección "x": $q_{x,1} := \frac{P}{A_z} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_x}{B}\right)$ $q_{x,1} = 13.47 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Esfuerzo máximo en la dirección "x": $q_{x,2} := \frac{P}{A_z} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B}\right)$ $q_{x,2} = 13.22 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Verificación_{presión_x} = "Presión cumple "

4.2 Verificación de esfuerzos normales dirección "y"

Esfuerzo mínimo en la dirección "y": $q_{y,1} := \frac{P}{A_z} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_y}{H}\right)$ $q_{y,1} = 13.36 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Esfuerzo máximo en la dirección "y": $q_{y,2} := \frac{P}{A_z} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_y}{H}\right)$ $q_{y,2} = 13.33 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Verificación_presión_y="Presión cumple "

4.3 Verificación de esfuerzos últimos dirección "x"

Esfuerzo mínimo en la dirección "x": $qu_{x,1} = \frac{P_u}{A_x} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_x}{B}\right)$ $qu_{x,1} = 17,56 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

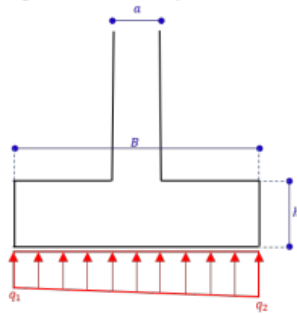
Esfuerzo máximo en la dirección "x": $qu_{x,2} = \frac{P_u}{A_x} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B}\right)$ $qu_{x,2} = 17,21 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

4.4 Verificación de esfuerzos últimos dirección "y"

Esfuerzo mínimo en la dirección "y": $qu_{y,1} = \frac{P_u}{A_y} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_y}{H}\right)$ $qu_{y,1} = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Esfuerzo máximo en la dirección "y": $qu_{y,2} = \frac{P_u}{A_y} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_y}{H}\right)$ $qu_{y,2} = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Fig. 4 Distribución de presión



$$q_2 = 17,37 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 = 17,4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$qu = q_2 = 1,74 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Verificación_presión="Presión cumple "

5. Verificación por cortante o corte unidireccional

Condición que debe cumplir: $V_{e,c} \leq \phi V_{c,c}$

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

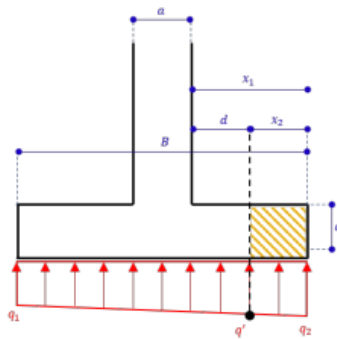
5.1 Peralte efectivo estimado a una distancia "d"

$d_{j1} = \text{Solución} = 18.71 \text{ cm}$

$d_{j1} = 36.7 \text{ cm}$

5.2 Verificación por cortante a una distancia "d" paralelo (H)

Fig. 5 Cortante en dirección "x"



Distancia desde la cara de columna hasta la cara interior del cemento:

$$x_1 = \frac{B}{2} - \frac{a}{2}$$

$x_1 = 0.85 \text{ m}$

Distancia desde "d" hasta la cara interior del cemento:

$$x_2 = \frac{B}{2} - \frac{a}{2} - d_{j1}$$

$x_2 = 48.3 \text{ cm}$

Esfuerzo actuante a una distancia "d":

$$q' = \frac{(x_1 + d_{j1} + a) \cdot (q_2 - q_1)}{B} + q_1$$

$q' = 17.38 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

Fuerza actuante a una distancia "d":

$$V_{u-x} = \left(\frac{q_2 + q'}{2} \right) \cdot (x_2) \cdot H$$

$V_{u-x} = 17.62 \text{ tonnef}$

Esfuerzo de corte capaz de resistir el hormigón:

$$\phi V_{c_x} = \phi_c \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot H \cdot d_{j1}$$

$\phi V_{c_x} = 47.46 \text{ tonnef}$

Verificación_cortante = "No falla por cortante"

5.3 Verificación por cortante a una distancia "d" paralelo (B)

Distancia desde la cara de columna hasta la cara interior del cemento:

$$x_3 = \frac{H}{2} - \frac{b}{2}$$

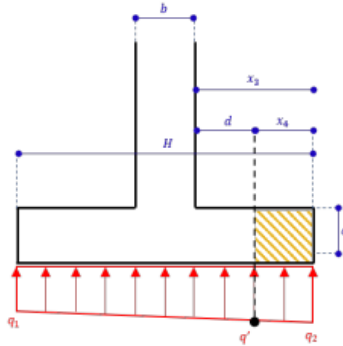
$x_3 = 85 \text{ cm}$

Distancia desde "d" hasta la cara interior del cemento:

$$x_4 = \frac{H}{2} - \frac{b}{2} - d_{j1}$$

$x_4 = 48.3 \text{ cm}$

Fig. 6 Cortante en dirección "y"



Esfuerzo actuante a una distancia "d":

$$q' := \frac{(x_3 + d_{l1} + a) \cdot (q_2 - q_1)}{H} + q_1$$

$$q' = 17.38 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Fuerza actuante a una distancia "d":

$$V_{c,y} := \left(\frac{q_2 + q_1}{2} \right) \cdot (x_4) \cdot B$$

$$V_{c,y} = 17.62 \text{ tonnef}$$

Esfuerzo de corte capaz de resistir el hormigón:

$$\phi V_{c,y} := \phi_c \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot B \cdot d_{l1}$$

$$\phi V_{c,y} = 47.46 \text{ tonnef}$$

Verificación_cortante = "No falla por cortante"

6. Verificación por Punzonamiento o corte bidireccional

Condición que debe cumplir:

$$v_{c,p} \leq v_{c,p}$$

6.1 Peralte efectivo estimado a una distancia "d/2"

Esfuerzo promedio en la sección crítica:

$$q_{\text{promedio}} := \frac{q_1 + q_2}{2}$$

$$q_{\text{promedio}} = 17.39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$d_{e2} := \text{Solución} = 0.36 \text{ m}$$

$$d_{e2} = 36.7 \text{ cm}$$

Definir geometría de columna:

Cuadrada

Definir tipo de zapata:

$\alpha_y =$ zapata central

Definir tipo de hormigón empleado:

$\lambda =$ Peso normal

Fig. 7 Cortante bidireccional

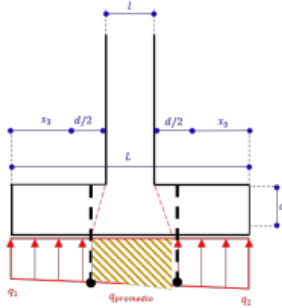
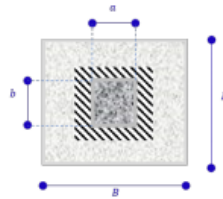


Fig. 8 Perímetro de punzonamiento



Perímetro crítico de punzonamiento:

$$b_0 = 2 \cdot (a + d_{e2}) + 2 \cdot (b + d_{e2}) \quad b_0 = 3.07 \text{ m}$$

Factor de efectos de tamaño:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + (0.04 \cdot d)}} \leq 1 \quad \lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + (0.04 \cdot \frac{d_{e2}}{\text{cm}})}} = 0.9$$

Ecuación #1

$$V_{c1} = 1.1 \cdot \lambda \cdot \lambda_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$$

$$V_{c1} = 153.41 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Ecuación #3

$$V_{c3} = 0.27 \cdot \left(2 + \frac{a_s \cdot d_{e2}}{b_0}\right) \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$$

$$V_{c3} = 283.8 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Ecuación #2

$$\beta = \frac{\max(a, b)}{\min(a, b)} = 1$$

$$V_{c2} = 0.53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \lambda_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$$

$$V_{c2} = 221.74 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Esfuerzo capaz de resistir el concreto:

$$\phi V_{c,p} = \phi_c \cdot V_{c,p} \cdot b_0 \cdot d_{e2} \quad \phi V_{c,p} = 129.55 \text{ tonnef}$$

Fuerza cortante de punzonamiento a una distancia "d/2":

$$V_{u,p} = P_u - \left(\frac{q_2 + q_1}{2} \cdot ((a + d_{e2}) \cdot (b + d_{e2}))\right) \quad V_{u,p} = 66.44 \text{ tonnef}$$

Verificación_punzonamiento = "No falla por punzonamiento"

6. Verificación por Aplastamiento

Área de columna:	$A_1 = a \cdot b$	$A_1 = 0.16 \text{ m}^2$
Área zapata:	$A_2 = 4.41 \text{ m}^2$	$A_2 = 4.41 \text{ m}^2$
Relación área zapata/columna:	$r_c := \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$	$r_c = 5.25$
Definimos tipo de armado de la columna:	$\phi_{\text{columna}} := \text{columnas con estribos}$	
Resistencia de aplastamiento de la columna:	$R_c := 0.85 \cdot \phi_{\text{columna}} \cdot f'_c$	$R_c = 1326 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
Factor de reducción de resistencia por aplastamiento:	$\phi_a := 0.65$	
Resistencia de aplastamiento de zapata:	$R_z := 0.85 \cdot \phi_a \cdot f'_c \cdot r_{c,z}$	$R_z = 2652 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

$$r_{c,z} := \begin{cases} 2 & \text{if } r_c \geq 2 \\ r_c & \text{else} \end{cases}$$

Verificación_aplastamiento = "No requiere pedestal"

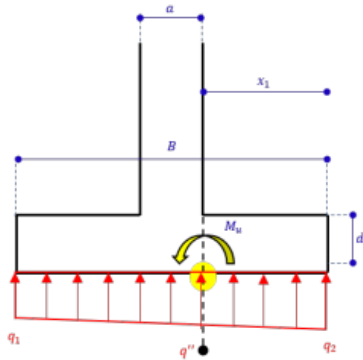
7. Diseño Acero

Espesor de cemento

Diámetro varilla:	$db_{\text{long}} = \text{N6}$	$db_{\text{long}} = 16 \text{ mm}$
Peralte efectivo estimado:	$d := \max(d_{x1}, d_{x2})$	$d = 36.7 \text{ cm}$
Espesor de zapata estimado:	$h := d + r + \frac{db_{\text{long}}}{2}$	$h = 45 \text{ cm}$
Espesor de zapata de diseño:	$h = 0.45 \text{ m}$	
Peralte efectivo de diseño:	$d := h - \left(r + \frac{db_{\text{long}}}{2} \right)$	$d = 36.7 \text{ cm}$
Factor de reducción de resistencia por flexión:	$\phi_f := 0.9$	

7.2 Acero longitudinal

Fig. 9 Geometría sentida longitudinal



Esfuerzo en la cara de la columna:

$$q'' := \frac{x_1 \cdot (q_2 - q_1)}{B} + q_1$$

$$q'' = 17.39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Momento de flexión:
$$Mu_x := \left(q'' \cdot x_1 \cdot B \cdot \frac{x_1}{2} \right) + \left((q_2 - q'') \cdot \frac{x_1}{2} \cdot B \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot x_1 \right) \right)$$

$$Mu_x = 13.18 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Acero mínimo: $A_{s_{\min}} = 0.002 \cdot B \cdot h$ $A_{s_{\min}} = 18.9 \text{ cm}^2$

Acero requerido: $A_{s_{\text{req}}} = 0.85 \cdot \frac{f'_c \cdot B \cdot d}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu_x}{0.85 \cdot \phi_f \cdot f'_c \cdot B \cdot d^2}} \right)$ $A_{s_{\text{req}}} = 9.63 \text{ cm}^2$

Acero de diseño: $A_s := \max(A_{s_{\min}}, A_{s_{\text{req}}})$ $A_s = 18.9 \text{ cm}^2$

Área de varilla: $A_v := \frac{\pi \cdot d_{\text{varilla}}^2}{4}$ $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$

Número de varillas: $\#_{v_{\text{ten}}} := \text{ceil} \left(\frac{A_s}{A_v} \right)$ $\#_{v_{\text{ten}}} = 10$

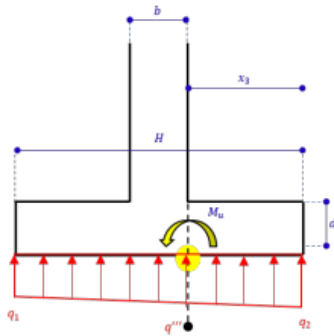
Área de acero de diseño: $A_v := A_s \cdot \#_{v_{\text{ten}}}$ $A_v = 20.11 \text{ cm}^2$

Verificación_área_acero = "Cumple área de acero"

Espaciamento: $S_{\text{long}} := \frac{B - (2r) - d_{\text{varilla}}}{\#_{v_{\text{ten}}} - 1}$ $S_{\text{long}} = 21.5 \text{ cm}$

7.3 Acero transversal

Fig. 10 Geometría sentido transversal



Esfuerzo en la cara de la columna:

$$q''' := \frac{(x_3) \cdot (q_2 - q_1)}{H} + q_1$$

$$q''' = 17.39 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Momento a tracción: $Mu_T := \frac{q''' \cdot (x_3)^2}{2} \cdot H$ $Mu_T = 13.19 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

Acero mínimo: $A_{s_{\text{min_trans}}} = 0.002 \cdot H \cdot h$ $A_{s_{\text{min_trans}}} = 18.9 \text{ cm}^2$

Acero requerido: $A_{s_{\text{req_trans}}} = 0.85 \cdot \frac{f'_c \cdot H \cdot d}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu_T}{0.85 \cdot \phi_f \cdot f'_c \cdot H \cdot d^2}} \right)$
 $A_{s_{\text{req_trans}}} = 9.63 \text{ cm}^2$

Acero de diseño: $A_{s_{\text{trans}}} = \max(A_{s_{\text{min_trans}}}, A_{s_{\text{req_trans}}})$ $A_{s_{\text{trans}}} = 18.9 \text{ cm}^2$

Número de varillas: $\#_{s_{\text{trans}}} = \text{ceil}\left(\frac{A_{s_{\text{trans}}}}{A_v}\right)$ $\#_{s_{\text{trans}}} = 10$

Área de acero de diseño: $A_{v_{\text{trans}}} = A_v \cdot \#_{s_{\text{trans}}}$ $A_{v_{\text{trans}}} = 20.11 \text{ cm}^2$

Verificación_área_acero = "Cumple área de acero"

Espaciamento: $S_{\text{trans}} := \frac{H - (2r) - db_{\text{long}}}{\#_{s_{\text{trans}}} - 1}$ $S_{\text{trans}} = 21.5 \text{ cm}$

8. Dimensionamiento en elevación

Diámetro de acero longitudinal: $db_{long} = 16 \text{ mm}$

Diámetro de acero transversal: $db_{trans} = db_{long}$

Diámetro del acero de columna: $db_{columna} = 12 \text{ mm}$

$$L_{dc1} = 0.024 \cdot db_{columna} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

$$L_{dc1} = 0.024 \cdot db_{columna} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c \cdot \frac{kgf}{cm^2}}}$$

$L_{dc1} = 7.81 \text{ cm}$

$$L_{dc2} = 0.004 \cdot db_{long} \cdot f_y$$

$$L_{dc2} = 0.0044 \cdot db_{long} \cdot \frac{f_y}{\frac{kgf}{cm^2}}$$

$L_{dc2} = 29.57 \text{ cm}$

$$L_{dc3} = 20 \text{ cm}$$

$$L_{dc3} = 20 \text{ cm}$$

$$L_{dc} := \max(L_{dc1}, L_{dc2}, L_{dc3})$$

$$L_{dc} = 29.57 \text{ cm}$$

$$h_1 = h - r - db_{long} - db_{trans}$$

$$h_1 = 34.3 \text{ cm}$$

Verificación = "Cumple"

9. Longitud de desarrollo

$$\phi_{ld} = db_{long} = 16 \text{ mm}$$

$$\psi_s = 0.8 \quad \phi_{ld} \geq 20 = 1 \text{ caso contrario } \phi_{ld} < 20 = 0.8$$

$$\psi_g = 1 \quad \text{acero con grado hasta } 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\psi_e = 1 \quad \text{sin recubrimiento en superficie de varillas caso contrario } 1.2$$

$$\psi_t = 1 \quad \text{menos de } 30 \text{ cm de concreto fresco bajo el refuerzo caso contrario considerar } 1.3$$

$$\lambda = 1$$

Longitud de desarrollo (a): $ld = 99 \text{ cm}$

Dobles del acero: $R_{dobles} = \text{"ld excede generar dobles"}$

$$\text{Término de confinamiento: } x_5 = \frac{c_b + K_{tr}}{\phi_{ld}} \quad x_5 = 1.50$$

$$\text{Longitud de desarrollo (b)} \quad ld = \left(\frac{f_y}{3.5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \sqrt{\frac{kgf}{cm^2}}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_s \cdot \psi_g \cdot \lambda}{x_5} \right) \cdot \phi_{ld} \quad ld = 66.1 \text{ cm}$$

Longitud de desarrollo
paralelo al lado (B)

$$ld_B = x_1 - r$$

$$ld_B = 77.5 \text{ cm}$$

Verificación_ld_B = "No requiere dobles"

Longitud de desarrollo
paralelo al lado (H)

$$ld_H = x_3 - r$$

$$ld_H = 77.5 \text{ cm}$$

Verificación_ld_H = "No requiere dobles"

9. DATOS FINALES DE DISEÑO

Tensión sobre el terreno:	$qu=1,74 \frac{kgf}{cm^2}$			
Cortante "x":	$V_{u_x}=17,62 \text{ tonnef}$			
Cortante "y":	$V_{u_y}=17,62 \text{ tonnef}$			
Corte por punzonamiento:	$V_{u_p}=66,44 \text{ tonnef}$			
Flexión en "x"	$Mu_x=13,18 \text{ tonnef} \cdot m$			
Flexión en "y"	$Mu_y=13,19 \text{ tonnef} \cdot m$			
Área de zapata:	$A_z=4,41 \text{ m}^2$			
Dimensión eje "x" :	$B=2,1 \text{ m}$			
Dimensión eje "y" :	$H=2,1 \text{ m}$			
Espesor de zapata:	$h=0,45 \text{ m}$			
Peralte efectivo:	$d=0,37 \text{ m}$			
Espacio para anclar arranques en fundación:	$h_f=34,3 \text{ cm}$			
Longitud de anclaje:	$ld=66,1 \text{ cm}$	$ld=99 \text{ cm}$		
Acero Longitudinal:	$\#_{x_{len}}=10$	ϕ	$db_{len}=16 \text{ mm}$	$\textcircled{2}$ $S_{len}=21,5 \text{ cm}$
Acero Transversal:	$\#_{x_{trans}}=10$	ϕ	$db_{len}=16 \text{ mm}$	$\textcircled{2}$ $S_{trans}=21,5 \text{ cm}$

Gráfica detalle de acero

Fig.11 Distribución de acero en planta

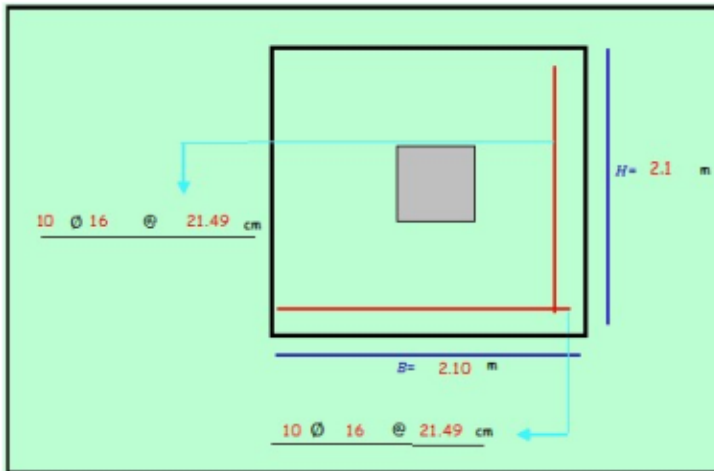
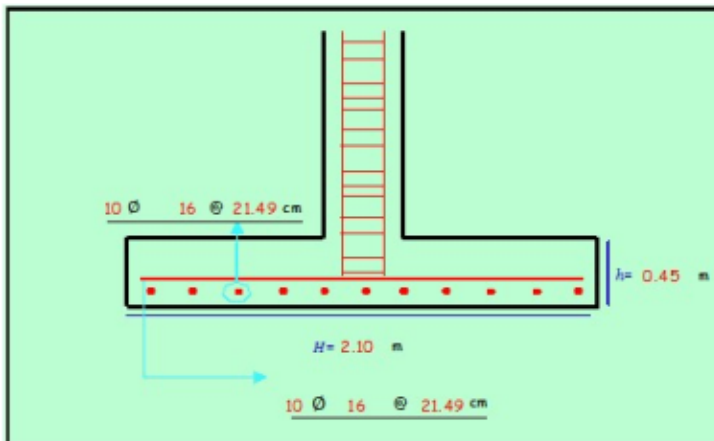


Fig. 12 Distribución de acero transversal y longitudinal



Anexo 11. Datos del Software CYPECAD para Zapata Aislada Céntrica

Referencia: C1		
Dimensiones: 210 x 210 x 45		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno:		
<i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 1.8 kp/cm ² Calculado: 1.725 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes:	Máximo: 2.25 kp/cm ² Calculado: 1.739 kp/cm ²	Cumple
Vuelco de la zapata:		
<i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 37489.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 213442.9 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 13.37 t-m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 13.28 t-m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 18.18 t	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 18.05 t	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 720 t/m ² Calculado: 154.42 t/m ²	Cumple
<i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
Altura mínima:		
<i>Capítulo 15.7 (norma ACI 318M-11)</i>		
- Espacio para anclar arranques en fundación:	Mínimo: 23.5 cm Calculado: 45 cm	Cumple
- C1:	Mínimo: 20 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Cuántia geométrica mínima:		
<i>Capítulo 7.12.2.1 (norma ACI 318M-11)</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0018 Calculado: 0.0019	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0019	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
- Parrilla inferior:	Mínimo: 10 mm Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:		
<i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:		
<i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de cimentación", Rubro 3.16</i>		
	Mínimo: 10 cm	

Referencia: C1		
Dimensiones: 210 x 210 x 45		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Longitud de anclaje:		
<i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTENAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 67 cm Calculado: 93 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 93 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 93 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 93 cm	Cumple
Longitud mínima de los ganchos:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 26 cm Calculado: 52 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 52 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 52 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 52 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Anexo 12. Datos del Software CYPECAD para Zapata de Lindero

Referencia: C1		
Dimensiones: 110 x 220 x 45		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24 Xs:Ø16c/24 Ys:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cementación", Rubro 3.16		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 10 cm Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Longitud de anclaje: Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEHAC, 1991		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 52 cm Calculado: 75 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 31 cm Calculado: 95 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 32 cm Calculado: 95 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 52 cm Calculado: 75 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 30 cm Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 30 cm Calculado: 49 cm	Cumple
Longitud mínima de los ganchos:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 26 cm Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 49 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 49 cm	Cumple

Anexo 13 Datos del Software CYPECAD de Cimiento Exterior para Zapata con Viga de Conexión

Referencia: C1		
Dimensiones: 110 x 220 x 60		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 1.8 kp/cm ² Calculado: 1.339 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes:	Máximo: 2.25 kp/cm ² Calculado: 1.742 kp/cm ²	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 1123.3 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 26903.2 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 0.00 t-m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 7.22 t-m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 3.03 t	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 6.98 t	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
	Máximo: 720 t/m ² Calculado: 83.99 t/m ²	Cumple
Altura mínima: <i>Capítulo 15.7 (norma ACI 318M-11)</i>		
	Mínimo: 23.5 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en fundación: - C1:		
	Mínimo: 20 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Capítulo 7.12.2.1 (norma ACI 318M-11)</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0018 Calculado: 0.0019	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0019	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
- Parrilla inferior: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Rubro 3.16</i>		
	Mínimo: 10 cm	

Referencia: C1		
Dimensiones: 110 x 220 x 60		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 39 cm Calculado: 44 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 30 cm Calculado: 34 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 30 cm Calculado: 34 cm	Cumple
Longitud mínima de los ganchos:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 26 cm Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 30 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.00		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.40		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 78.47 t		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 39.24 t		

Anexo 14 Datos del Software CYPECAD de Cimiento Exterior para Zapata con Viga de Conexión

Referencia: C2 Dimensiones: 225 x 225 x 60 Armados: Xi:Ø16c/18 Vi:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes:	Calculado: 1.508 kp/cm ² Máximo: 1.8 kp/cm ² Máximo: 2.25 kp/cm ²	Cumple Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Reserva seguridad: 25922.3 % Reserva seguridad: 58733.0 %	Cumple Cumple
Flexión en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 16.72 t·m Momento: 16.63 t·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 18.54 t Cortante: 16.19 t	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 720 t/m ² Calculado: 126.67 t/m ²	Cumple
Altura mínima: <i>Capítulo 15.7 (norma ACI 318M-11)</i>	Mínimo: 23.5 cm Calculado: 60 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en fundación: - C2:	Mínimo: 20 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Cuánta geométrica mínima: <i>Capítulo 7.12.2.1 (norma ACI 318M-11)</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0018 Calculado: 0.0019 Calculado: 0.0019	Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: - Parrilla inferior: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cementación". Rubro 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple

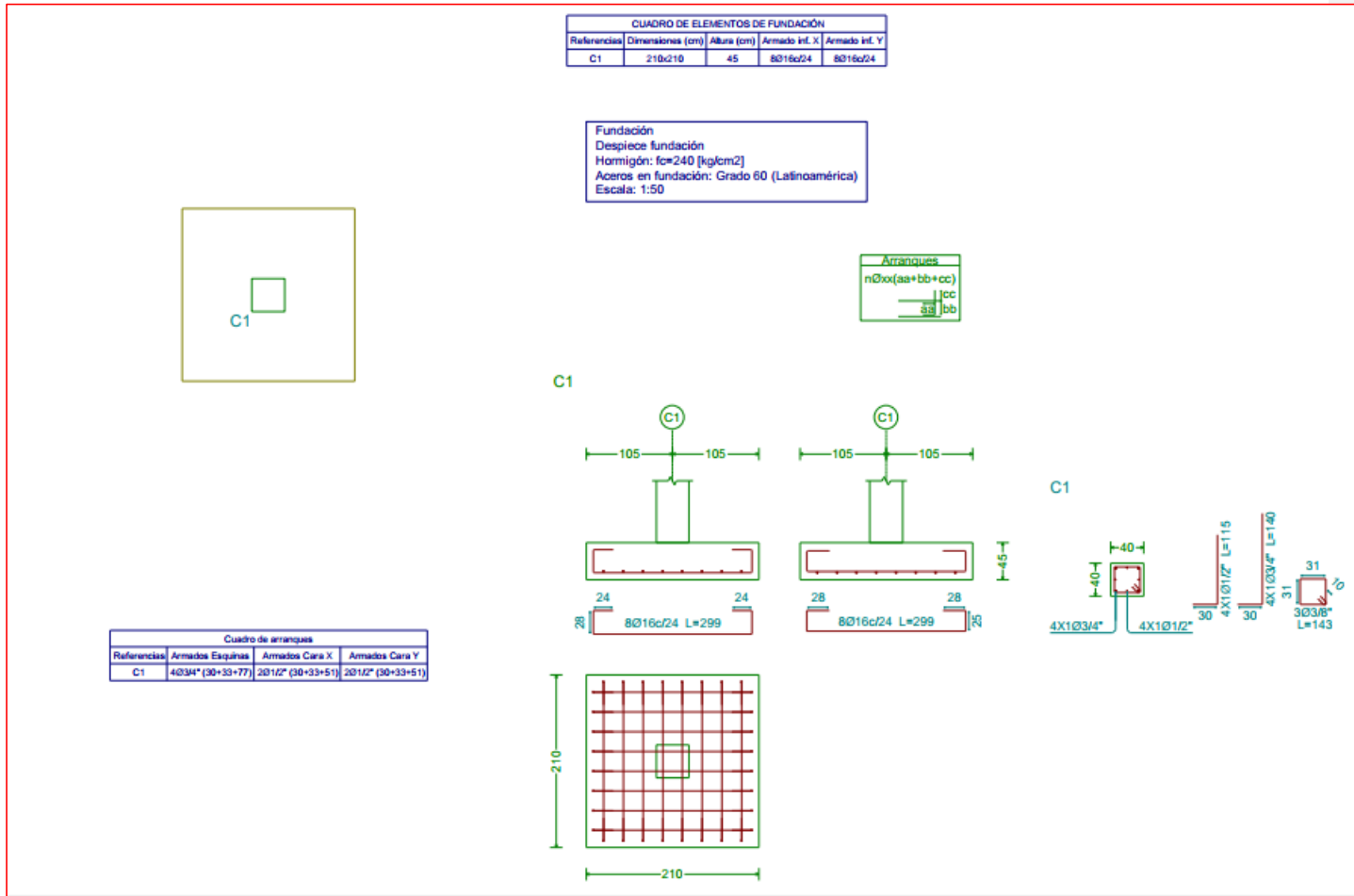
Referencia: C2 Dimensiones: 225 x 225 x 60 Armados: Xi:Ø16c/18 Vi:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 30 cm Calculado: 36 cm Calculado: 36 cm Calculado: 36 cm Calculado: 36 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima (En dirección X): 0.42 - Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.42 - Cortante de agotamiento (En dirección X): 80.25 t - Cortante de agotamiento (En dirección Y): 80.25 t		

Anexo 15 Datos del Software CYPECAD de viga de cimentación

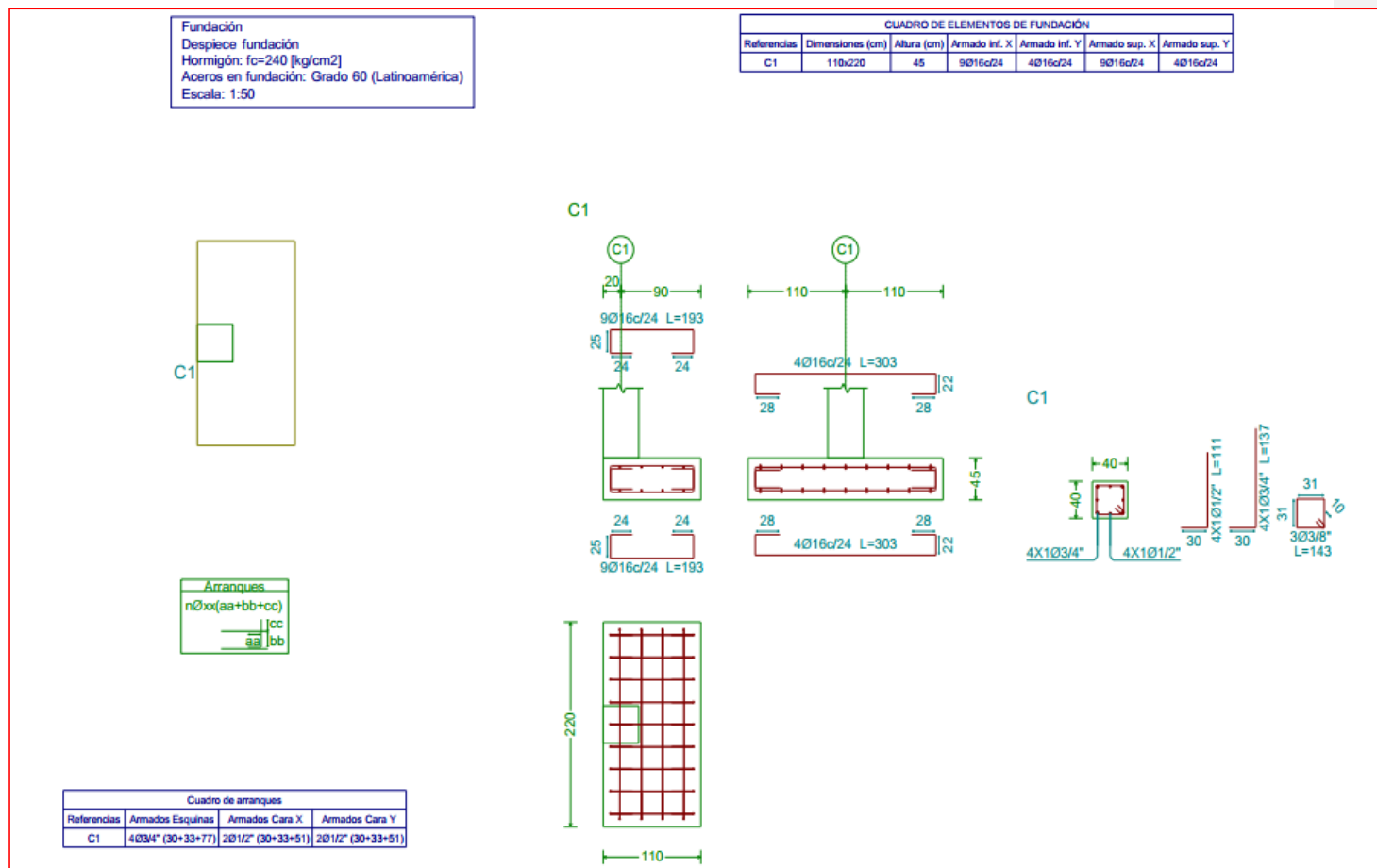
Referencia: VC.40x70 [C1 - C2] (Viga cantilever)		
-Dimensiones: 40.0 cm x 70.0 cm		
-Armado superior: 5Ø16		
-Armadura de piel: 2x2Ø10		
-Armado inferior: 5Ø16		
-Estribos: 1xØ10c/26		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 10 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Norma ACI 318M-11, Artículo 7.6.1</i>	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 25 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Norma ACI 318M-11, Artículo 7.6.1</i>	Mínimo: 2.5 cm	Cumple
- Armado superior:	Calculado: 5.5 cm	Cumple
- Armado inferior:	Calculado: 5.5 cm	Cumple
- Armadura de piel:	Calculado: 18.1 cm	Cumple
Separación máxima estribos:	Máximo: 30 cm	Cumple
- Situaciones persistentes: <i>Norma ACI 318M-11, Artículo 11.4.5</i>	Calculado: 26 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Artículo 4.3.1, de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	Cumple
- Armado superior:	Calculado: 5.5 cm	Cumple
- Armado inferior:	Calculado: 5.5 cm	Cumple
- Armadura de piel:	Calculado: 18.1 cm	Cumple
Cuántia mínima para los estribos:	Mínimo: 3.39 cm ² /m	Cumple
- Situaciones persistentes: <i>Norma ACI 318M-11, Artículo 11.4.6.3</i>	Calculado: 6.03 cm ² /m	Cumple
Cuántia geométrica mínima armadura traccionada:	Mínimo: 0.0015	Cumple
- Armado superior (Situaciones persistentes): <i>Artículo 5.4.2.1 del Eurocódigo-2</i>	Calculado: 0.0035	Cumple
Armadura mínima por cuántia mecánica de flexión compuesta:	Mínimo: 9.51 cm ²	Cumple
- Armado superior (Situaciones persistentes): <i>Norma ACI 318M-11, Artículo 10.5</i>	Calculado: 10.05 cm ²	Cumple
Comprobación de armadura necesaria por cálculo a flexión compuesta:	Momento flector: -11.43 t-m	Cumple
- Situaciones persistentes:	Axil: ± 0.00 t	Cumple
Longitud de anclaje barras superiores origen: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 33 cm	Cumple
Calculado: 45 cm	Cumple	
Longitud de anclaje barras inferiores origen: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 33 cm	Cumple
Calculado: 35 cm	Cumple	

Referencia: VC.40x70 [C1 - C2] (Viga cantilever)		
-Dimensiones: 40.0 cm x 70.0 cm		
-Armado superior: 5Ø16		
-Armadura de piel: 2x2Ø10		
-Armado inferior: 5Ø16		
-Estribos: 1xØ10c/26		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud de anclaje de las barras de piel origen: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 20 cm	Cumple
Calculado: 35 cm	Cumple	
Longitud de anclaje barras superiores extremo: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 33 cm	Cumple
Calculado: 73 cm	Cumple	
Longitud de anclaje barras inferiores extremo: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 33 cm	Cumple
Calculado: 37 cm	Cumple	
Longitud de anclaje de las barras de piel extremo: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de las columnas</i>	Mínimo: 20 cm	Cumple
Calculado: 49 cm	Cumple	
Comprobación de cortante: - Situaciones persistentes:	Cortante: 2.60 t	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Diámetro mínimo de la armadura longitudinal (Recomendación del Artículo 58.8.2 de la EHE-08): Mínimo: 12.0 mm, Calculado: 16.0 mm (Cumple)		

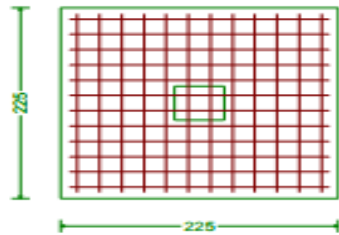
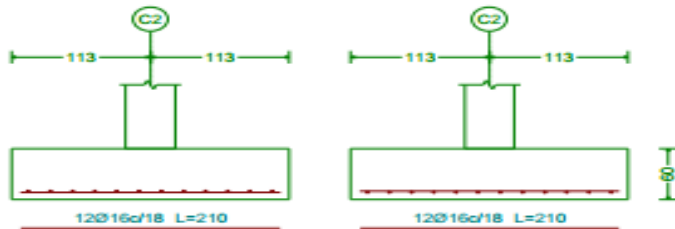
Anexo 16. Planos de Distribución de Acero para Zapata Céntrica



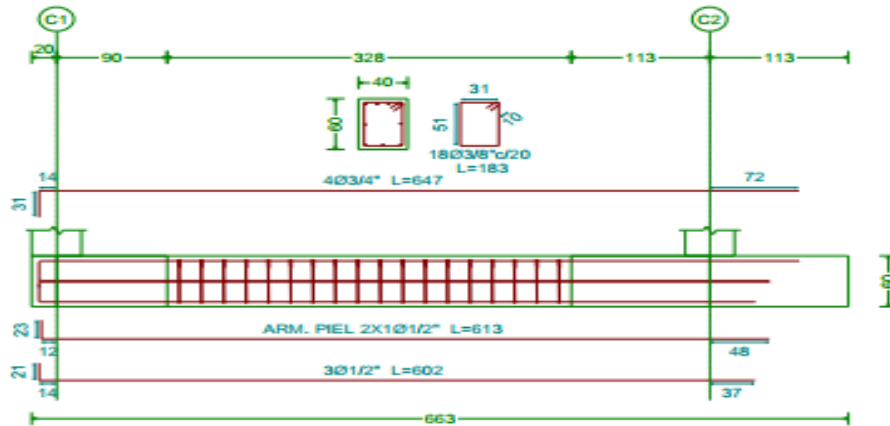
Anexo 17. Planos de Distribución de Acero para Zapata de Lindero



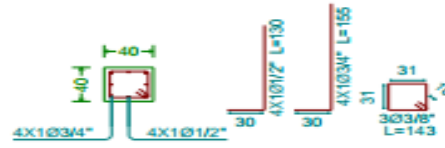
C2



VC.T-2.1 [C1 - C2]



C2



UCDC-CI-AZ-2022-145-C
Azogues, May 31 / 2022

CATHOLIC UNIVERSITY OF CUENCA
LANGUAGE CENTER COORDINATOR

GRANT THIS

CERTIFICATE
TO

BARRERA ROMERO ALEXANDRA FABIOLA

who has completed the legal requirements of foreign language sufficiency, with the following scores

LEVEL 1: 71/100
LEVEL 2: 74/100
LEVEL 3: 74/100

This certification is issued to be eligible to achieve an academic degree.



ABG. LILIANA URGILÉS A, MGS.
AZOGUES CENTER COORDINATOR

Typed by	Lcda. Claudia Coronel	<input checked="" type="checkbox"/>
Authorized by	Abg. Mgs. Liliana Urgilés	<input checked="" type="checkbox"/>

Ingeniero
Ricardo Romero González
DIRECTOR DE CARRERA
DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES
Ciudad

ASUNTO: Índice de similitud del trabajo de titulación de la estudiante
BARRERA ROMERO FABIOLA.

REFERENCIA: Oficio Nro. UCCSA-JC-010-21

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia, adjunto el presente informe de similitud *Turnitin* del trabajo de titulación: "*Aplicación del software especializado para el diseño de zapatas en edificaciones*", elaborado por la estudiante **Barrera Romero Fabiola**. El resultado presenta un índice de similitud del **DIEZ POR CIENTO (10%)**, siendo el límite máximo establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación.



Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO


Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.
RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL CAMPUS AZOGUES



16 MAY 2022
RECIBIDO
HORA: 13:15, FIRMA:



Universidad
Católica
de Cuenca

**CERTIFICADO DE NO ADEUDAR LIBROS EN
BIBLIOTECA**

CÓDIGO: F – DB – 31
VERSION: 01
FECHA: 2021-04-15
Página 1 de 1

El Bibliotecario del Campus Universitario Azogues

CERTIFICA:

Que, **Alexandra Fabiola Barrera Romero** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302629365** de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Campus Universitario Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, **26 de mayo del 2022**

Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario



Alexandra Fabiola Barrera Romero portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302629365**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Aplicación de software especializado para diseño de zapatas en edificaciones** ” 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 y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **24 de mayo de 2022**

F: 

Alexandra Fabiola Barrera Romero

C.I. 0302629365