



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES AISLADAS Y COMBINADAS
PARA UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO EN LA CIUDAD DE
GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTOR: STEEVEN ALONSO ARGUELLO MACIAS

TUTOR: ING. LUIS ALFREDO AVILÉS BUSTAMANTE, MSc

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024

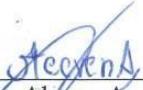
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Steeven Alonso Arguello Macias con documento de identificación N° 0931954952 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de maner total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de agosto del año 2024

Atentamente,



Steeven Alonso Arguello Macias
C.I. 0931954952

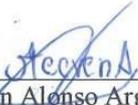
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Steeven Alonso Arguello Macias con documento de identificación No. 0931954952, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES AISLADAS Y COMBINADAS PARA UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de agosto del año 2024

Atentamente,



Steeven Alonso Arguello Macias

C.I 0931954952

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Luis Alfredo Avilés Bustamante con documento de identificación N° 1205395286, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES AISLADAS Y COMBINADAS PARA UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”, realizado por Steeven Alonso Arguello Macias con documento de identificación N° 0931954952, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. Luis Alfredo Avilés Bustamante, Msc

C.I 1205395286

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le agradezco a Dios por guiarme en este camino académico y ayudarme a cumplir este objetivo en mi vida, a mi familia que son las personas que siempre han creído en mí y son las que me dan fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanas que son las personas que han confiado en mi desde un principio en especial a mi hermana Karina Arguello por todo el apoyo recibido y agradecido estoy por todo lo que me ha brindado en este camino para poder cumplir con este logro que es de llegar a ser un Ingeniero Civil.

También a mi padre que, aunque no esté aquí con nosotros sé que desde el cielo me observa y le dedico esto a él también le agradezco por todo lo que me ha enseñado en la vida.

Por último y no menos importante a los excelentes docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por el conocimiento brindado y consejos a lo largo de esta etapa universitaria, a mi tutor el Ing. Luis Alfredo Avilés Bustamante, Msc por la paciencia, dedicación y profesionalismo dado en este proyecto.

RESUMEN

Las cimentaciones son elementos estructurales fundamentales para considerar en el diseño de estructuras, sobre todo en atención a la enorme variabilidad en suelos y el distinto desempeño que tienen en cada uno. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar y comparar el desempeño estructural de cimentaciones aisladas y combinadas en edificaciones de hormigón armado en la región costa del Ecuador, mediante modelos estructurales y datos obtenidos de estudios geotécnicos, con el fin de determinar su idoneidad y eficacia en diferentes condiciones de carga y suelo. Se realizó un estudio mixto; para el utilizó una edificación regular, conformada por una estructura configurada en pórticos, que tiene sus ejes ortogonales. El número de pisos fue el indicado para favorecer al análisis de cimentaciones. Se realizó un análisis de carga de acuerdo a lo recomendado por la norma ecuatoriana de la construcción y en función de la ubicación de la estructura se consideraron parámetros específicos para el análisis. La comparación de cimentaciones aisladas, combinadas, losa de cimentación y medianera mostró variaciones significativas en los esfuerzos del suelo y deformaciones: destacó por desempeño la losa de cimentación por su baja carga y deformación; no obstante, requiere mayor inversión. La cimentación medianera fue la más eficiente en términos económicos, seguida de las aisladas y combinadas.

Palabras clave: cimentaciones, suelos expansivos, zona costera, edificaciones.

ABSTRACT

Foundations are fundamental structural elements to consider in the design of structures, especially in view of the enormous variability in soils and the different performance they have in each one. The present study aimed to evaluate and compare the structural performance of isolated and combined foundations in reinforced concrete buildings in the coastal region of Ecuador, through structural models and data obtained from geotechnical studies, in order to determine their suitability and effectiveness in different load and soil conditions. A mixed study was carried out; a regular building was used for it, made up of a structure configured in porticos, which has its axes orthogonal. The number of floors was indicated to favor the analysis of foundations. A load analysis was carried out according to what is recommended by the Ecuadorian construction standard and depending on the location of the structure, specific parameters were considered for the analysis. The comparison of isolated foundations, combined foundations, foundation slabs and party walls showed significant variations in soil stresses and deformations: the foundation slab stood out for its performance due to its low load and deformation; however, it requires a greater investment. The party wall foundation was the most efficient in economic terms, followed by isolated and combined foundations.

Keywords: foundations, expansive soils, coastal zone, buildings.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE	8
INTRODUCCIÓN	13
Problema de estudio	14
Justificación	14
Objetivo general y específicos	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
Hipótesis	16
MARCO TEÓRICO	16
El suelo	16
Descripción general	16
Propiedades de suelos.....	17
Tipos de suelo	19
Capacidad portante del suelo	20
Hormigón armado	21
Elementos.....	21
Patologías del hormigón armado.....	22
Cimentación	23
Descripción general	24
Tipos de cimentaciones.....	25
Proceso de cálculo de cimentaciones.....	26
Cimentaciones aisladas.....	27
Zapatas aisladas.....	27

Zapatas combinadas.....	29
Losa de cimentación	30
Vigas de cimentación.....	31
Zapatas medianeras	32
MARCO METODOLÓGICO.....	33
Metodología general.....	33
Enfoque de investigación.....	33
Tipo de investigación.....	33
Proceso para el desarrollo de la investigación.....	34
Datos del sitio	36
Ubicación.....	36
Descripción del sitio	36
Descripción de la estructura encontrada.....	37
RESULTADOS.....	39
Análisis estructural.....	39
Análisis de cargas.....	39
Ingreso datos para análisis	45
Modelado de cimentaciones.....	51
Cargas obtenidas de programa ETABS	64
Diseño de cimentaciones	65
Conclusiones del análisis estructural.....	83
Discusión	86
CONCLUSIONES	88
Conclusiones	88
Recomendaciones.....	89
ANEXOS.....	93

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Perfil del suelo</i>	17
Tabla 2. <i>FSIM</i>	20
Tabla 3. <i>Aspectos para identificar patologías</i>	22
Tabla 4. <i>Tipos de cimentaciones</i>	25
Tabla 5. <i>Carga muerta (pesos de los materiales)</i>	39
Tabla 6. <i>Carga y espesor</i>	39
Tabla 7. <i>Carga viva (sobrecargas mínimas)</i>	40
Tabla 8. <i>Cálculos de fuerzas laterales según método estático</i>	41
Tabla 9. <i>Combinación de cargas</i>	45
Tabla 10. <i>Reacciones en la base</i>	50
Tabla 11. <i>Comparativa de resultados</i>	Error! Bookmark not defined.

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Suelo</i>	16
Figura 2. <i>Textura del suelo</i>	18
Figura 3. <i>Porosidad del suelo</i>	18
Figura 4. <i>Color del suelo</i>	19
Figura 5. <i>Escala de pH</i>	19
Figura 6. <i>Tipos de suelo</i>	20
Figura 7. <i>Hormigón armado</i>	21
Figura 8. <i>Elementos del hormigón armado</i>	22
Figura 9. <i>Diagrama de las cargas sobre una cimentación superficial</i>	23
Figura 10. <i>Proceso de cálculo de cimentaciones</i>	26
Figura 11. <i>Zapatas aisladas</i>	28
Figura 12. <i>Tipos de zapatas aisladas</i>	28
Figura 13. <i>Zapatas combinadas</i>	29
Figura 14. <i>Tipos de zapatas combinadas</i>	29
Figura 15. <i>Losa de cimentación</i>	30
Figura 16. <i>Tipos de losa de cimentación</i>	31
Figura 17. <i>Vigas de cimentación</i>	32
Figura 18. <i>Zapatas medianeras</i>	33
Figura 19. <i>Proceso de desarrollo</i>	35

Figura 20.	<i>Ubicación de la zona de estudio</i>	36
Figura 21.	<i>Ubicación de radio base en estudio</i>	37
Figura 22.	<i>Planta de columnas y perspectiva de la edificación</i>	38
Figura 23.	<i>Carga muerta de la edificación</i>	40
Figura 24.	<i>Carga viva de la edificación</i>	40
Figura 25.	<i>Espectro de respuestas de aceleración</i>	44
Figura 26.	<i>Vista geométrica de la edificación</i>	46
Figura 27.	<i>Datos a ingresar del hormigón</i>	47
Figura 28.	<i>Datos a ingresar del acero de refuerzo</i>	47
Figura 29.	<i>Datos de geometría de col 45x30</i>	48
Figura 30.	<i>Datos de geometría losa 20</i>	48
Figura 31.	<i>Vista de reacciones en la base para diseño de cimentación</i>	49
Figura 32.	<i>Perfectiva de las cargas puntuales (modal – modo 1)</i>	51
Figura 33.	<i>Vista de plano de cimentaciones aisladas</i>	52
Figura 34.	<i>Vista 3D de cimentaciones aisladas</i>	52
Figura 35.	<i>Presión del suelo en cimentaciones aisladas</i>	53
Figura 36.	<i>Deformación en cimentaciones aisladas</i>	53
Figura 37.	<i>Armado de plintos sentido Y cimentación aislada</i>	54
Figura 38.	<i>Armado de plintos sentido Y cimentación aislada</i>	54
Figura 39.	<i>Vista de plano de cimentaciones combinadas</i>	55
Figura 40.	<i>Vista 3D de cimentaciones combinadas</i>	55
Figura 41.	<i>Presión del suelo en cimentaciones combinadas</i>	56
Figura 42.	<i>Deformación en cimentaciones combinadas</i>	56
Figura 43.	<i>Armado de plintos sentido Y cimentación combinada</i>	57
Figura 44.	<i>Armado de plintos sentido X cimentación combinada</i>	57
Figura 45.	<i>Vista de plano de losa de cimentación</i>	58
Figura 46.	<i>Vista 3D de losa de cimentación</i>	58
Figura 47.	<i>Presión del suelo en losa de cimentación</i>	59
Figura 48.	<i>Deformación en losa de cimentación</i>	59
Figura 49.	<i>Armado de plintos sentido Y losa de cimentaciones</i>	60
Figura 50.	<i>Armado de plintos sentido X losa de cimentaciones</i>	60
Figura 51.	<i>Vista de plano de cimentación medianera</i>	61
Figura 52.	<i>Vista 3D de cimentación medianera</i>	61
Figura 53.	<i>Presión del suelo en cimentación medianera</i>	62

Figura 54. <i>Deformación en cimentación medianera</i>	62
Figura 55. <i>Armado de plintos sentido Y cimentación medianera</i>	63
Figura 56. <i>Armado de plintos sentido X cimentación medianera</i>	63
Figura 57. <i>Cargas obtenidas en el programa ETABS</i>	64
Figura 58. <i>Vista de plano cargas</i>	64
Figura 59. <i>Diseño de cimentación aislada</i>	65
Figura 60. <i>Verificación de ubicación de cimentación aislada</i>	66
Figura 61. <i>Diseño por cortante tipo viga</i>	67
Figura 62. <i>Sección crítica 1 de cortante tipo viga</i>	68
Figura 63. <i>Sección crítica 2 de cortante tipo viga</i>	69
Figura 64. <i>Diseño a corte por punzonamiento</i>	69
Figura 65. <i>Diseño a flexión sentido Y</i>	70
Figura 66. <i>Sección crítica 1 de diseño a flexión</i>	70
Figura 67. <i>Sección crítica 2 de diseño a flexión</i>	71
Figura 68. <i>Diseño de la zapata combinada</i>	77
Figura 69. <i>Diseño en la dirección longitudinal</i>	79
Figura 70. <i>Diseño en la dirección transversal</i>	81
Figura 71. <i>Identificación de ancho de zapata para dirección transversal</i>	82

INTRODUCCIÓN

Los suelos de zonas costeras, como son Guayaquil, Manta o Esmeraldas en Ecuador, presentan diversos desafíos constructivos, en particular en lo que refiere a sus cimentaciones. Los problemas que pueden presentarse comúnmente son la presencia de suelos blandos y expansivos, los cuales son propensos a sufrir movimientos y modificaciones volumétricas debido a las variaciones en la humedad, lo que, a su vez, puede impactar en estabilidad y generar asentamientos diferenciales. Así, la relación existente entre el suelo y la estructura es un problema de importancia sustancial en el ámbito de la ingeniería civil (Villaeral et al., 2021).

Otro tipo de riesgos a los que se exponen estas edificaciones son el agua freática alta que deriva en posibles problemas de socavamiento y erosión; las inundaciones por mareas altas, desbordes de ríos u otros eventos climáticos extremos como las precipitaciones pueden poner en cuestión la resistencia a fuerzas hidrodinámicas de las estructuras. Sumado a esto, los riesgos sísmicos en Ecuador son una amenaza permanente, de modo que es preciso que la cimentación considere un diseño sísmico pertinente para dar garantía de su seguridad estructural.

Con todo, existen desafíos para la conceptualización y diseño de estructuras derivados de la falta de claridad y especificidad en la normativa vigente en torno a las cimentaciones, en particular en aquello que refiere a la identificación de problemas específicos para diferentes tipos de estructuras (Castro, 2022). Cabe agregar que el diseño de cimentaciones es un área disciplinar que no ha sido tan extensamente estudiada como otros aspectos de la ingeniería civil de estructuras, de modo que los diseñadores disponen de menos evidencia para la toma de decisiones críticas.

Por lo mencionado, en el presente estudio se buscó evaluar y comparar el desempeño estructural de cimentaciones aisladas y combinadas en edificaciones de hormigón armado en la región costa del Ecuador, mediante modelos estructurales y datos obtenidos de estudios geotécnicos, con el fin de determinar su idoneidad y eficacia en diferentes condiciones de carga y suelo. Para ello, en primer lugar, se realizó un estudio detallado de las propiedades geotécnicas del suelo en la región costa del Ecuador, mediante ensayos de laboratorio y análisis de datos geotécnicos disponibles, para comprender su comportamiento y su influencia en la selección y diseño de cimentaciones. Seguidamente, se analizaron los métodos de diseño y ejecución de cimentaciones aisladas y combinadas,

para lo que se tomaron en cuenta las características específicas del suelo y las normativas aplicables de construcción en la región. Finalmente, se utilizaron modelos estructurales para simular el comportamiento de la edificación de hormigón armado con diferentes tipos de cimentaciones, bajo diversas condiciones de carga y suelo, con el objetivo de evaluar su respuesta estructural y su capacidad de soporte.

Problema de estudio

En las zonas costeras de Ecuador los suelos presentan características que suponen desafíos significativos para la construcción de edificaciones. Los suelos blandos y expansivos, la presencia de agua freática alta y la exposición a riesgos sísmicos complican el diseño y la implementación de cimentaciones efectivas y seguras. La falta de claridad en las normativas y la escasa evidencia en el diseño de cimentaciones agravan aún más esta problemática.

Ante estas circunstancias, surge la necesidad de determinar cuál tipo de cimentación, ya sea aislada o combinada, ofrece un mejor desempeño estructural para edificaciones de hormigón armado en la costa ecuatoriana. De esta manera, la pregunta central de investigación es:

¿Qué tipo de cimentación, aislada o combinada, proporciona una mayor idoneidad y eficacia estructural para edificaciones de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil, considerando las características geotécnicas del suelo y las condiciones de carga?

Este estudio busca responder a esta pregunta mediante el análisis comparativo de los diferentes tipos de cimentaciones, evaluando su capacidad de soporte y respuesta estructural bajo las condiciones específicas de la región.

Justificación

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador experimenta una gran cantidad de sismos al año, de los cuales varios tienen el potencial de causar daños significativos en infraestructuras no adecuadamente preparadas. El peligro sísmico en el país está asociado, además de a las condiciones naturales, a la calidad de las construcciones y a las prácticas constructivas deficientes. La vulnerabilidad, tal como lo indica el Instituto, están dadas por la falta de asesoramiento profesional en la construcción, la mano de obra no calificada, materiales constructivos deficientes, falta de

consulta respecto a la ubicación de las edificaciones, entre otras (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, 2024).

La falta de especificidad y actualización permanente en la normativa vigente en torno a las cimentaciones exacerba estos problemas (Castro, 2022). Los ingenieros y diseñadores disponen de menos evidencia y guía para tomar decisiones críticas, lo que puede conducir a soluciones subóptimas y costosas en términos de seguridad y economía.

Este estudio tiene como objetivo evaluar y comparar el desempeño estructural de cimentaciones aisladas y combinadas en edificaciones de hormigón armado en Guayaquil. Al proporcionar un análisis detallado de las propiedades geotécnicas del suelo y simular el comportamiento de diferentes tipos de cimentaciones bajo diversas condiciones de carga, este trabajo busca:

Objetivo general y específicos

Objetivo general

Evaluar y comparar el desempeño estructural de cimentaciones aisladas y combinadas en edificaciones de hormigón armado en la región costa del Ecuador, mediante modelos estructurales y datos obtenidos de estudios geotécnicos, con el fin de determinar su idoneidad y eficacia en diferentes condiciones de carga y suelo.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio detallado de las propiedades geotécnicas del suelo en la región costa del Ecuador, mediante análisis de datos geotécnicos disponibles, para comprender su comportamiento y su influencia en la selección y diseño de cimentaciones.
- Analizar los métodos de diseño y ejecución de cimentaciones aisladas y combinadas, tomando en cuenta las características específicas del suelo y las normativas de construcción aplicables en la región.
- Utilizar modelos estructurales para simular el comportamiento de la edificación de hormigón armado con diferentes tipos de cimentaciones, bajo diversas condiciones de carga y suelo, con el objetivo de evaluar su respuesta estructural y su capacidad de soporte.

Hipótesis

La hipótesis planteada es que utilización de cimentaciones combinadas en edificaciones de hormigón armado en la región costera del Ecuador proporcionará una mayor resistencia y estabilidad estructural en comparación con las cimentaciones aisladas.

MARCO TEÓRICO

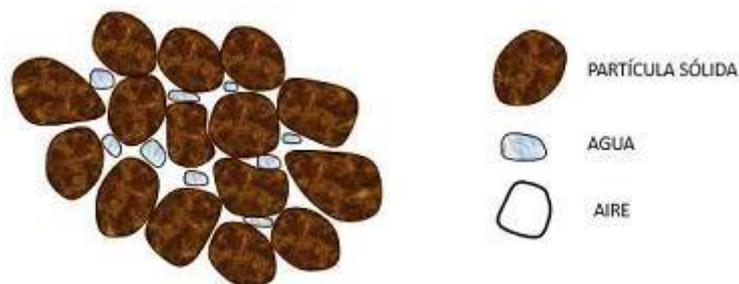
El suelo

Descripción general

El suelo representa la capa de material que se ubica en la superficie terrestre, la cual está compuesta por materia orgánica, minerales, agua y aire. Se forma debido a la descomposición de piedras o rocas originadas por agentes como el viento, agua, movimientos sísmicos, cambio en la temperatura o acción directa de las personas (Carrera, 2022).

Figura 1.

Suelo



Nota. Tomado de Osorio, et al. (2022)

Las principales características del suelo están relacionadas con la capacidad de retención de agua, porosidad, pH, textura (arena, limo, arcilla), contiene materia orgánica, densidad, concentración de sales, composición de nutrientes y actividad microbiológica. Además, se considera el perfil y horizonte del suelo tal como de detalla en la

Tabla 1.

Perfil del suelo

Perfil y horizonte	Descripción
A	<ul style="list-style-type: none">• Ubicada en capa superior (arable).• Tiene un color más oscuro, raíces y fértil.• Poco mineral soluble.
B	<ul style="list-style-type: none">• Ubicada en capa arcillosa (precipitación).• Tiene pocas raíces y menos fértil.• Acumula las sales del perfil A.
C	<ul style="list-style-type: none">• Ubicada en la capa profunda (transición).• No tiene raíces.• Crecimiento del suelo hacia abajo.
D	<ul style="list-style-type: none">• Compuesta por roca madre son ninguna alteración.

Nota. Adaptado de Osorio et al. (2022)

Propiedades de suelos

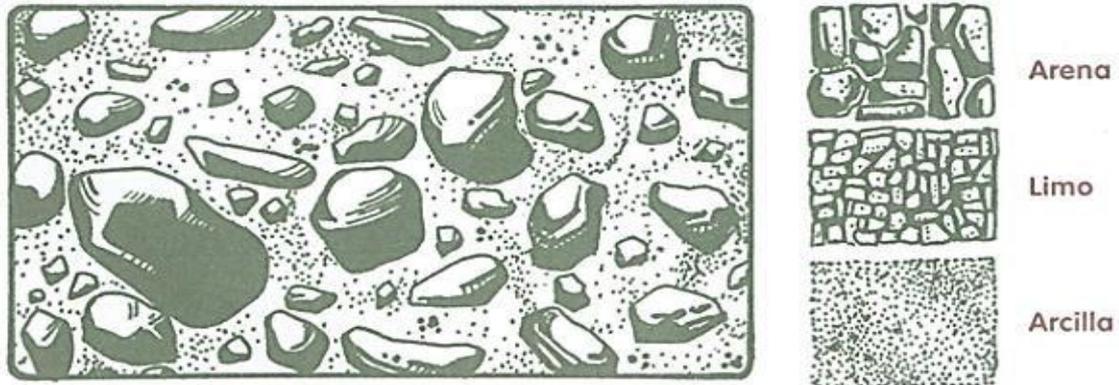
Según Osorio et al. (2022) las propiedades del suelo son las siguientes:

- Textura

Esta propiedad se refiere al contenido de las partículas con diferente tamaño (limo, arena, arcilla); es así que, cuando hay gran cantidad de partículas de arena se tiene una textura arenosa, con limo (textura limosa) y en arcillas (textura arcillosa). Por lo tanto, la textura es la facilidad que se tiene para trabajar con el suelo, pues, permite determinar la composición del aire, agua y la velocidad de penetración del agua al suelo. En cambio, cuando el suelo se mezcla con tres componentes se denomina textura tipo franca. En la Figura 2 se observa la textura del suelo:

Figura 2.

Textura del suelo



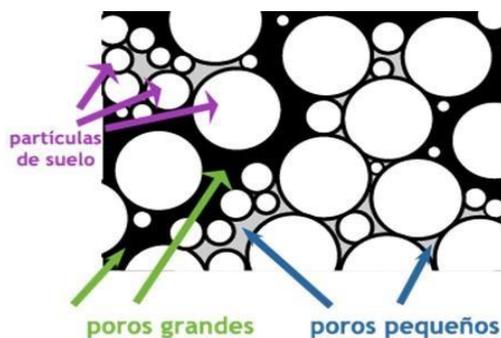
Nota. Tomado de Osorio, et al. (2022)

- Porosidad

Esta propiedad se trata de cuánto espacio poroso o aire hay en el suelo en relación con el volumen total del suelo (ver Figura 3), lo cual se relaciona con la textura, estructura y actividad biológica del suelo. Cabe mencionar que, la materia orgánica de suelos coloidales y microfauna inciden en la actividad biológica; incluso entre los espacios de los poros se aprecian los micro poros (retienen el agua) y macro poros (no retiene agua). La porosidad permite determinar la capacidad de retención del agua, drenaje, aireación y penetración de las raíces.

Figura 3.

Porosidad del suelo



Nota. Tomado de Carrera (2022)

- Color

Esta propiedad puede cambiar según la composición de minerales, materia orgánica y densidad del suelo. El color incide en el crecimiento de las plantas debido a que la temperatura de los suelos claros repele al sol mientras que los colores oscuros absorben el mismo. Los suelos rojizos se deben por la presencia de óxidos de hierro por la materia orgánica en descomposición (Poch, 2022). En la Figura 4 se presenta el color del suelo.

Figura 4.

Color del suelo



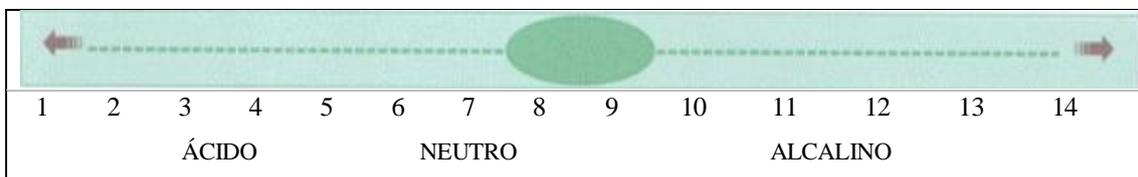
Nota. Tomado de Osorio, et al. (2022)

- Potencial de hidrógeno – pH

El valor de pH se refiere a la acidez y alcalinidad del suelo debido a la disponibilidad de los nutrientes, aporta al crecimiento de la planta dependiendo del nivel de pH con rango de 0 – 14. Cuando el valor es inferior a 7 se presenta acidez, valor igual a 7 es neutro y mayor a 7 es alcalino. Esto se aprecia en la Figura 5.

Figura 5.

Escala de pH



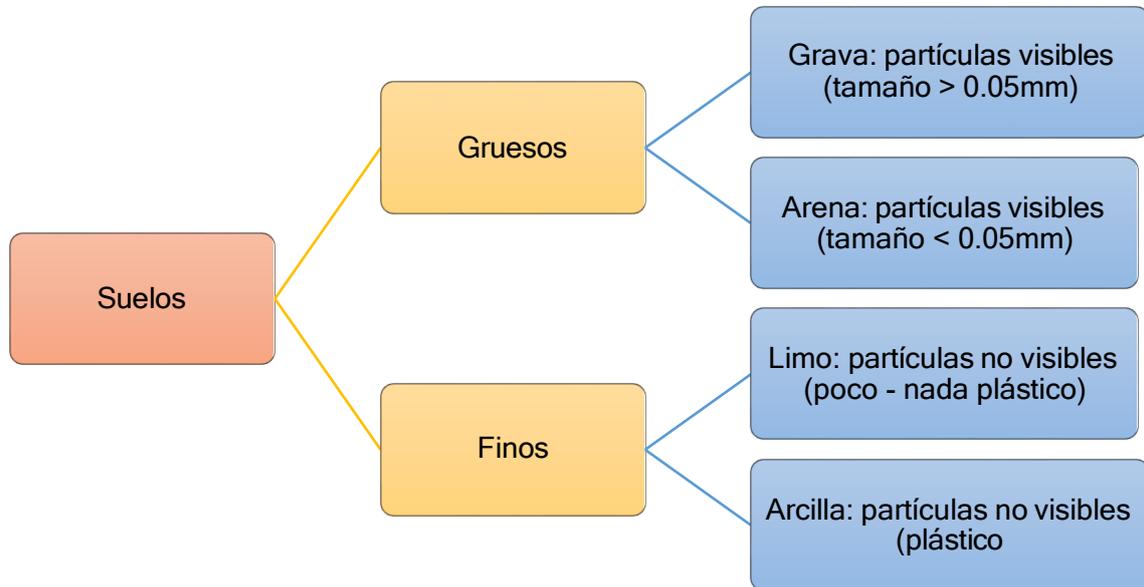
Nota. Tomado de Osorio, et al. (2022)

Tipos de suelo

A continuación, en la Figura 6 se presenta los principales tipos de suelo:

Figura 6.

Tipos de suelo



Nota. Tomado de Osorio, et al. (2022)

Capacidad portante del suelo

La capacidad portante del suelo es la carga máxima con presión moderada que puede soportar sin que haya falla por asentamientos y corte. El esfuerzo debido a la cimentación del suelo debe ser menor al esfuerzo máximo, pero, si supera el valor permitido presenta fallas considerables, esto influye en la aparición de grietas en las estructuras. Por lo tanto, es importante considerar los factores de seguridad indirecta mínimos (FSIM) del diseño, es así que la capacidad portante de cimentaciones profundas y superficiales tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

FSIM

Condición	FSIM Admisible
Carga Muerta + Carga Viva Norma	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de diseño pseudo estático	1.5

Nota. Tomado de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2015)

Hormigón armado

Elementos

Según Pinargote et al. (2020) el hormigón se trata de un material que se obtiene de la mezcla de agregados (finos – gruesos), agua y cemento, donde la preparación se adapta a diferentes formas de cada encofrado. Es utilizado para fabricar elementos de obra civil, siendo, esencial una adecuada fabricación y selección del material (ver Figura 7).

Respecto al hormigón armado o concreto armado (hormigón reforzado), Villao (2022) explica que es un mecanismo de construcción donde se combina el hormigón y acero con la finalidad de lograr resistencia a la tracción. La armadura de acero ayuda al hormigón a soportar cargas pesadas y resistir tensiones causadas por factores externos. Se emplea principalmente en muros, vigas, losas, fundición, columnas y otros. A continuación, se detalla las principales características del hormigón armado:

- Presenta una buena resistencia a la compresión y tracción.
- Es durable ante condiciones ambientales.
- Tiene versatilidad en formas y diseños.
- Presenta un costo bajo de mantenimiento a largo plazo.
- Tiene una adecuada capacidad de aislamiento térmico.
- Excelente comportamiento frente al fuego.
- Admite gran cantidad de cargas sin deformarse.
- Posibilidad de crear variedad de acabados estéticos.
- Posibilidad de ser reciclado al final de su vida útil.

Figura 7.

Hormigón armado

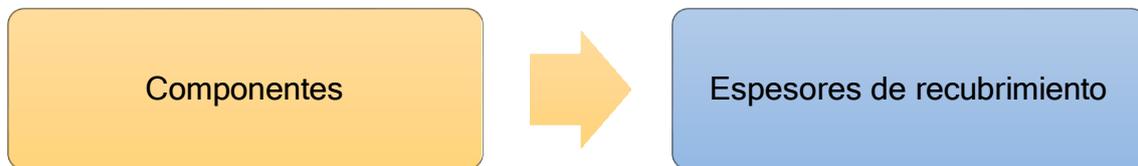


Nota. Tomado de Villao (2022)

Para Pinargote et al. (2020) los elementos del hormigón se relacionan con los siguientes aspectos (ver Figura 8):

Figura 8.

Elementos del hormigón armado



Nota. Tomado de Pinargote et al. (2020)

En cuanto a los componentes del hormigón se detallan a continuación:

- Áridos o agregados (fino – grueso)
- Material aglutinante o cemento (portland o especial)
- Agua
- Acero de refuerzo, ayudando en reducir los esfuerzos de corte y tracción.

En cuanto a los espesores de recubrimiento se emplean para la protección de las armaduras, evitando la corrosión y acción contra fuego, siendo, esencial una adecuada compacidad del hormigón, es decir, el espesor y según las NEC del capítulo 4 establece que el refuerzo se ubica a un poco distancia de la superficie del hormigón. Lo cual ayuda a evitar el pandeo de la carga de compresión, así como oxidación y disminución de la resistencia.

Patologías del hormigón armado

Las patologías del hormigón armada se pueden presentar por características externas, en la cual se observa lesiones, defecto y daños. Es así que para el análisis de las patologías se considera los siguientes aspectos detallados en la Tabla 3:

Tabla 3.

Aspectos para identificar patologías

Patología	Descripción
Evaluación del hormigón de las cimentaciones	<ul style="list-style-type: none">• Etapas: observación, estudio y diagnóstico.• Observación: reconocimiento de componentes y detección de deformación, grietas o fisuras.

	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio: obtener información (planos, documentos y estudio de la agresividad del ambiente) • Diagnóstico: se determina el proceso a seguir como la reparación.
Analizar durabilidad del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Se refiere a la vida útil del hormigón • Conservación del material • Se debe realizar el diseño, calcular la estructura, curado, aplicar prácticas de construcción según normativa y mecanismos de protección.

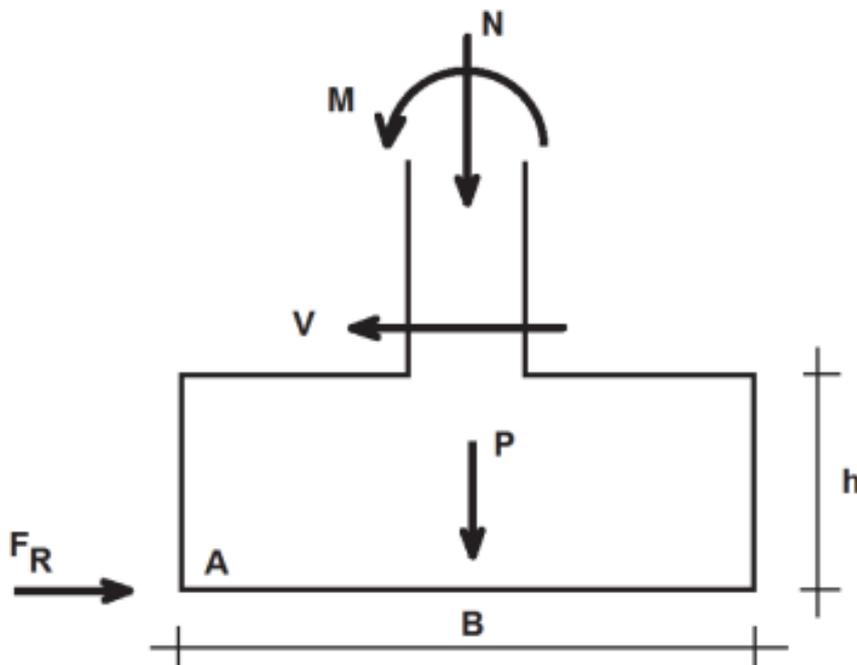
Nota. Adaptado de Villao (2022)

Cimentación

Las cimentaciones son elementos constructivos que conectan estructuras al terreno. Normalmente, estas se localizan bajo tierra, y transmiten al terreno el peso de sí mismas y de las cargas que reciben para que exista estabilidad en la edificación (Tipán y Villacís, 2022), una presión bajo la que es admisible y limitación de los asientos. Así, como se describe en Yepes (2020), las cargas sobre las cimentaciones se ejemplifican en el siguiente esquema (ver Figura 9):

Figura 9.

Diagrama de las cargas sobre una cimentación superficial



Nota. Tomado de Yepes (2020)

Dentro de los factores que impactan en la cimentación y que requieren de una consideración en sus diseños se encuentran: efectos sísmicos en el terreno, licuefacción o potencial terreno colapsable, la estabilidad de la excavación, la potencial ocurrencia de heladas, el crecimiento de la vegetación, presencia de arcillas expansivas, socavamientos, movimientos freáticos, inestabilidad de laderas, entre otros (Yepes, 2020).

Descripción general

El diseño de los cimientos tiene como requisito el permitir que las edificaciones no alcancen estados límites últimos, que derivan en su ruina, como fallas en la estabilidad global, hundimientos, roturas de elementos estructurales, deslizamientos, etcétera; de igual manera, busca no alcanzar límites de servicio, lo que implicaría afectaciones en la capacidad funcional de la estructura, o bien estética, etcétera. Así, se tiene que la máxima presión que puede transmitir un cimiento sin llegar al estado límite último es la capacidad portante, mientras que la presión admisible constituye aquella que no se alcanza ni en estado límite último ni de servicio, lo que presenta un coeficiente de seguridad en contraste con la capacidad portante (Yepes, 2020).

Por ello, tal como se afirma en Yepes (2020), la cimentación no solo debe atender a la mecánica respectiva al suelo y a las rocas; además, es preciso que se consideren adecuadamente los procedimientos en construcción, factores económicos y las herramientas que permitan controlar la calidad de las edificaciones y la ejecución de las obras.

Cabe mencionar que los requisitos que se debe cumplir previo a la cimentación son los siguientes:

- La capacidad portante debe ser $\leq 0,5 \text{ km/m}^2$.
- Realizar estudios del comportamiento de edificación o viviendas en sitios cercanos como los deslizamiento y asentamiento.
- Cuando se construya una vivienda de más tres pisos se debe tomar en cuenta lo recomendado en el estudio de suelo o normativa vigente.
- Efectuar perforación del suelo como mínimo 2m de profundidad (Fajardo, 2019).

Los factores determinantes de la cimentación que se consideran se relacionan con la capacidad portante del suelo, tipo de suelo, topografía se plana o pendiente, tipo de lote esquinero o medianero y tipo de obra (Fajardo, 2019).

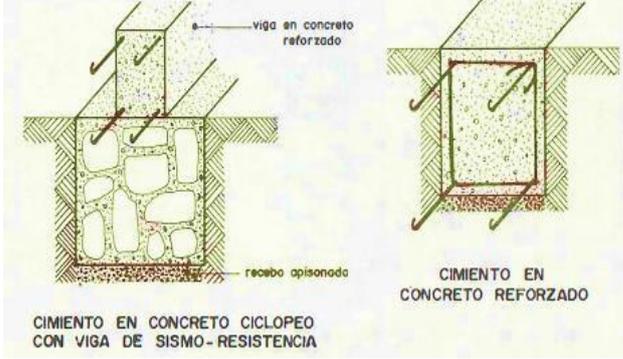
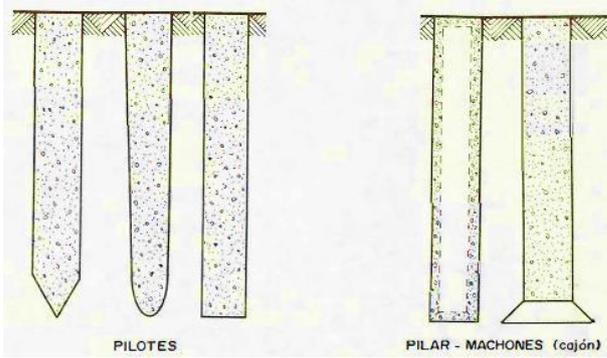
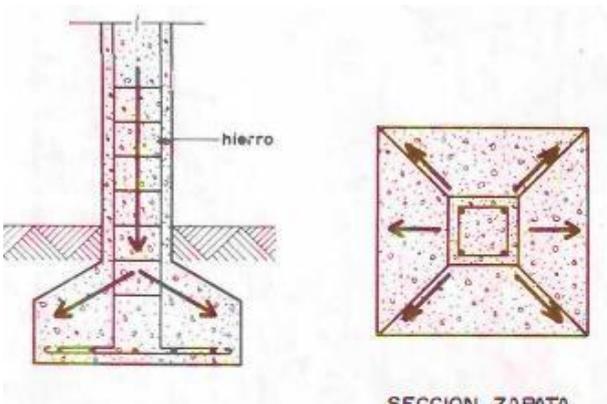
Tipos de cimentaciones

Los tipos de cimentaciones se muestran a continuación en la

Tabla 4:

Tabla 4.

Tipos de cimentaciones

Tipos	Descripción
<p>Superficiales</p>  <p>Diagrama de la izquierda: Cimiento en concreto ciclópeo con viga de sismo-resistencia. Muestra una viga de concreto reforzado sobre un cimiento de concreto ciclópeo con un recibo apisonado. Etiqueta: "viga en concreto reforzado", "recibo apisonado".</p> <p>Diagrama de la derecha: Cimiento en concreto reforzado. Muestra un cimiento cuadrado con refuerzo de acero. Etiqueta: "CIMENTO EN CONCRETO REFORZADO".</p> <p>CIMENTO EN CONCRETO CICLOPEO CON VIGA DE SISMO-RESISTENCIA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicado a poca profundidad. • Aplica en terreno rocoso y resistentes. • Formado por elemento estructural. • Transmiten cargas al suelo. • Tipos: concreto ciclópeo continuo, concreto reforzado, losa de cimentación y aisladas, amarradas y corridas.
<p>Profundas</p>  <p>Diagrama de la izquierda: Pilotes. Muestra tres tipos de pilotes: uno con punta aguda, uno con punta redondeada y uno con punta plana. Etiqueta: "PILOTES".</p> <p>Diagrama de la derecha: Pilar-Machones (cajón). Muestra un pilar rectangular con machones en la base. Etiqueta: "PILAR - MACHONES (cajón)".</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento estructural • Aplica en suelo con baja capacidad portante. • Tipos: pilotes – pilotines, pilares – cajones.
<p>Combinadas</p>  <p>Diagrama de la izquierda: Corte Zapata. Muestra un corte longitudinal de una zapata sobre pilotes con refuerzo de hierro. Etiqueta: "hierro".</p> <p>Diagrama de la derecha: Sección Zapata. Muestra una sección transversal de una zapata sobre pilotes. Etiqueta: "SECCION ZAPATA".</p> <p>CORTE ZAPATA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizada en sistema superficial y profunda. • Tipos: Zapata sobre pilotes y losa de cimentación sobre pilotes. • Transmite peso de la estructura y reparte esfuerzo al terreno. • Amplia la superficie para apoyo a la columna.

--	--

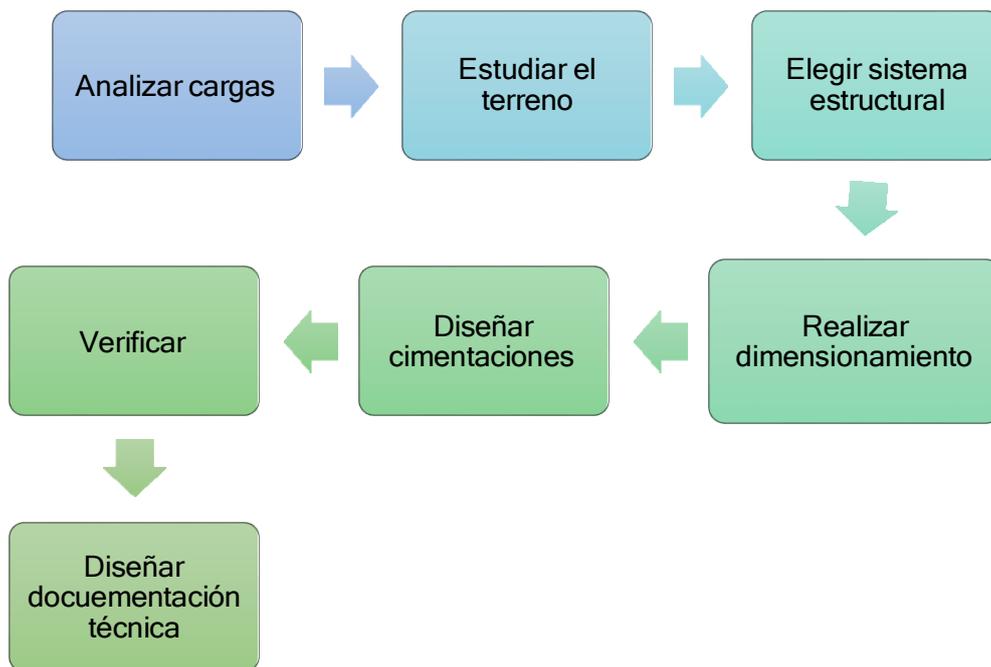
Nota. Adaptado de Fajardo (2019)

Proceso de cálculo de cimentaciones

El proceso de cálculo para las cimentaciones se muestra en la Figura 9.

Figura 10.

Proceso de cálculo de cimentaciones



Nota. Adaptado de Ingenieros Asesores (2023)

- **Analizar cargas:** se cuantifica las cargas de la estructura ya sea permanentes, variables y excepcionales.
- **Estudiar el terreno:** efectuar estudios geotécnicos de las características del suelo (capacidad, permeable, cohesión y comprensibilidad).
- **Elegir sistema estructural:** se determina el sistema ya sea acero, madera y hormigón armado. Incluso factores como tipo de carga, plazo, función, entre otros.
- **Realizar dimensionamiento:** efectuar cálculos de las dimensiones, resistencia de elementos (vigas, columnas, muros y losas).
- **Diseñar cimentaciones:** considerar el estudio geotécnico para seleccionar el tipo de cimentación, así como los detalles de construcción y dimensiones.

- Verificar: se comprueba que la estructura cumpla con la norma técnica para seguridad y estabilidad de la misma.
- Diseñar documentación técnica: se realiza los planos, detalles de construcción y cálculos para una adecuada ejecución de cimentación.

Cimentaciones aisladas

De acuerdo con Anás et al. (2023) las cimentaciones superficiales o aisladas se encargan de soportar y transmitir cargas de la estructura al suelo, siendo, la más común para edificaciones con varios pisos. No obstante, se debe tomar en cuenta la profundidad de excavación para implantar del cimiento; este no superará las cuatro veces del ancho de la cimentación.

Las características principales de una cimentación superficial se detallan de la siguiente manera:

- Son económicas en comparación con otras cimentaciones más complejas.
- Ayudan a la construcción más rápida y sencilla.
- Ofrecen un buen rendimiento en suelos estables y uniformes.
- Ideales en estructuras ligeras y viviendas de tamaño moderado.
- Requieren menos material de construcción en comparación con otros tipos de cimentaciones.
- Reducen el riesgo de asentamientos diferenciales en el edificio.
- Fácil de diseñar y calcular que otras cimentaciones.
- Presenta flexibilidad en el diseño arquitectónico del edificio.
- Ideal en suelos con cargas moderadas y consistentes.
- Presentan resistencia a fuerzas laterales como el viento y los movimientos del suelo.
- Se calcula la presión ejercida de la zapata se considera las sobrecargas, peso del edificio – zapata, suelo. Además, se calcula el vuelco por método convencional y uso de programas para dimensionamiento óptimo.

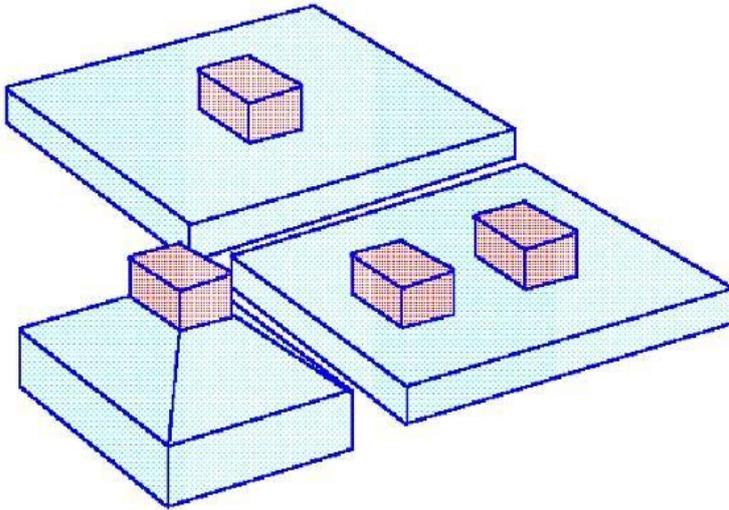
Zapatas aisladas

Las zapatas aisladas o simples se refieren a cimentaciones que solo soportan una carga en la columna y en algunas columnas cercanas representa un elemento de integración. Incluso utilizan zapata de hormigón armado, simple o ciclópeo. Respecto a la zapata de

hormigón armado se considera mínimo 40 cm de peralte con la finalidad de asegurar poca rigidez de la flexión; incluyendo espesor menor a dos pisos en una estructura liviana (Luévanos, 2023). En la Figura 11 se aprecia las zapatas aisladas.

Figura 11.

Zapatas aisladas



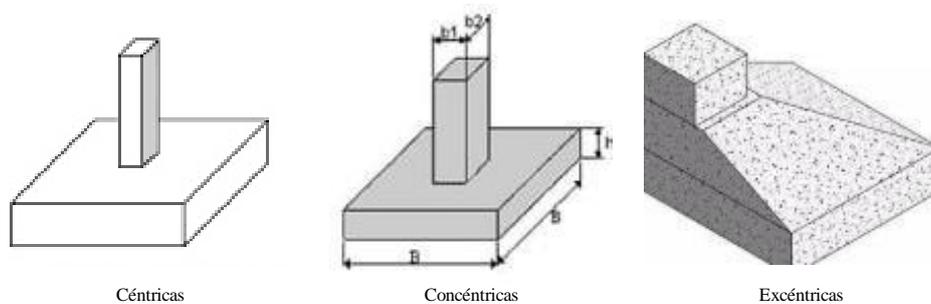
Nota. Adaptado de Luévanos (2023)

Los tipos de zapatas aisladas pueden ser:

- Céntricas: ubicadas debajo del eje de la columna con cargas uniformes.
- Concéntricas: soporta y distribuye cargas (axial, uniaxial, biaxial) de manera uniforme.
- Excéntricas: aplicada en cimentación ubicada al límite de la propiedad (Maldonado, 2020).

Figura 12.

Tipos de zapatas aisladas



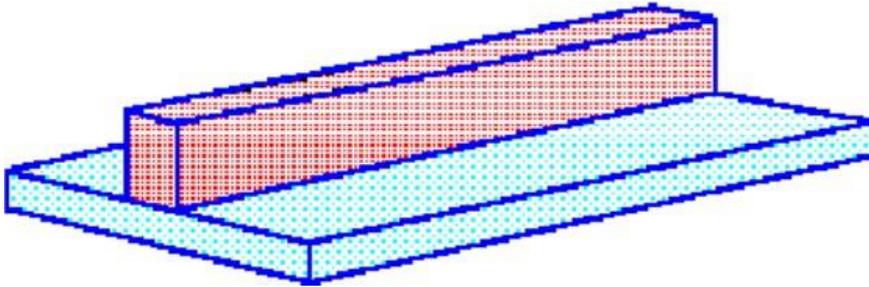
Nota. Tomado de Maldonado (2020)

Zapatas combinadas

Las zapatas combinadas o corridas continuas se emplean en la cimentación de muros o elemento con forma longitudinal corrida de diversos materiales (mampostería – hormigón) (Tipán y Villacís, 2022). En la Figura 13 se observa las zapatas combinadas.

Figura 13.

Zapatas combinadas



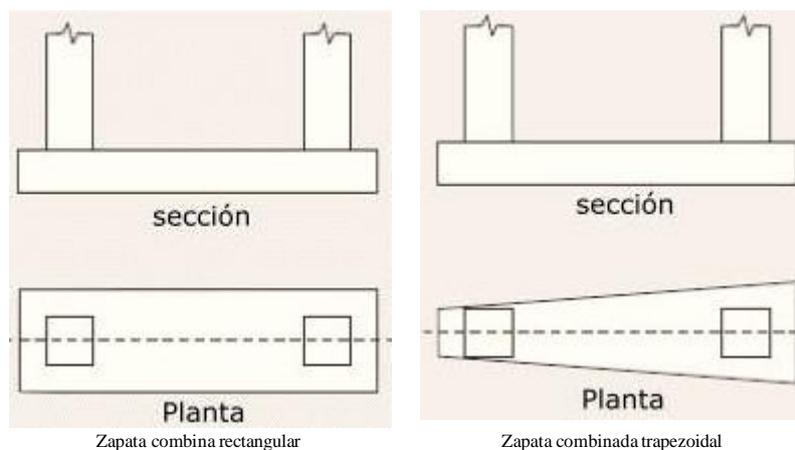
Nota. Tomado de Tipán y Villacís (2022)

Los tipos de zapatas combinadas pueden ser:

- Zapata combinada rectangular: es un tipo de cimentación que ayuda a la distribución uniforme del esfuerzo que se trasmite al suelo.
- Zapata combinada trapezoidal: es un tipo de cimentación similar al rectangular y se aplica cuando no existe problemas de lindero (Maldonado, 2020).

Figura 14.

Tipos de zapatas combinadas



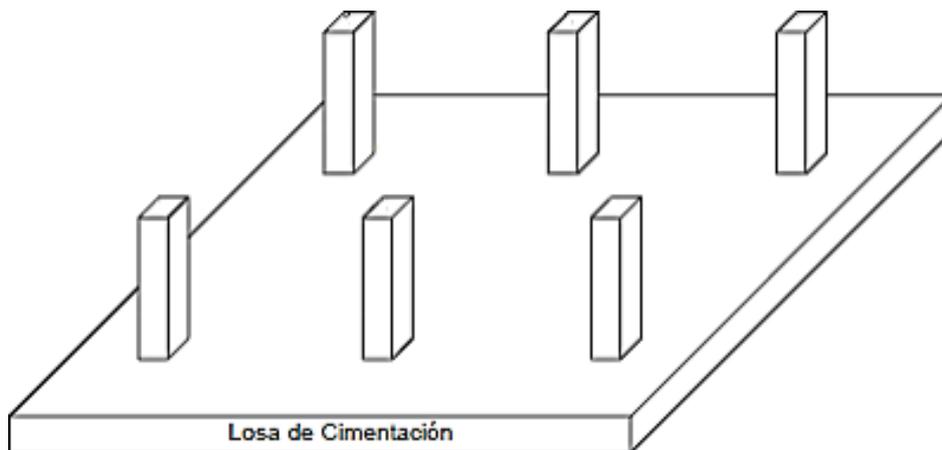
Nota. Tomado de Maldonado (2020)

Losa de cimentación

La losa de cimentación se aplica en suelos con poca resistencia, especialmente, en la integración superficial de la cimentación de algunas columnas. Es importante señalar que, cuando la cimentación se realiza con plintos aislados cuya superficie sea mayor al 50% se debe emplear losa. Al igual que, en grandes asentamientos para su reducción diferencial de la estructura y lograr uniformidad del suelo; así como en sótanos profundos que permita la redistribución de esfuerzos en el suelo de cimentación (León, 2016). En la Figura 15 se aprecia la losa de cimentación plana que se apoya en vigas, donde las cargas se transmiten de manera directa a la losa.

Figura 15.

Losa de cimentación



Nota. Tomado de León (2016)

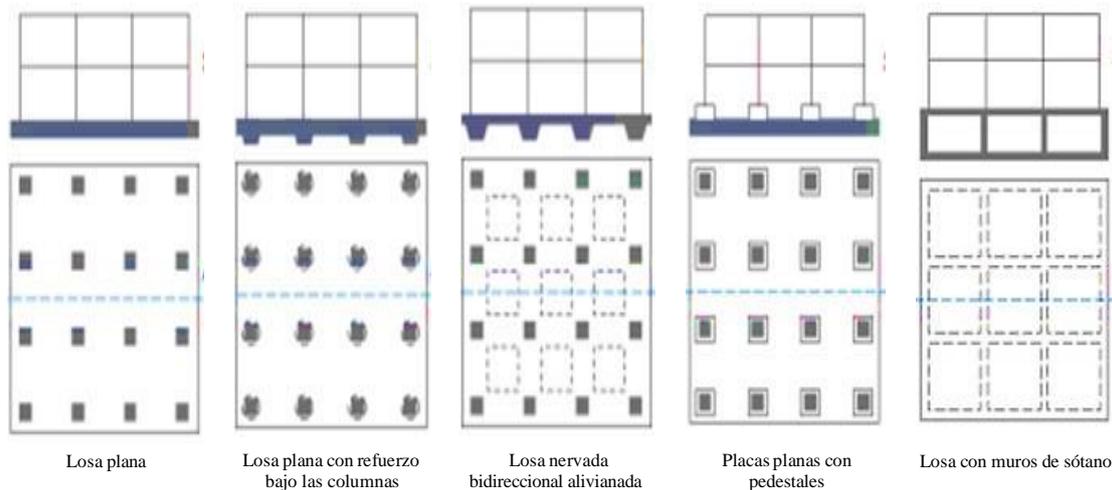
De acuerdo con Tipán y Villacís (2022) las losas de cimentación se pueden clasificar en las siguientes:

- Losa maciza o plana: presenta espesor entre 0,50 m hasta 1 m según cargas aplicadas, donde este espesor debe ser igual a las vigas y los elementos deben estar ubicado en el mismo nivel del piso.
- Losa plana con refuerzo bajo las columnas: genera resistencia a las cargas de la columna grande.
- Losa nervada bidireccional alivianada: presenta alivianamiento, capa inferior, superior y nervios, incluso tiene similar característica de la losa entrepiso.

- Placas planas con pedestales o capiteles: se agrega hormigón donde se observa cortantes por punzonamiento.
- Losa con muros de sótano como parte de la placa (cajón): representan el refuerzo en conjunto de la losa.

Figura 16.

Tipos de losa de cimentación



Nota. Tomado de León (2016)

Vigas de cimentación

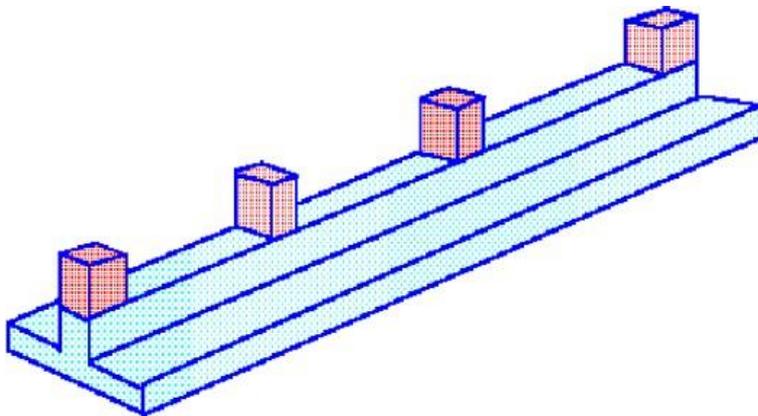
Las vigas de cimentación se aplican en suelos con poca resistencia con la finalidad de lograr integración de forma lineal la cimentación en diferentes columnas y cuando se combina en doble dirección se forma la malla (Ver Figura 17). Por lo que, es importante que la viga sea sometida a esfuerzos de flexión y ancho inferior a 25 cm, sin que sea superior al ancho de columna (Castro, 2022). El proceso que se aplica para el diseño de viga de cimentación es el siguientes:

- Interpretación de planos.
- Escoger equipos, materiales y herramientas necesarias.
- Alistar el sitio de trabajo.
- El hierro se debe medir y cortar para tener listo.
- Organizar la canasta de vigas y columneta.
- Trasladar la armadura para emplazar la estructura.
- Después, se debe anclar las columnetas.
- Luego se mide, traza y corta la madera.

- Trasladar y ubicar la formaleta.
- Clavar para arriostrar y asegurar la base.
- Revisar la estructura y encofrado.
- Seguidamente se procede a vibrar con varilla o martillo para compactar el concreto.
- Se procede a nivelar la corona de la viga.
- Después, de 24 horas o más se desencofra y se efectúa el curado del concreto (Fajardo, 2019).

Figura 17.

Vigas de cimentación



Nota. Tomado de Tipán y Villacís (2022)

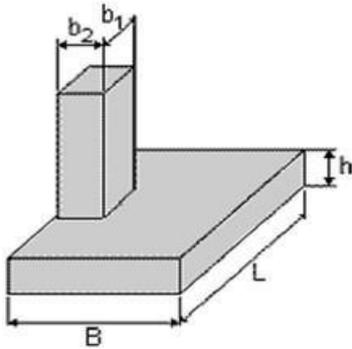
Los tipos de vigas de cimentación pueden ser corridas (continuas), centradoras (ubicada debajo de la columna), riostra (estabiliza pilotes), atado (conecta vigas continuas), arriostre (refuerza muros de contención), cimentación en voladizo (apoyo a fuerzas de inclinación), cajón (soporta carga pesada), grupo (aplica en cimentaciones con pilotes) y anclaje (evita fuerza de ascenso del suelo) (Infor Civil, 2022).

Zapatas medianeras

De acuerdo con Yepes (2020) las zapatas medianeras se refieren a las cimentaciones que dan soporte a la columna ubicada una de las caras al borde de la zapata, es decir, transmite carga de soporte excéntrico o perimetral. En la Figura 18 se aprecia las zapatas medianeras.

Figura 18.

Zapatas medianeras



Nota. Tomado de Yepes (2020)

MARCO METODOLÓGICO

Metodología general

Enfoque de investigación

En la presente investigación se aplicó un enfoque mixto (cuantitativo – cualitativo). Con la investigación cuantitativa se obtuvo datos numéricos como las cargas vivas, muertas y efectos del sismo para la simulación del comportamiento de la edificación de hormigón armado con diferentes tipos de cimentaciones. Mientras que, con el enfoque cualitativo se establece criterios sobre la comparación de cimentaciones aisladas y combinadas para una edificación de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil.

Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo y bibliográfica – documental. Respecto al tipo descriptivo se aplicó porque permitió detallar datos de hormigón, acero de refuerzo, geometría de secciones y reacciones en la base para diseño de cimentación. Mientras que, en la investigación bibliográfica – documental se recopiló información de libros, revistas, artículos científicos para sustentar la investigación en temas como el suelo, hormigón armado, cimentación y cimentaciones aisladas.

Cabe mencionar que, para la evaluación la estructura, capacidad de soporte mediante simulación del comportamiento de la edificación de hormigón armado con diferentes

tipos de cimentaciones, bajo diversas condiciones de carga y suelo se utilizó el programa SAFE. Mientras que, para las cargas y diseño de cimentaciones en el programa ETABS.

Proceso para el desarrollo de la investigación

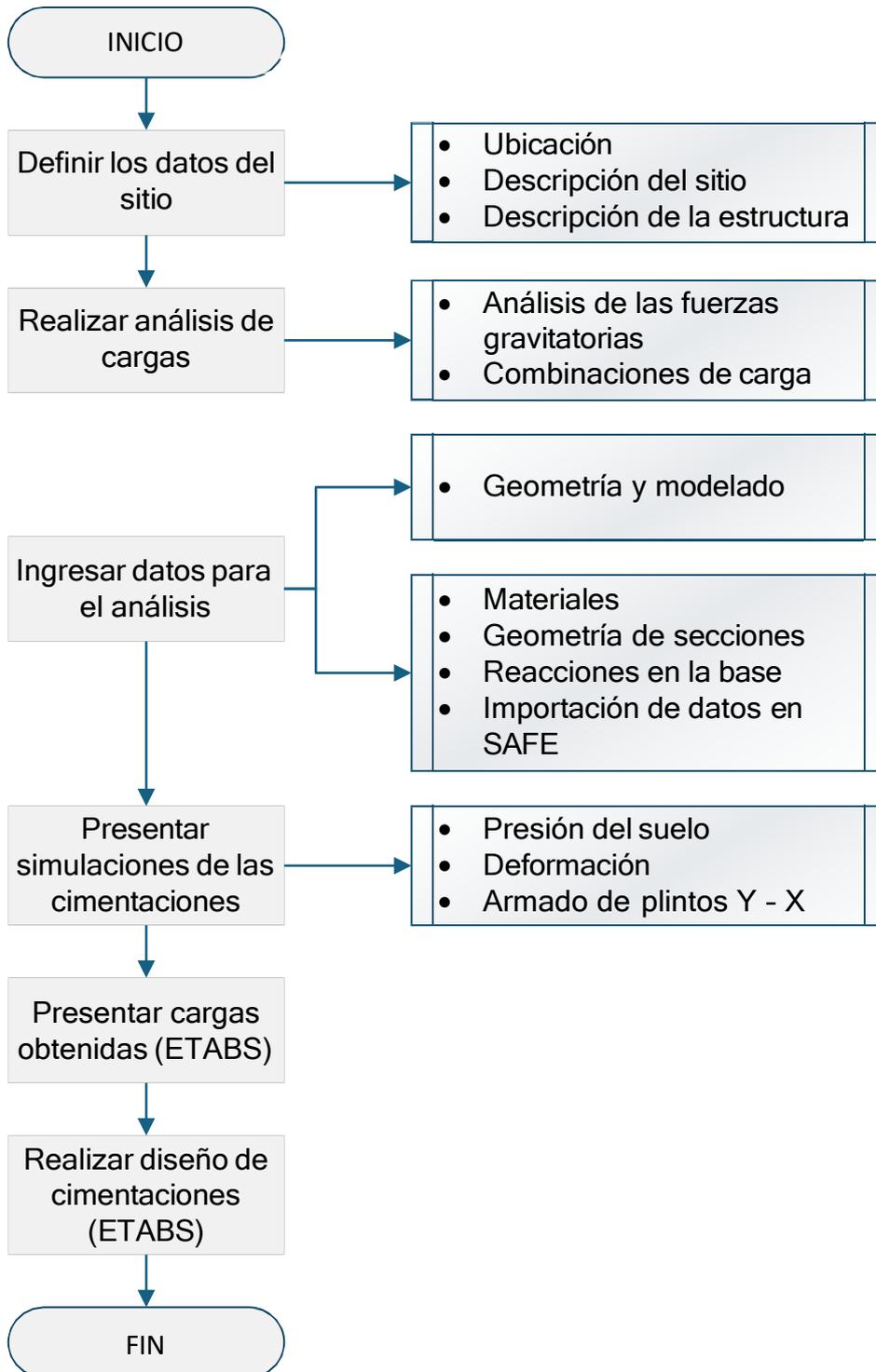
A continuación, se detalla el procedimiento a seguir:

- Definir los datos del sitio como la ubicación, descripción y estructura.
- Realizar análisis de cargas.
- Ingresar datos para el análisis.
- Presentar simulaciones de las cimentaciones, cargas y diseño de cimentaciones.

En la Figura 19 se presenta el proceso detallado para el desarrollo de la investigación:

Figura 19.

Proceso de desarrollo



Nota. La figura muestra el proceso aplicado para la simulación y diseño de cimentaciones.

Figura 21.

Ubicación de radio base en estudio



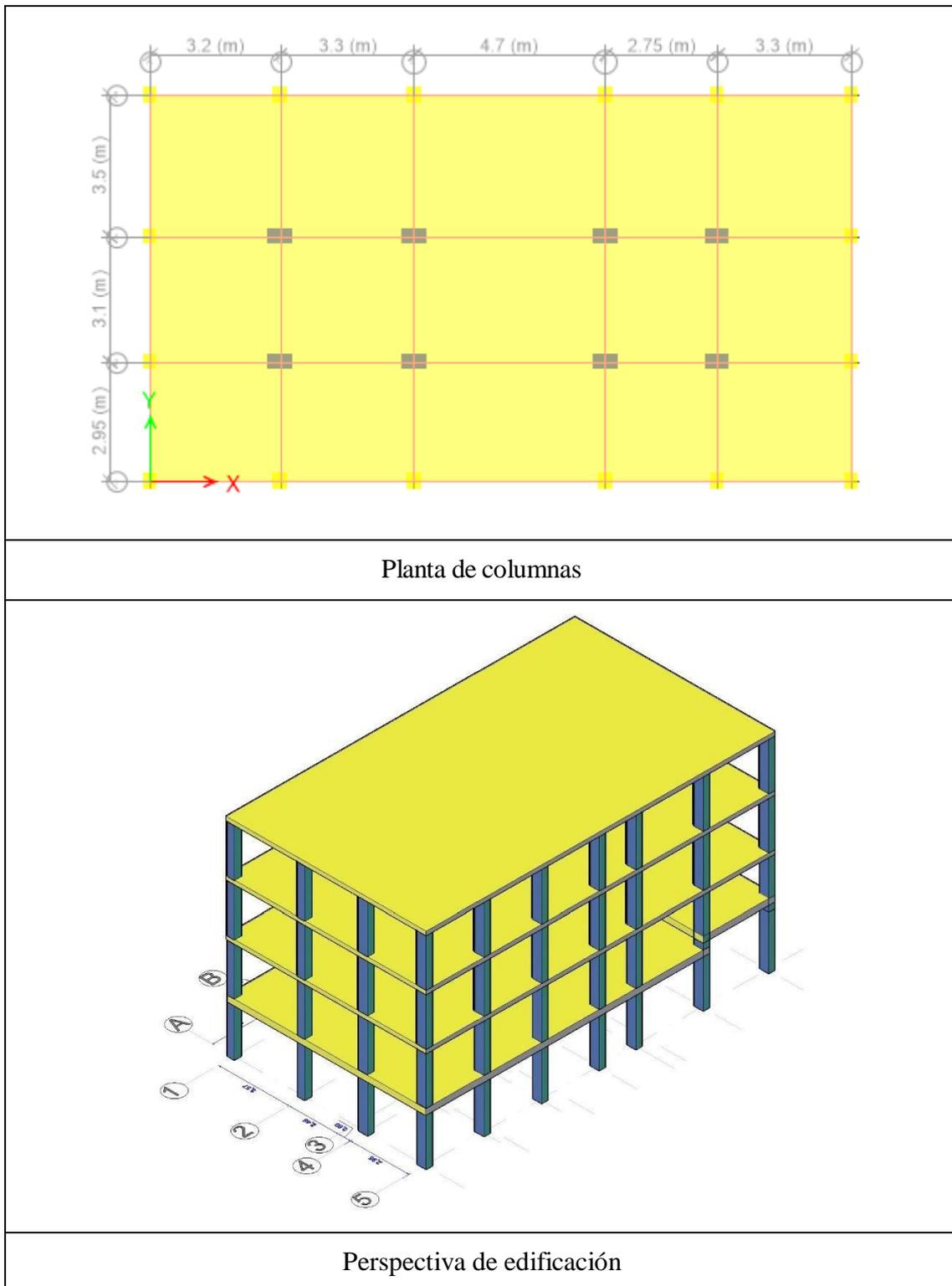
Nota. La figura muestra la edificación.

Descripción de la estructura encontrada

La edificación existente, está conformada por un sistema estructural de pórticos, configurados por losas planas sin vigas altas, en un espesor de 20cm sus losas, dispone de columnas en sección de 45x30 en las zonas perimetrales y de 40x60 en zonas. En la Figura 22 se muestra la planta de las columnas y la perspectiva general de la edificación.

Figura 22.

Planta de columnas y perspectiva de la edificación



Nota. La figura muestra la perspectiva de la edificación.

RESULTADOS

Análisis estructural

Análisis de cargas

Análisis de fuerzas gravitatorias

Carga muerta

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Cargas No Sísmicas (NEC-SE-CG) tal como se muestra en la Tabla 5. Por lo que, se consideró una carga 300kg/m^2 de sobrecarga producida por acabados, instalaciones y mampostería (Tabla 6).

Tabla 5.

Carga muerta (pesos de los materiales)

Material	Peso Unitario kN/m ³
B. Piedras artificiales	
Adobe	16,0
Amianto-cemento	20,0
Baldosa cerámica	18,0

Nota. Tomado de Ministerio de Desarrollo Urbano Vivienda (2015)

Tabla 6.

Carga y espesor

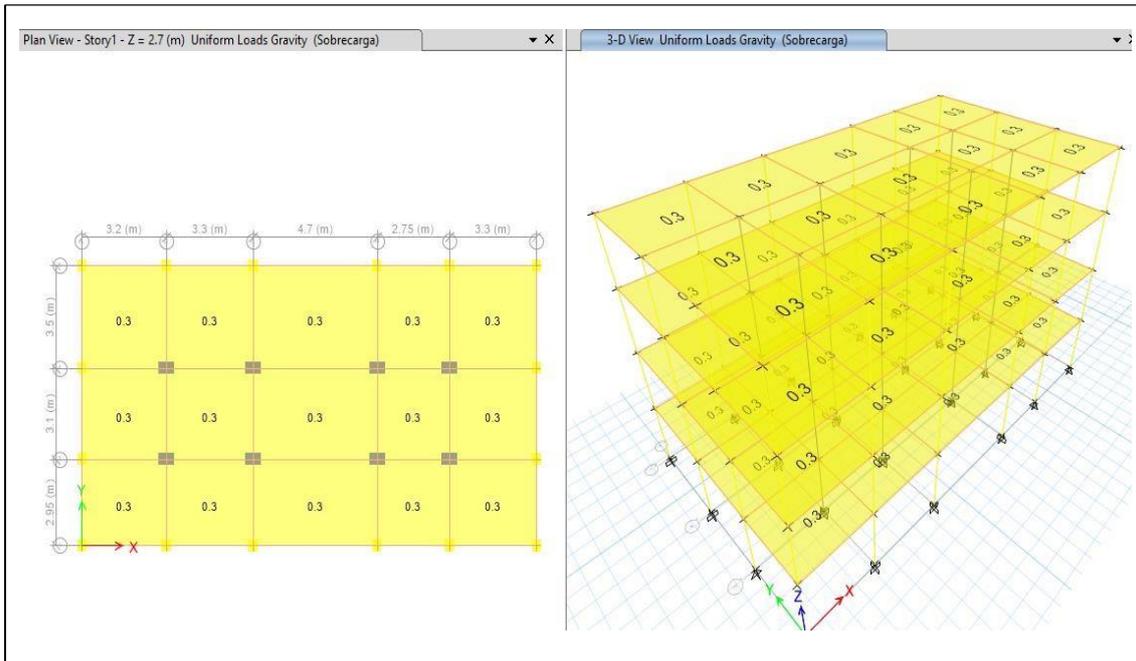
EN DEPARTAMENTO	Espesor
Masillado inferior:	0,01m
Masillado superior:	0,03m
Cerámica, tejuelo, etc.:	0,02m
Peso mortero:	2,00 T/m ³
CARGA:	0,12 T/m ²

Nota. La tabla presenta la carga y espesor en departamento

En la Figura 23 se presenta la perspectiva de la carga muerta:

Figura 23.

Carga muerta de la edificación



Nota. La figura muestra la perspectiva de la carga muerta de la edificación.

Carga viva

De la misma manera y según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, se consideró una carga viva de 200kg/m^2 , tomando en cuenta las sobrecargas mínimas establecidas en la Tabla 7.

Tabla 7.

Carga viva (sobrecargas mínimas)

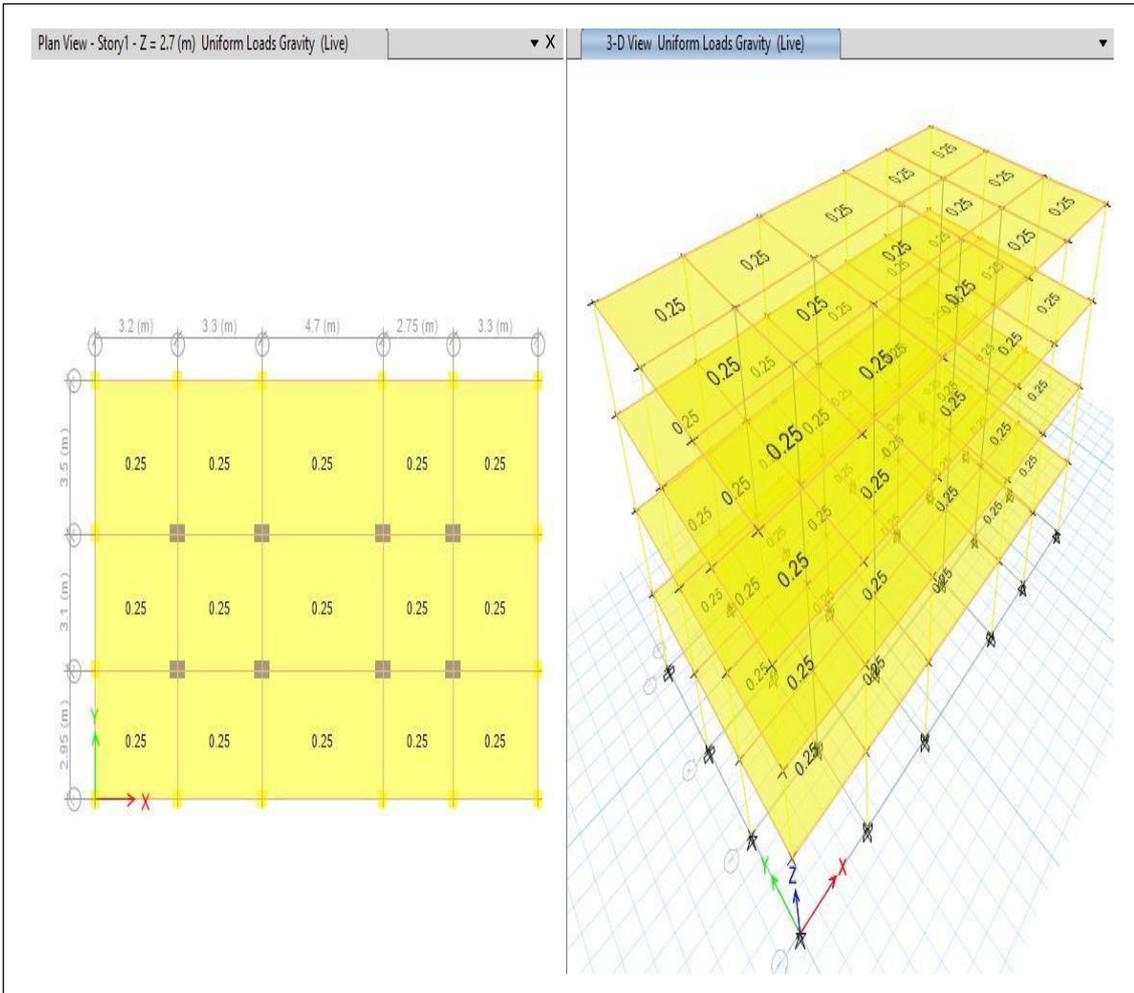
Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)
Residencias	
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2,00
Hoteles y residencias multifamiliares	
Habitaciones	2,00
Salones de uso público y sus corredores	4,80

Nota. Tomado de Ministerio de Desarrollo Urbano Vivienda (2015)

En la Figura 24 se presenta la perspectiva de la carga viva:

Figura 24.

Carga viva de la edificación



Nota. La figura muestra la perspectiva de la carga viva de la edificación.

Efectos del Sismo

De acuerdo a su ubicación, la Norma Ecuatoriana permite determinar los siguientes valores en la Tabla 8:

Tabla 8.

Cálculos de fuerzas laterales según método estático

ESPECTRO DE ACCELERACIÓN NEC 15					
CÁLCULO DE LAS FUERZAS LATERALES DE ACUERDO AL MÉTODO ESTÁTICO					
1. FACTOR DE ZONA SÍSMICA (Z)					
	Zona Sísmica			GYE	Sec 10.2
	Costa			V	Sec 3.1.1
				Z=	0,4

2. TIPO DE USO DE LA EDIFICACIÓN			
Factor de Importancia:	Otras estructuras		
I=	1,00	Sec 4.1	
3. TIPO DE SUELO			
Perfil de suelo tipo=	D	Sec 3.2.1	
4. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL			
Configuración	Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras		
Ct=	0,055	Sec 6.3.3	
α=	0,9		
Altura máxima de la estructura	hn=	10,5	m
5. PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN			
$T = C_t h_n^\alpha$			
TN -NEC2015=	0,456	seg	
TN-ETABS=	0,554	seg	
%Variación	1,21	Ok	
6. CÁLCULO DE ACELERACIÓN			
$T_o = 0.1 \cdot \frac{F_d}{F_s}$	$\frac{F_d}{F_s}$	$T_c = 0.55 \cdot F_s$	$\frac{F_d}{F_s}$
NEC 2015			
Fa=	1,20	1,20	
Fd=	1,19	1,19	
Fs=	1,28	1,28	
To=	0,13	0,127	seg
Tc=	0,70	0,698	seg
$S_a = \eta \cdot Z \cdot F_a$	PAFA $0 \leq T \leq T_c$		
$S_a = \eta \cdot Z \cdot \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$	PARA $T \geq T_c$		
η=	1,80		
r=	1		
Sa=	0,8640	Sec. 3.3.1	
7. FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA			
		R=	8
Pórticos especiales, sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda		Sec. 6.3.4	

8. FACTOR DE IRREGULARIDAD					
8.1. Irregularidad en Planta					
				$\Phi_p =$	1,00
8.2. Irregularidad en elevación					
8.2.1. Tipo 1					
Existe diferencia de hasta 50% de la inercia de un piso con respecto de otro subsiguiente					
				Φ_{Ei} sentido X =	1,00
				Φ_{Ei} sentido Y =	1,00
8.2.2. Tipo 2					
Existe diferencia de hasta 50% de la masa de un piso con respecto de otro subsiguiente					
				Φ_{Ei} sentido X =	1,00
				Φ_{Ei} sentido Y =	1,00
8.2.3 Tipo 3					
Existe diferencia entre las medidas globales de cada planta					
				Φ_{Ei} sentido X =	1,00
				Φ_{Ei} sentido Y =	1,00
8.2.4 Tipo 4					
No existe deslizamiento de ejes verticales					
No existe discontinuidad en la resistencia que supere en un 30% piso a piso					
				Φ_{Ei} sentido X =	1,00
				Φ_{Ei} sentido Y =	1,00
8.2.5 Tipo 5					
No existe discontinuidad en la resistencia que supere en un 30% piso a piso					
				Φ_{Ei} sentido X =	1,00
				Φ_{Ei} sentido Y =	1,00
8.2.6 Resumen					
		$\Phi_{EAx} =$	1,00	$\Phi_{EAy} =$	0,90
		$\Phi_{EBx} =$	1,00	$\Phi_{EBy} =$	1,00
		$\Phi_{ECx} =$	1,00	$\Phi_{ECy} =$	1,00
		$\Phi_{Ex} = \Phi_{EA} * \Phi_{EB} * \Phi_{EC}$		$\Phi_{Ex} =$	1,00
				$\Phi_{Ey} =$	0,90
9. CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL					
		$V = \frac{I * S_a}{R * \phi_p * \phi_e}$	$V_x =$	0,1200	t
			$V_y =$	0,1200	t
			Fuerza Adicional		
			$F_t =$	0,07 * T * V	
			$F_t =$	0,00	t
			$V = V - F_t$		
			$V_x =$	0,1200	t
			$V_y =$	0,1200	t

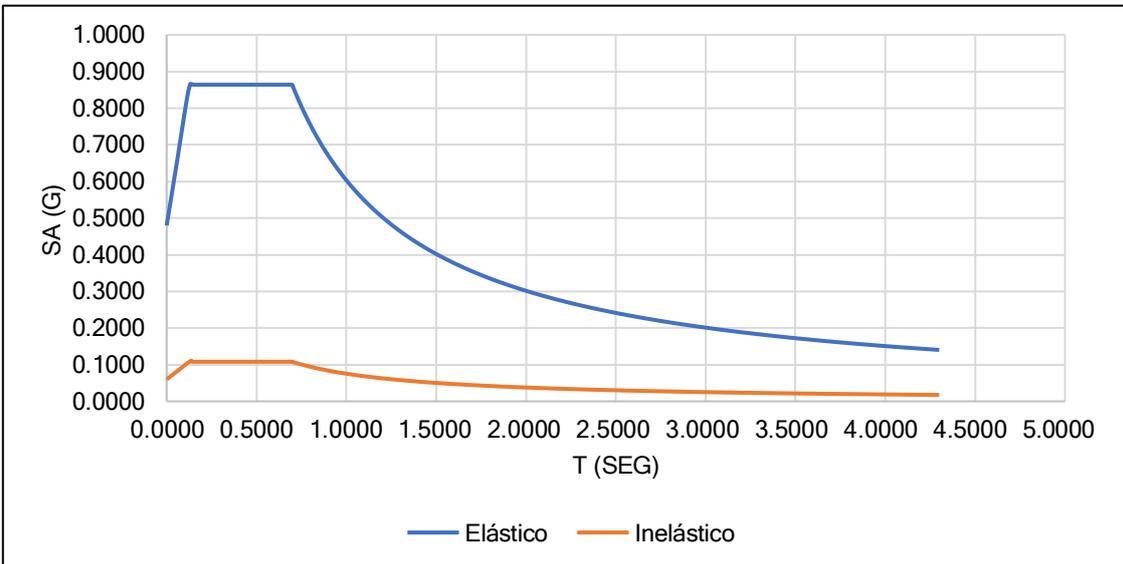
10. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE FUERZAS SÍSMICAS LATERALES			
	T (s)	K	
	T<0.5	1	
	0.5<T<2.5	0,98	K= 0,9782
	T>2.5	2	
11. CORRECCIÓN DEL CORTANTE BASAL			
11.1 Sismo estático			
	Peso total de la estructura (W)=	223,9214	t
	Carga muerta (W)=	94,8118	t
	Peso total de la estructura + Carga muerta (W)=	318,7332	t
	Cortante Basal Inicial (V)=	0,12	
	Fuerza horizontal calculada (Vo)=	38,25	
	Fuerza horizontal ETABS (Vo) - X=	38,250	
	Fuerza horizontal ETABS (Vo) - Y=	38,250	
	Cortante Basal Corregido (Vo)=	0,1200	Ok
		0,1200	Ok

Nota. La tabla muestra los resultados del espectro de aceleración.

También se adjunta la gráfica de espectro sísmico presentado en la Figura 25:

Figura 25.

Espectro de respuestas de aceleración



Nota. La figura muestra la perspectiva de la carga viva de la edificación

Combinaciones de Carga para el diseño

A continuación, se adjunta las combinaciones dadas por el NEC-SE-CG, en su parte 3.4.3., lo cual se describe en la Tabla 9.

Tabla 9.

Combinación de cargas

Combinación	Descripción
Combinación 1	1,4D
Combinación 2	1,2D + 1,6L + 0,5max[L _r ; S; R]
Combinación 3	1,2D + 1,6L max [L _r ; S; R] + max [L; 0,5W]
Combinación 4	1,2D + 1,0 W + L + 0,5max [L _r ; S; R]
Combinación 5	1,2D + 1,0E + L + 0,2S
Combinación 6	0,9D + 1,0W
Combinación 7	0,9D + 1,0E

Nota. Tomado de Ministerio de Desarrollo Urbano Vivienda (2015)

Donde:

D = carga permanente

E = carga de sismo

L = sobrecarga (carga viva)

L_r = sobrecarga cubierta (carga viva)

S = carga de granizo

W = carga de viento

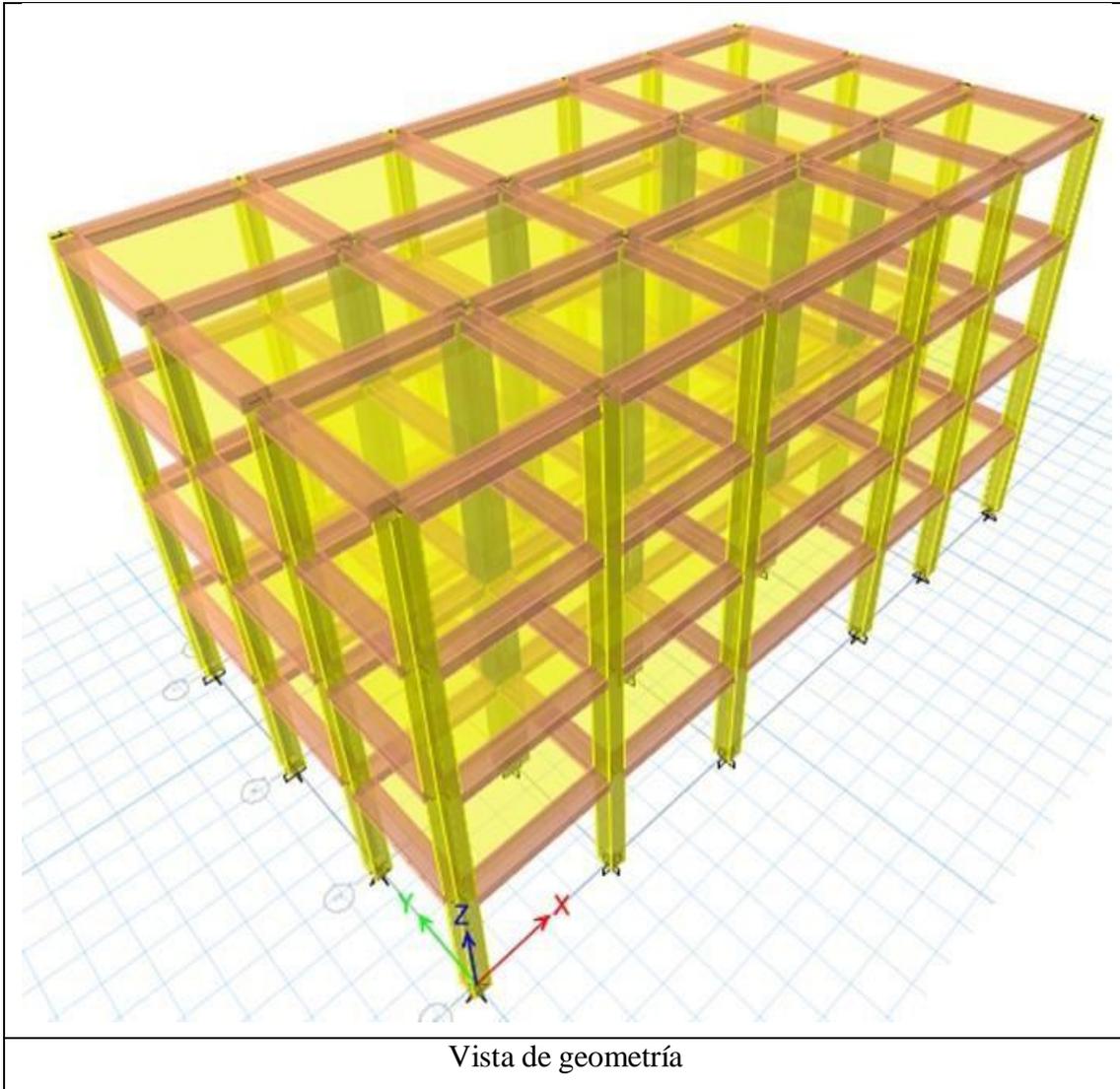
Ingreso datos para análisis

Ingreso de geometría y modelado

En la Figura 26 se presenta la vista de la geometría de la edificación.

Figura 26.

Vista geométrica de la edificación



Nota. La figura muestra la perspectiva geométrica de la edificación

- **Materiales**

De igual manera, se ingresó los datos de los materiales como el hormigón y acero de refuerzo, tal como se muestra en la Figura 27 y Figura 28 respectivamente.

Figura 27.

Datos a ingresar del hormigón

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for concrete. It is divided into several sections: 'General Data', 'Material Weight and Mass', 'Mechanical Property Data', and 'Design Property Data'. The 'General Data' section includes fields for Material Name (HS Fc=210kg/cm2), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (pink), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (2.4028 tonf/m³) and Mass per Unit Volume (0.245014 tonf-s³/m⁴). The 'Mechanical Property Data' section includes Modulus of Elasticity, E (1898370.4 tonf/m²), Poisson's Ratio, U (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (0.000099 1/C), and Shear Modulus, G (790987.67 tonf/m²). The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button.

Nota. La figura muestra los datos del hormigón.

Figura 28.

Datos a ingresar del acero de refuerzo

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for reinforcement steel. It is divided into several sections: 'General Data', 'Material Weight and Mass', 'Mechanical Property Data', 'Design Property Data', and 'Advanced Material Property Data'. The 'General Data' section includes fields for Material Name (As fy=4200kg/cm2), Material Type (Rebar), Directional Symmetry Type (Uniaxial), Material Display Color (blue), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (7.849 tonf/m³) and Mass per Unit Volume (0.80038 tonf-s³/m⁴). The 'Mechanical Property Data' section includes Modulus of Elasticity, E (20389019.16 tonf/m²) and Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000117 1/C). The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button. The 'Advanced Material Property Data' section includes 'Nonlinear Material Data' and 'Material Damping Properties' buttons.

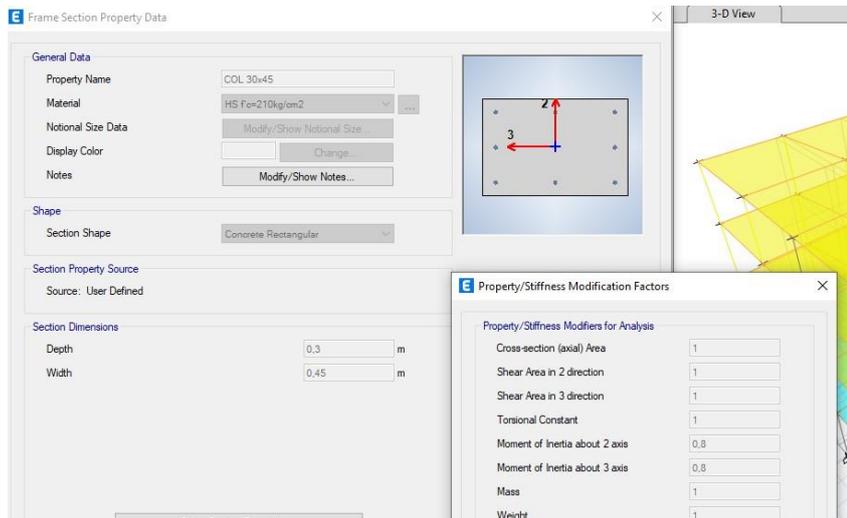
Nota. La figura muestra los datos del acero de refuerzo.

- **Geometría de secciones**

En la geometría de secciones se presenta las columnas y losa, esto se encuentra en la Figura 29 y Figura 30 respectivamente.

Figura 29.

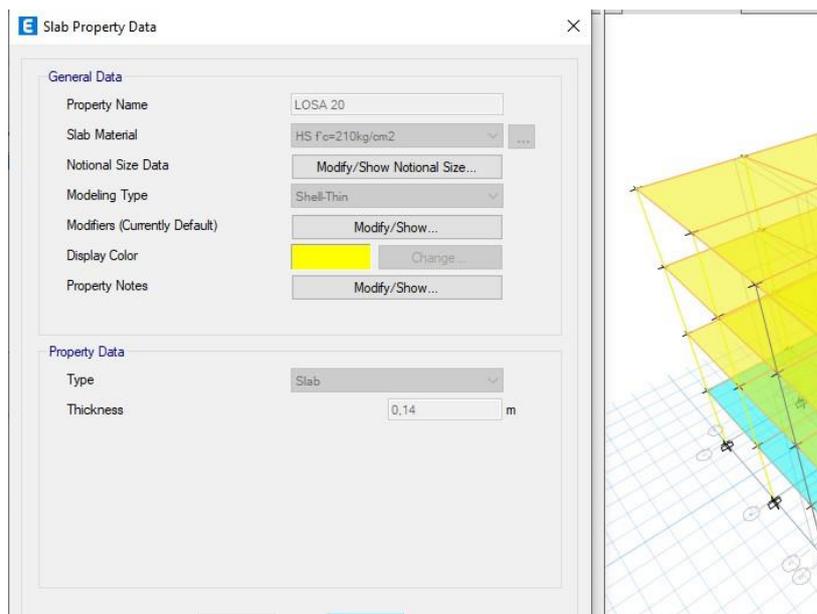
Datos de geometría de col 45x30



Nota. La figura muestra los datos del acero de refuerzo.

Figura 30.

Datos de geometría losa 20



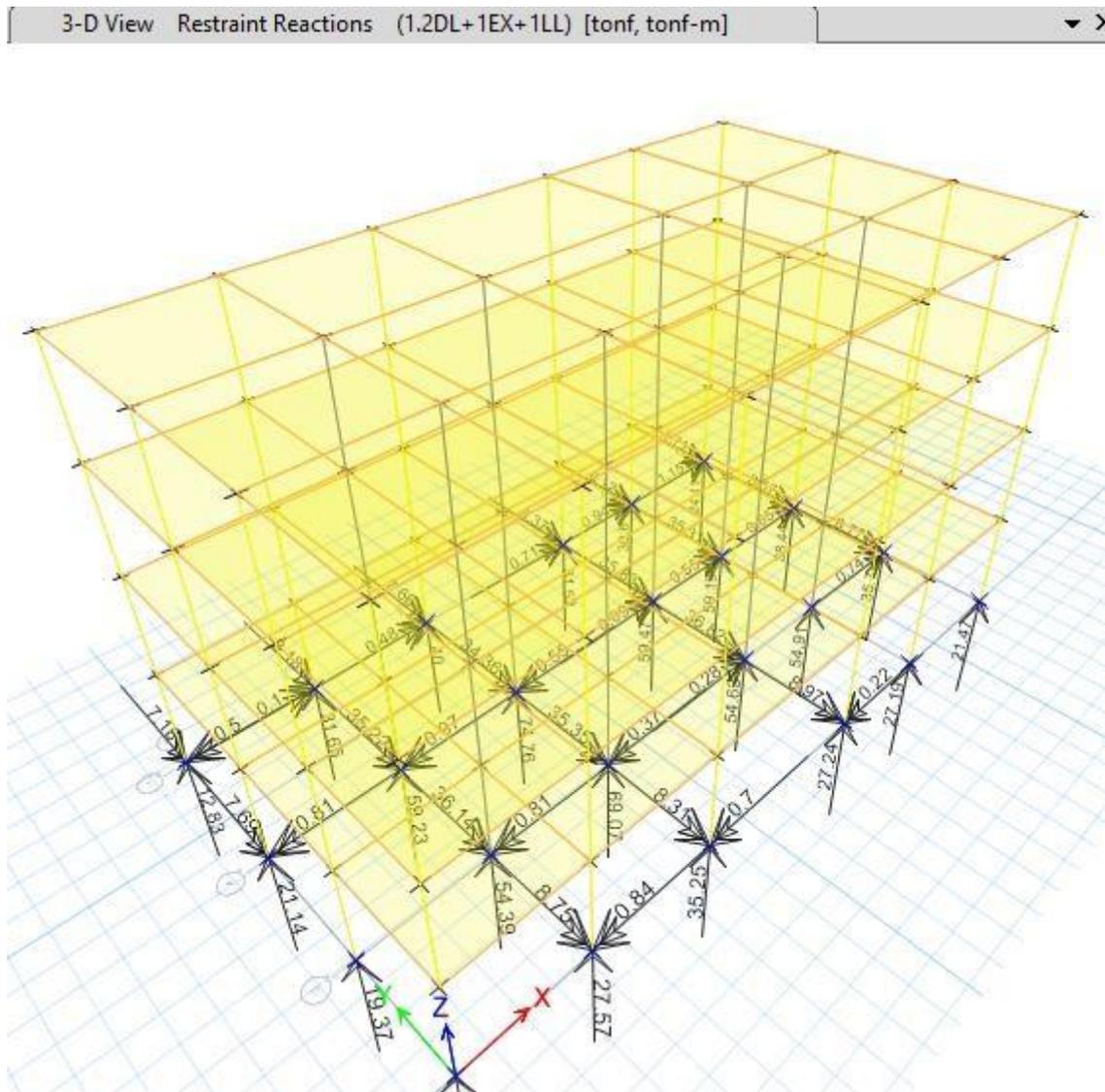
Nota. La figura muestra los datos del acero de refuerzo.

- **Reacciones en la base para diseño de cimentación**

La Figura 31 presenta la vista de las reacciones en la base de la edificación:

Figura 31.

Vista de reacciones en la base para diseño de cimentación



Nota. La figura muestra las reacciones en la base.

Asimismo, se presenta en la Tabla 10 las reacciones en la base de la edificación para el diseño de la cimentación:

Tabla 10.*Reacciones en la base*

TABLE: Joint Reactions									
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Num	FX	FY	FZ
							tonf	tonf	tonf
Base	38	37	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-0.1547	0.2088	11.199
Base	7	1	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-3.4962	0.2305	12.8328
Base	8	3	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.6268	-0.3303	31.6515
Base	9	5	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.0451	-0.6496	40.0024
Base	10	7	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.8484	-0.734	31.515
Base	11	9	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.5662	-0.8789	30.603
Base	12	11	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.1047	-0.9756	24.1133
Base	14	14	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-3.9765	0.5757	21.1433
Base	16	27	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-17.4067	0.0162	59.4689
Base	23	35	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-16.7785	-0.3051	59.1911
Base	24	23	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.9611	-0.4061	38.4397
Base	31	34	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-0.2284	0.1405	19.3731
Base	32	17	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-17.293	0.5348	54.3882
Base	39	26	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-0.6706	0.1721	27.1876
Base	40	33	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-0.4377	0.0629	21.4665
Base	50	19	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-15.7117	0.4447	74.76
Base	1	13	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-16.7369	0.7203	59.2348
Base	2	21	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-16.3656	0.2462	69.0689
Base	3	29	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-17.9926	-0.197	54.6319
Base	6	38	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-5.0605	-0.5	35.6994
Base	17	54	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.4806	0.6931	35.2475
Base	18	56	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-4.9802	0.7333	27.5693
Base	19	58	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-5.2039	0.3213	27.2395
Base	20	25	1.2DL+1EX+1LL	Combination			-0.3847	-0.124	54.9069

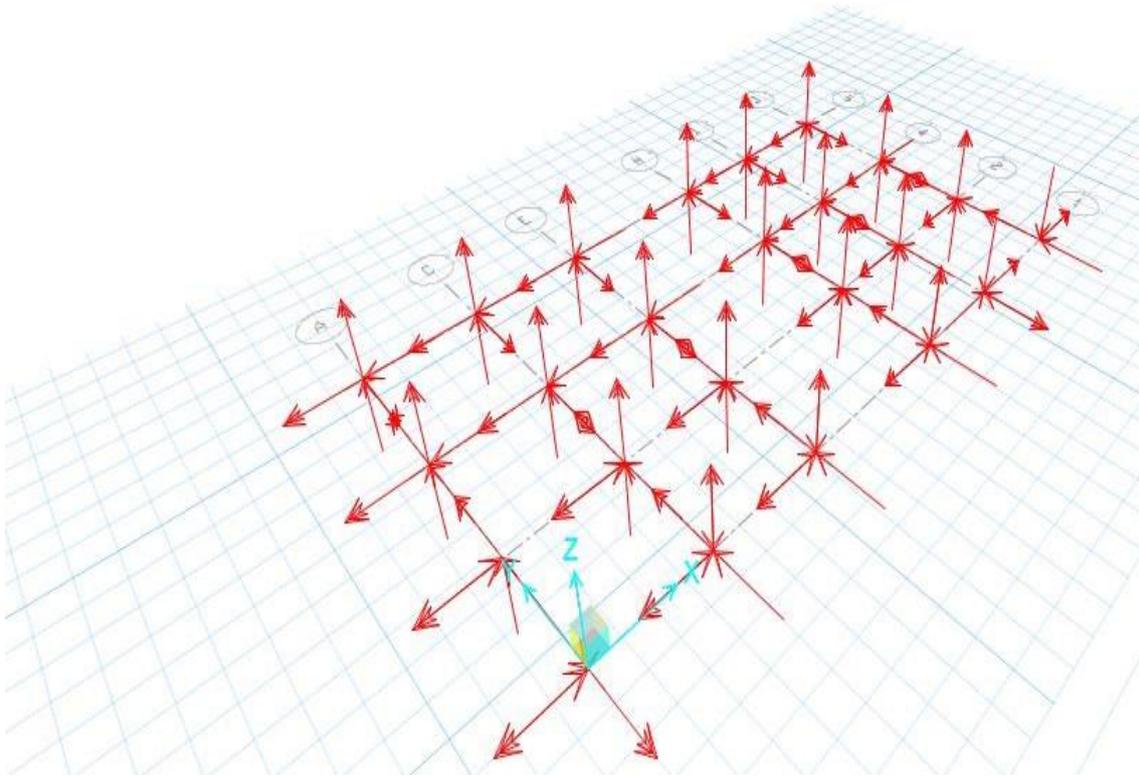
Nota. La figura muestra los datos del acero de refuerzo.

- **Importación de datos a programa SAFE**

Los datos ingresados se ingresaron al programa SAFE y se observa las cargas puntuales (Figura 32):

Figura 32.

Perfectiva de las cargas puntuales (modal – modo 1)



Nota. La figura muestra las cargas puntuales.

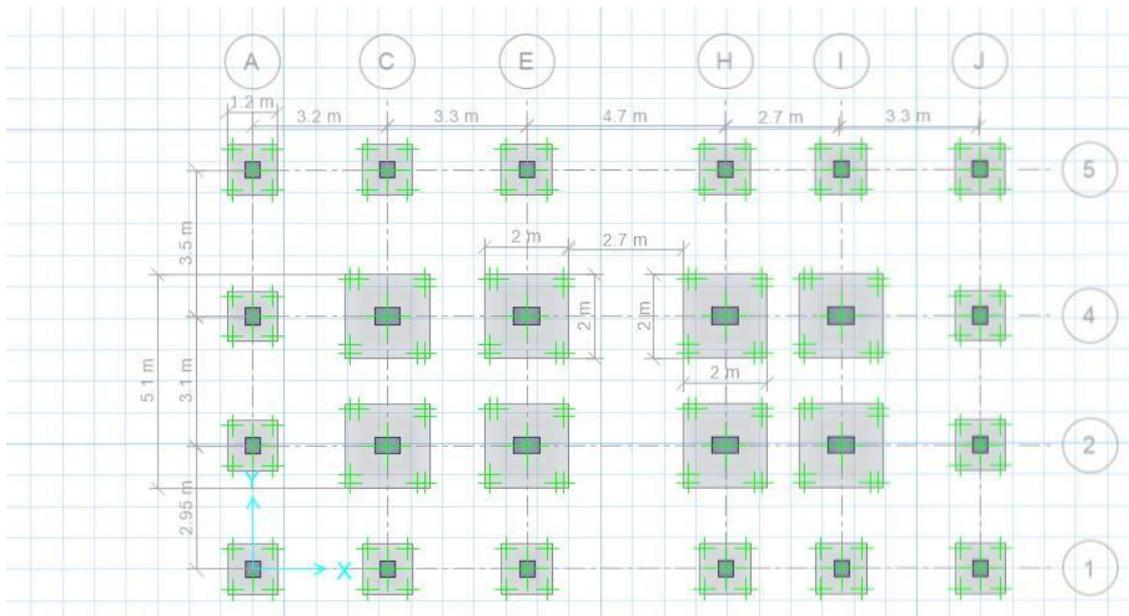
Modelado de cimentaciones

Cimentaciones aisladas

En este caso se presenta el modelo de las cimentaciones aisladas, partiendo con la vista de plano, 3D, presión de suelo, deformación, armado de plintos sentido Y – X. En la Figura 33 y Figura 34 se observa la vista del plano y 3D de la cimentación aislada respectivamente.

Figura 33.

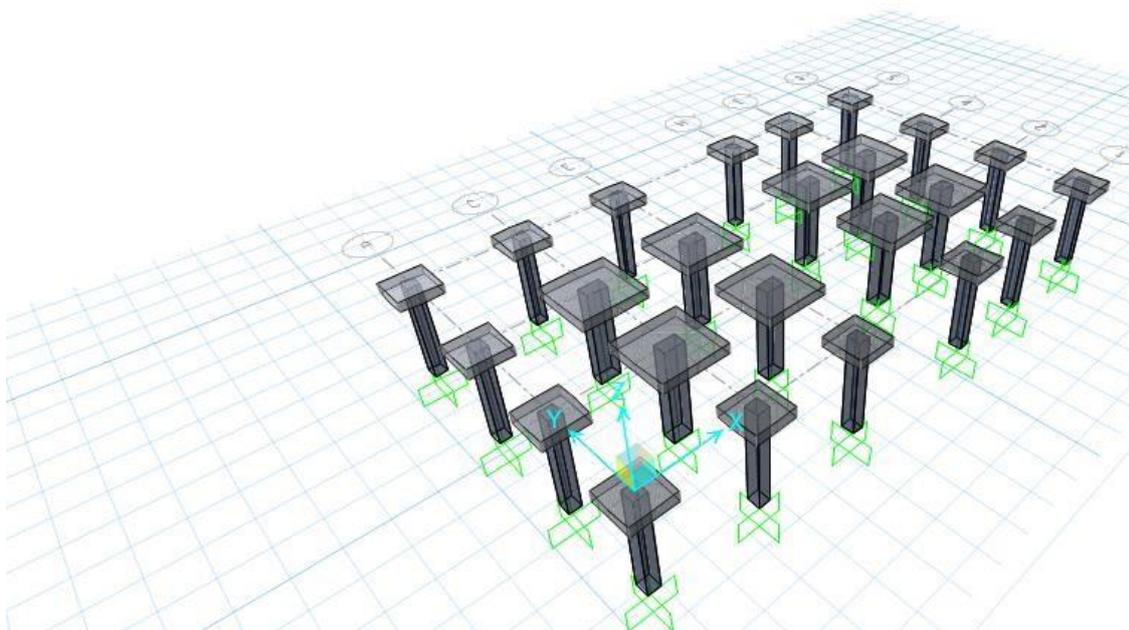
Vista de plano de cimentaciones aisladas



Nota. La figura muestra el plano de las cimentaciones.

Figura 34.

Vista 3D de cimentaciones aisladas

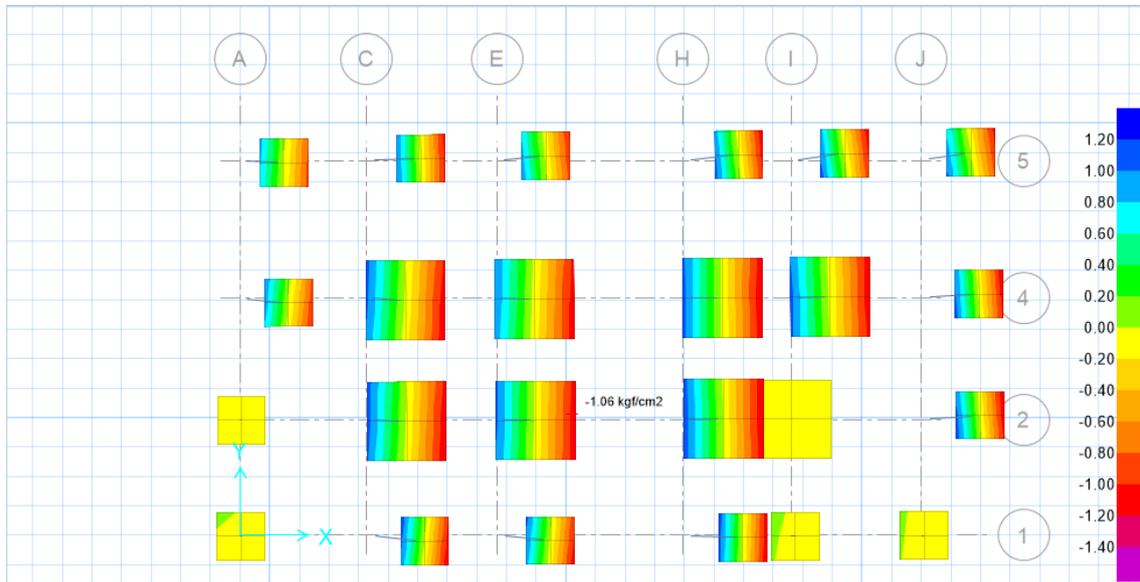


Nota. La figura la vista en 3D de las cimentaciones

De igual manera, en la Figura 35 y Figura 36 se observa la presión del suelo y su deformación respectivamente.

Figura 35.

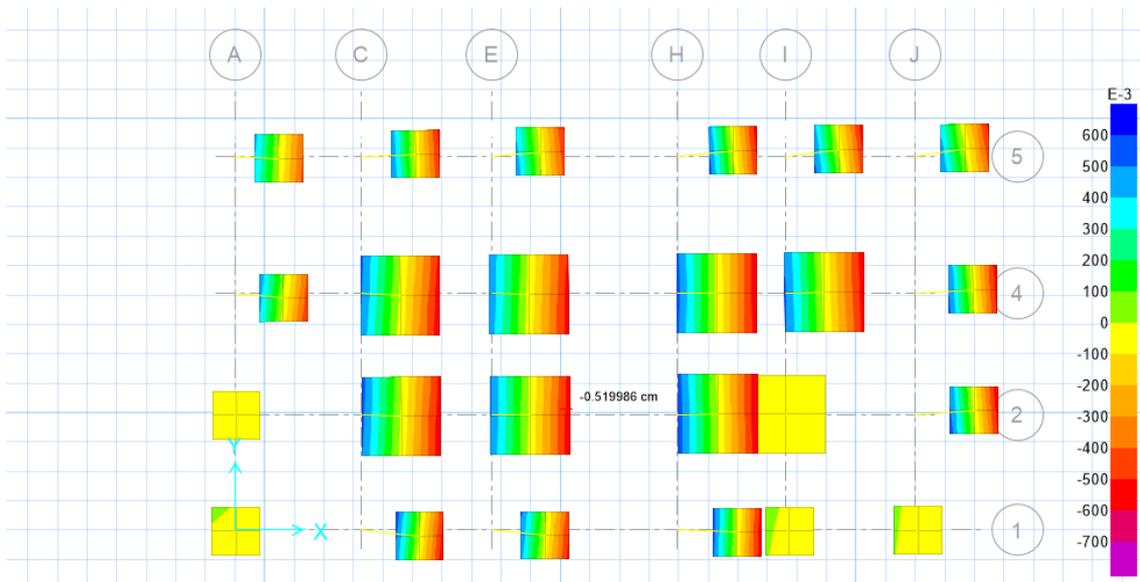
Presión del suelo en cimentaciones aisladas



Nota. La figura muestra la presión del suelo.

Figura 36.

Deformación en cimentaciones aisladas

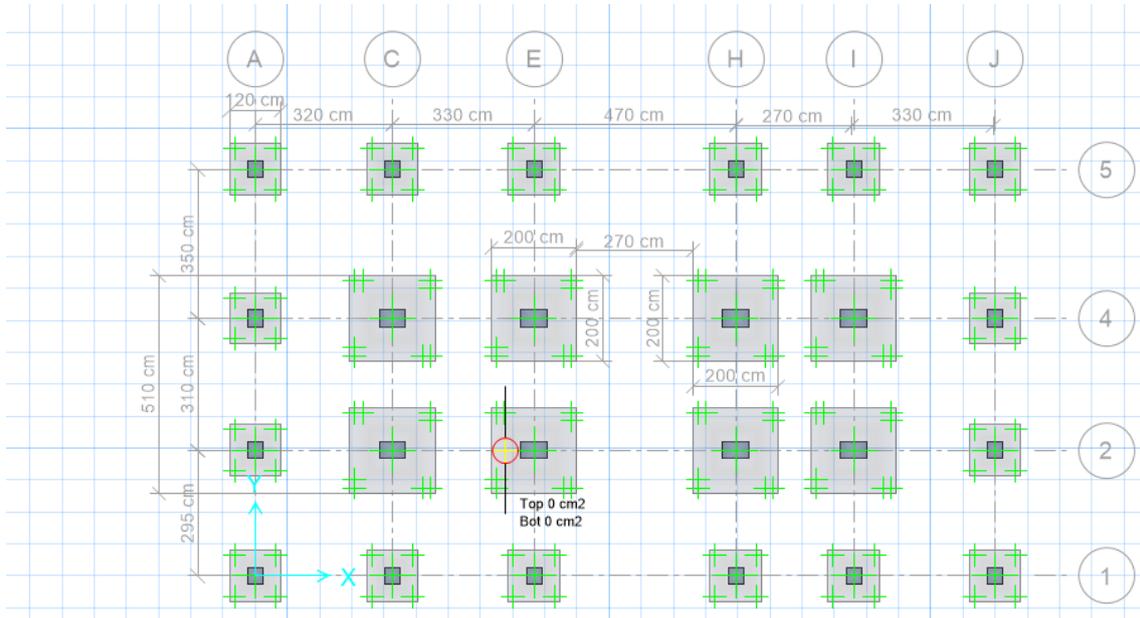


Nota. La figura muestra la deformación.

Por último, se muestra el modelado de armado de pilotes sentido Y (Figura 37) y sentido X (Figura 38):

Figura 37.

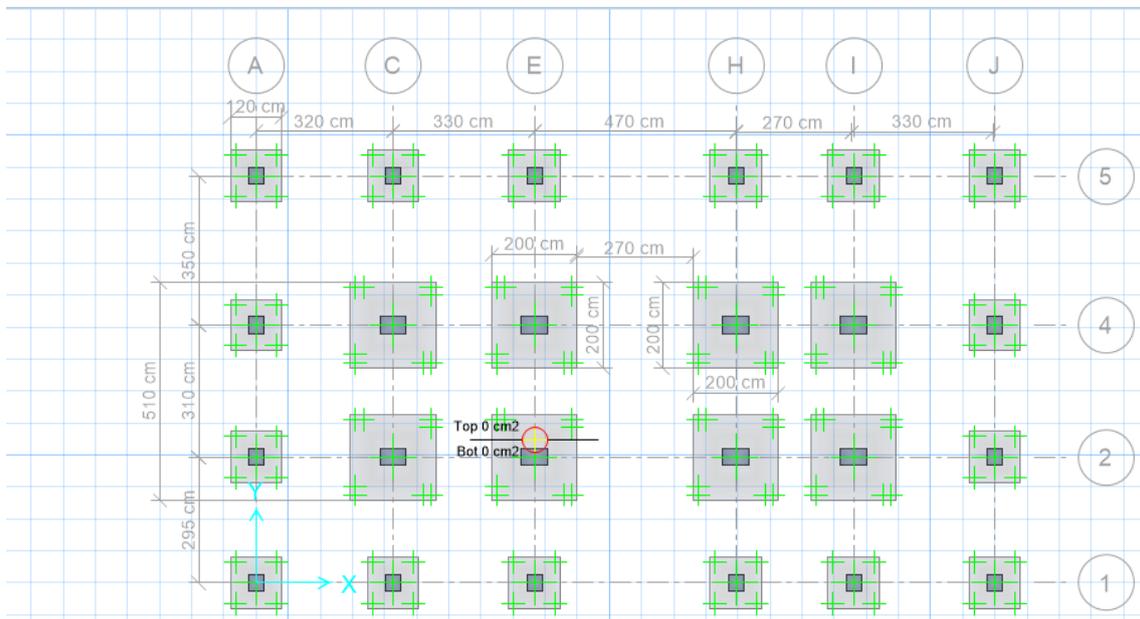
Armado de plintos sentido X cimentación aislada



Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido X.

Figura 38.

Armado de plintos sentido Y cimentación aislada



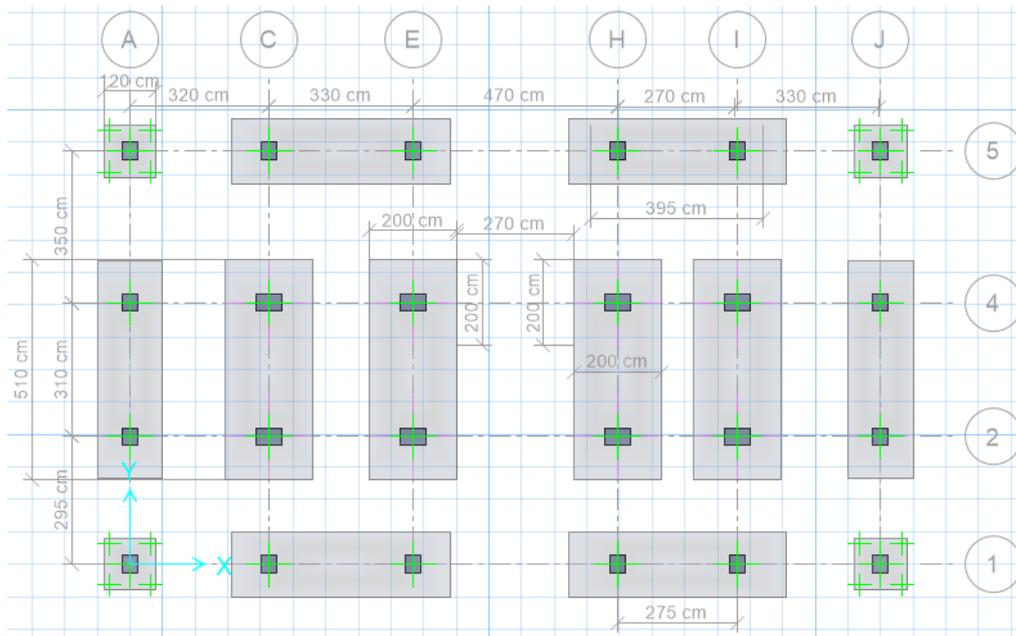
Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido Y.

Cimentaciones combinadas

Asimismo, se presenta el modelo de las cimentaciones combinadas. En la Figura 39 y Figura 40 se observa la vista del plano y 3D de la cimentación aislada respectivamente.

Figura 39.

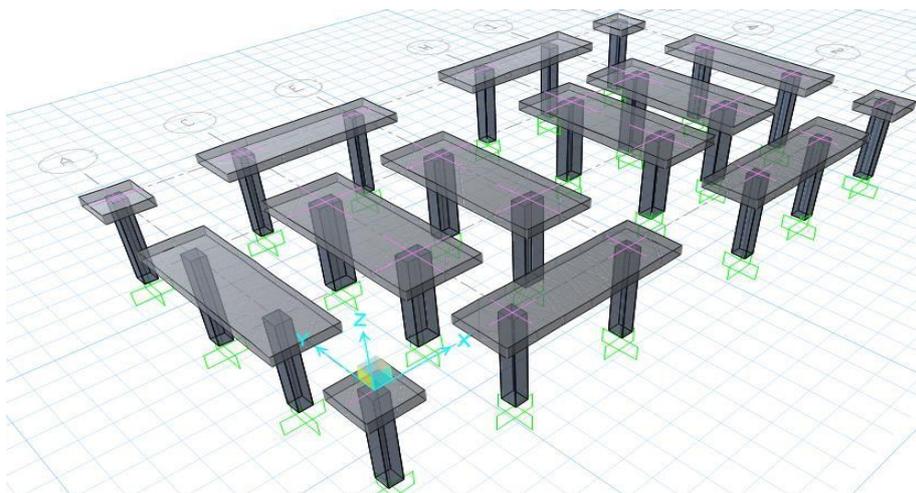
Vista de plano de cimentaciones combinadas



Nota. La figura muestra el plano de las cimentaciones.

Figura 40.

Vista 3D de cimentaciones combinadas

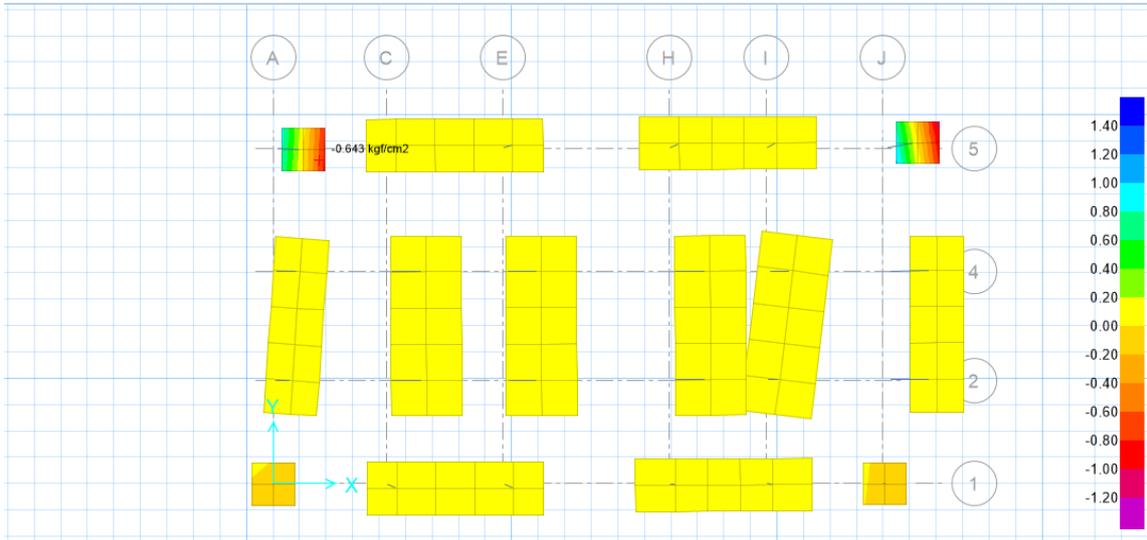


Nota. La figura la vista en 3D de las cimentaciones

De igual manera, en la Figura 41 y Figura 42 se observa la presión del suelo y su deformación respectivamente.

Figura 41.

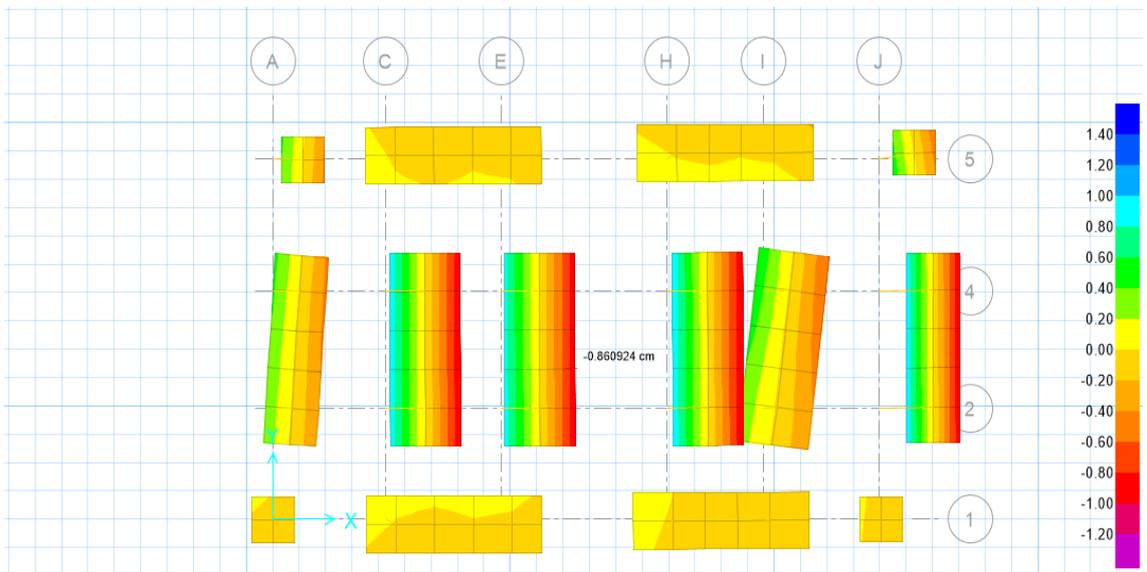
Presión del suelo en cimentaciones combinadas



Nota. La figura muestra la presión del suelo.

Figura 42.

Deformación en cimentaciones combinadas

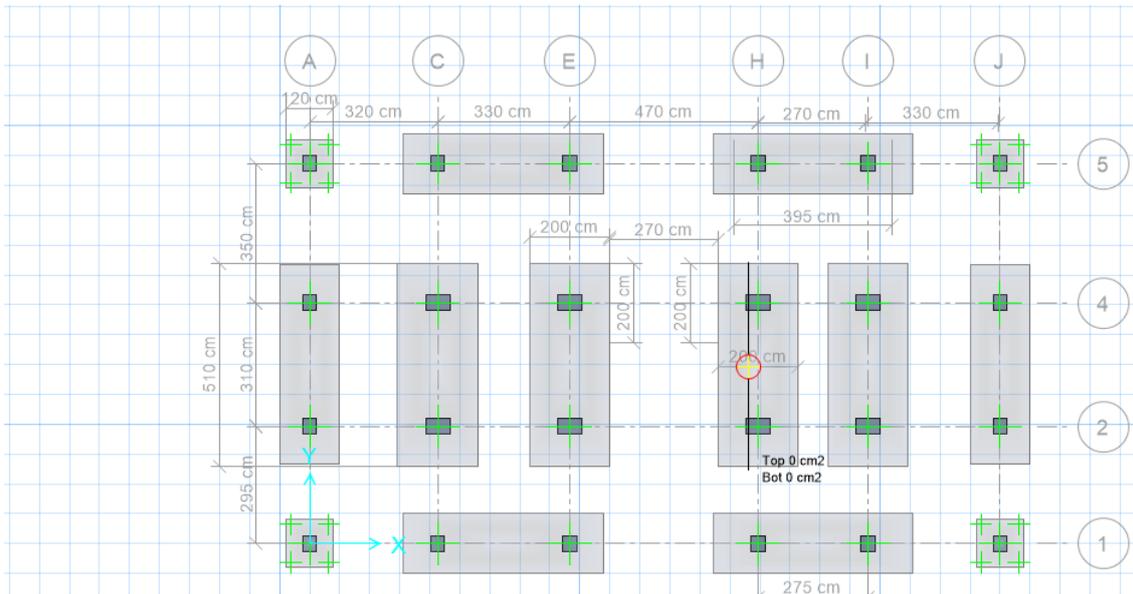


Nota. La figura muestra la deformación.

En la Figura 43 y Figura 44 se presenta el armado de plintos sentido Y así como C de cimentación combinada.

Figura 43.

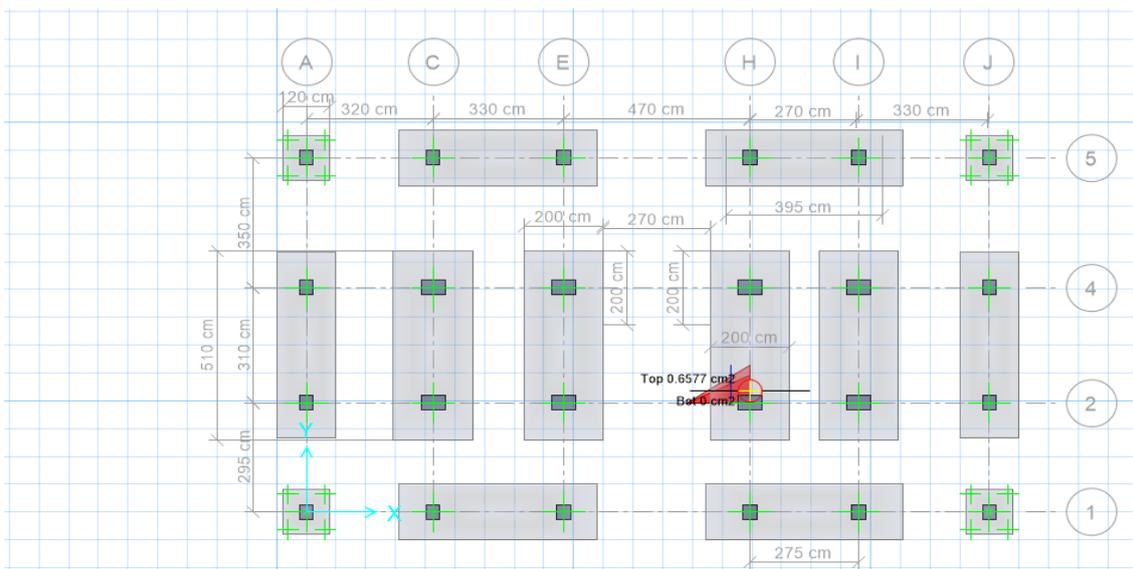
Armado de plintos sentido Y cimentación combinada



Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido Y.

Figura 44.

Armado de plintos sentido X cimentación combinada



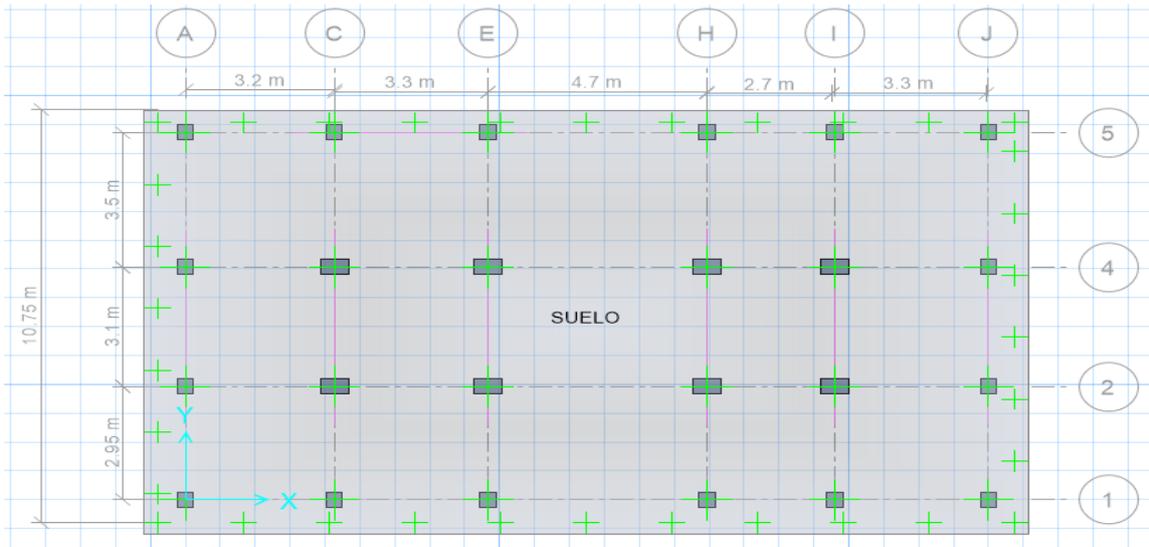
Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido X.

Losa de cimentaciones

Además, se presenta la vista de plano de cimentación combinada y la vista 3D de la cimentación combinada de la losa de cimentaciones en las Figura 45 y Figura 46 respectivamente.

Figura 45.

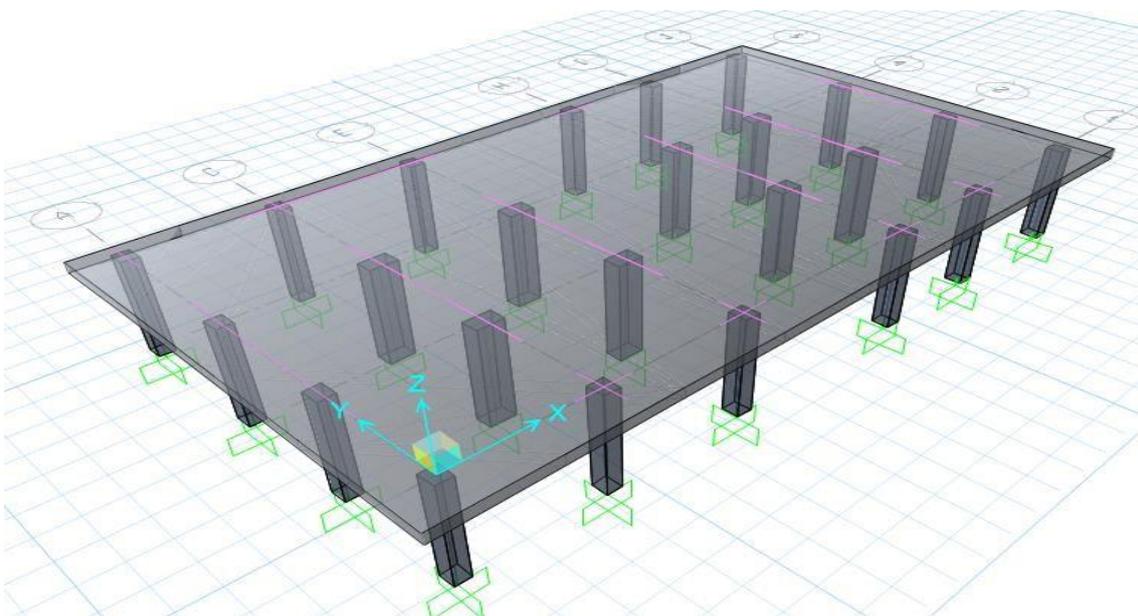
Vista de plano de losa de cimentación



Nota. La figura muestra la vista de plano de losa de cimentación

Figura 46.

Vista 3D de losa de cimentación

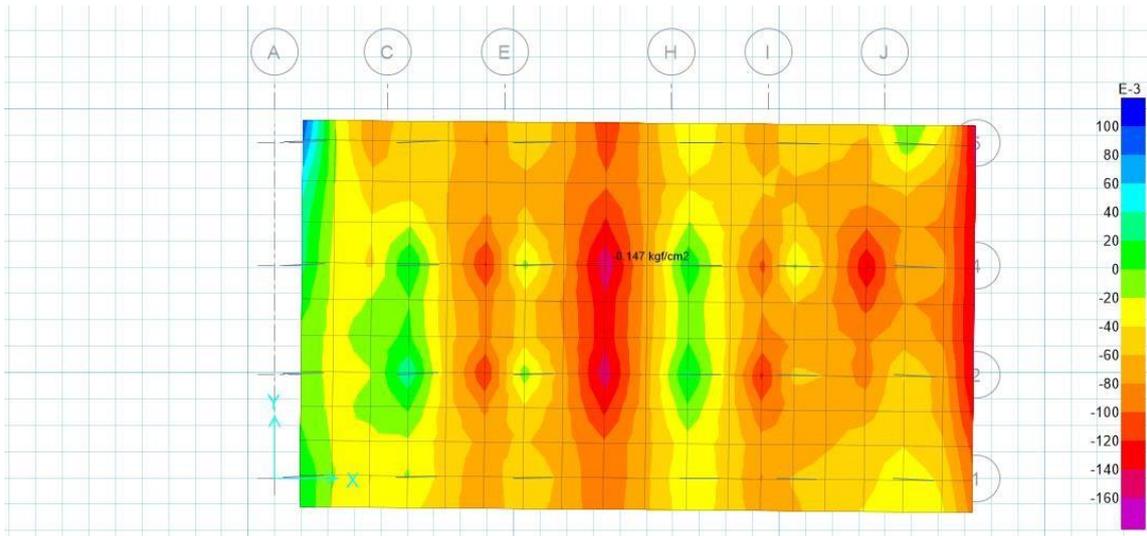


Nota. La figura muestra la vista 3D de losa de cimentación.

De igual manera, en la Figura 47 y Figura 48 se observa la presión del suelo y su deformación respectivamente.

Figura 47.

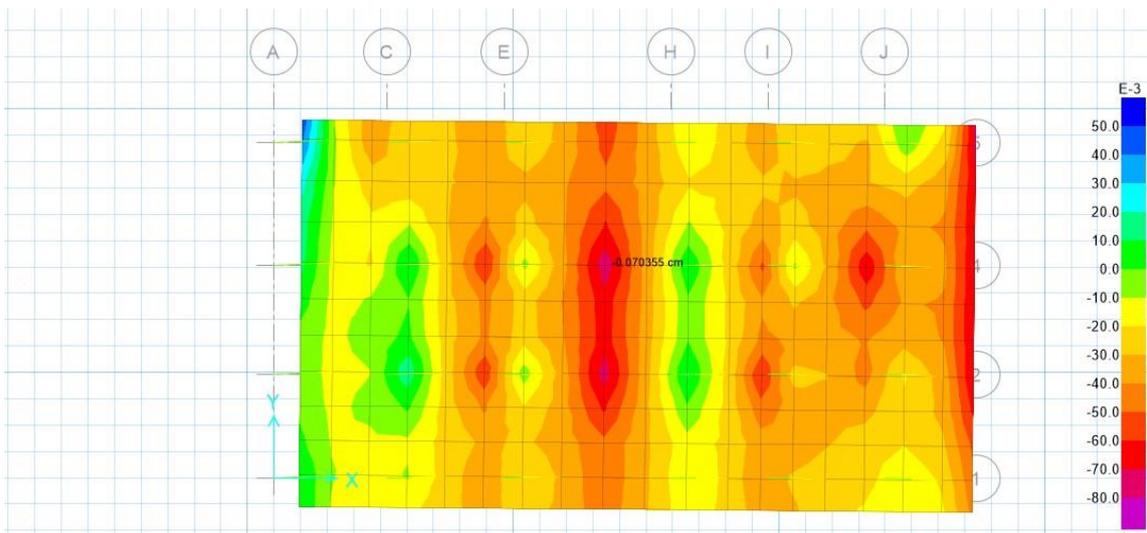
Presión del suelo en losa de cimentación.



Nota. La figura muestra la presión del suelo.

Figura 48.

Deformación en losa de cimentación

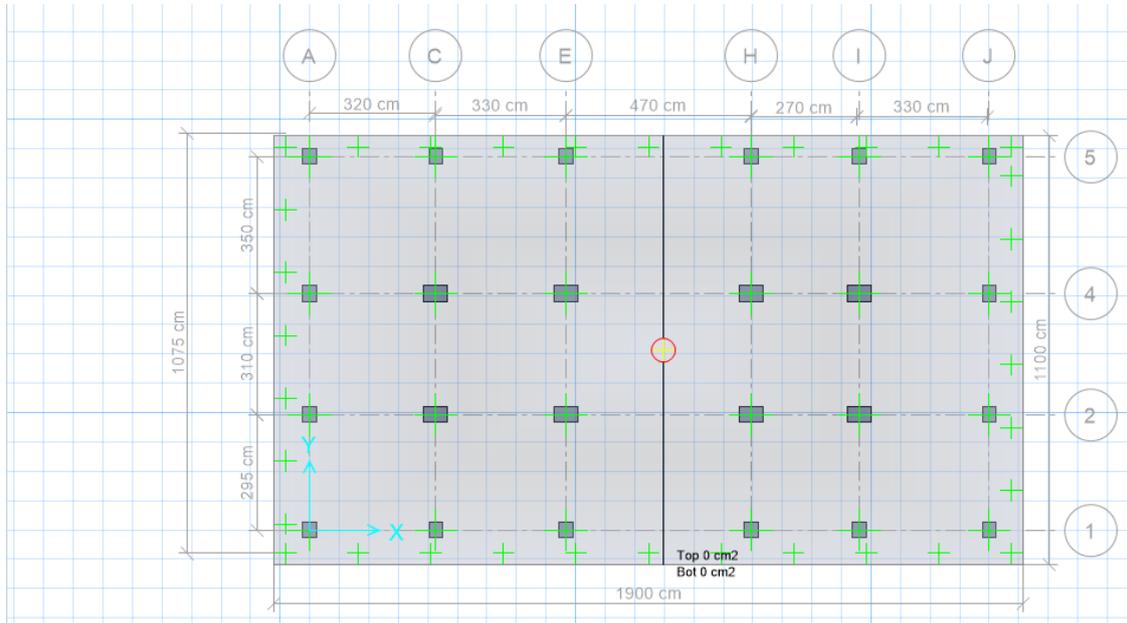


Nota. La figura muestra las deformaciones.

También se muestra el modelado de armado de plintos sentido Y (Figura 49) y sentido X (Figura 50):

Figura 49.

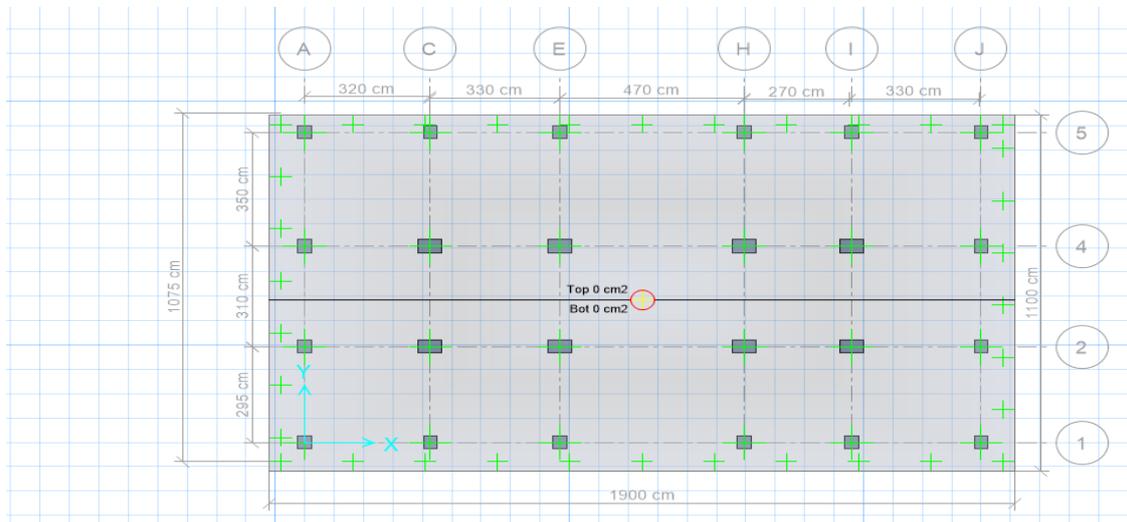
Armado de plintos sentido Y losa de cimentaciones



Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido Y losa de cimentaciones.

Figura 50.

Armado de plintos sentido X losa de cimentaciones



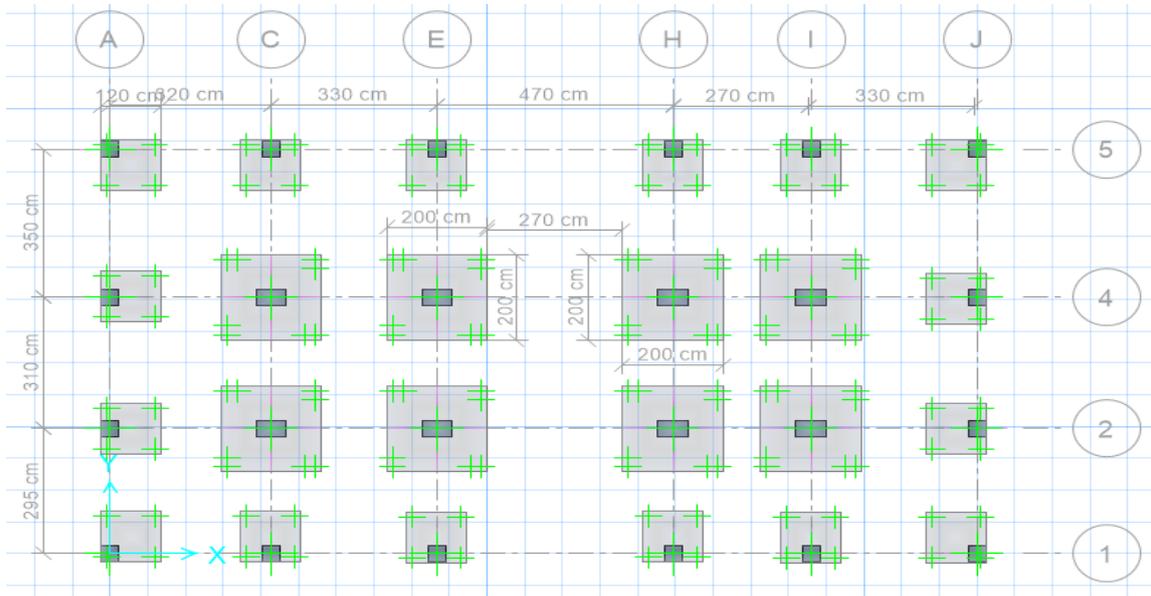
Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido X losa de cimentaciones.

Cimentación medianera

Asimismo, se presenta el modelo de la cimentación medianera. En la Figura 51 y Figura 52 se observa la vista del plano y 3D de la cimentación medianera respectivamente.

Figura 51.

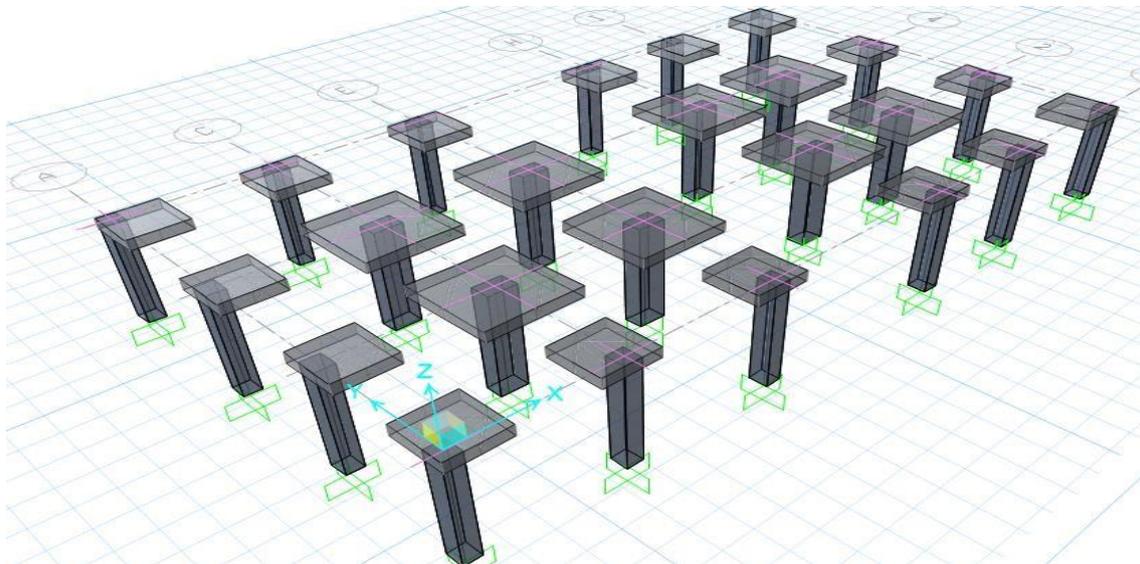
Vista de plano de cimentación medianera



Nota. La figura muestra la vista de plano de cimentación medianera.

Figura 52.

Vista 3D de cimentación medianera

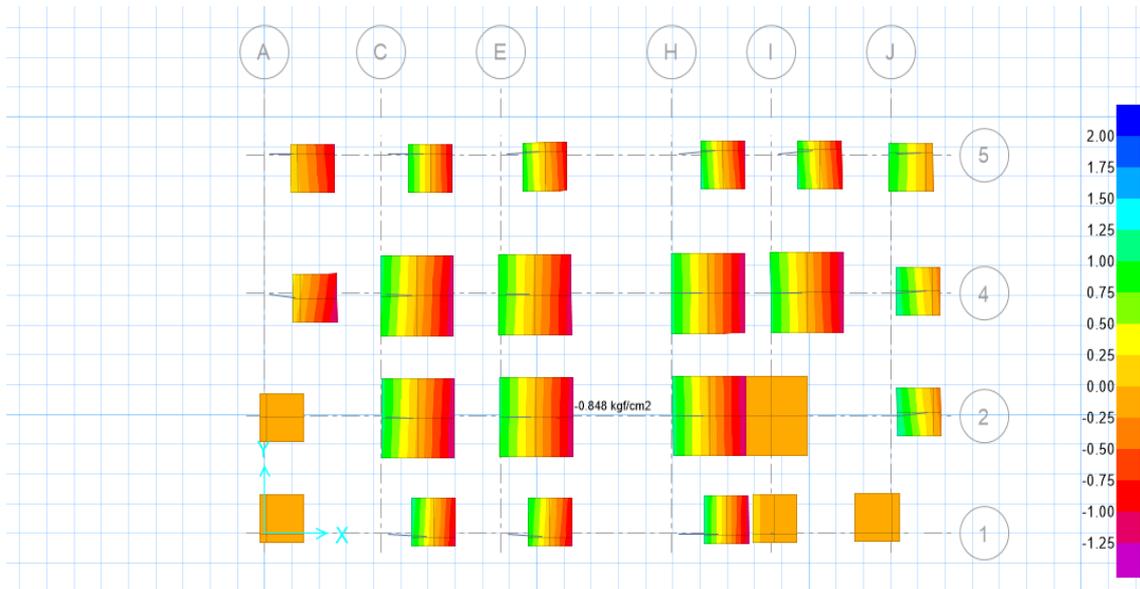


Nota. La figura muestra la vista 3D de cimentación medianera.

De igual manera, en la Figura 53 y Figura 54 se observa la presión del suelo y su deformación respectivamente.

Figura 53.

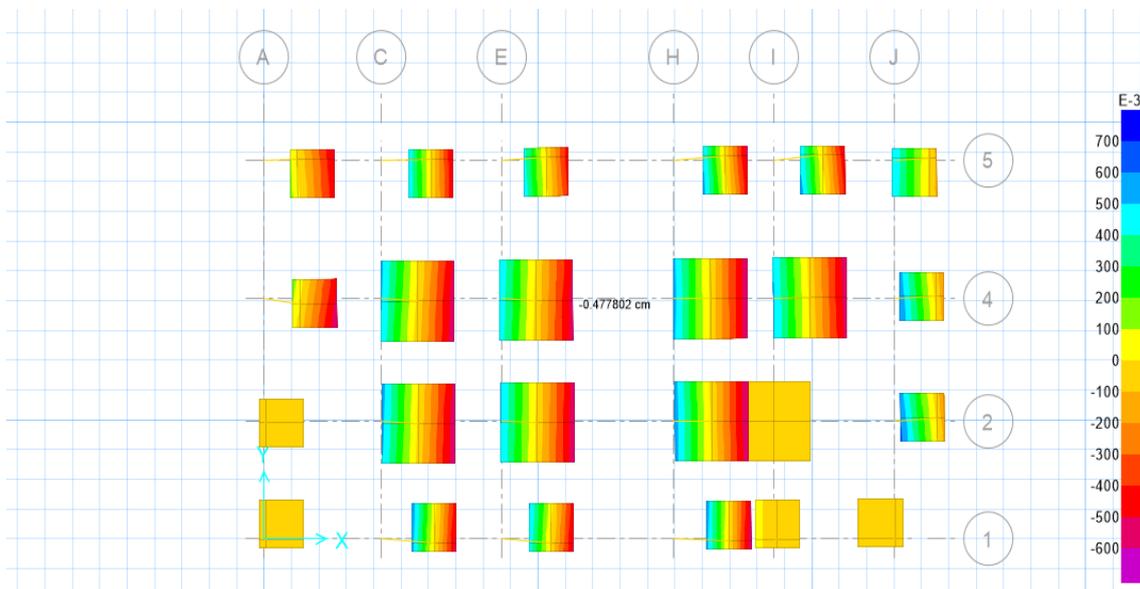
Presión del suelo en cimentación medianera.



Nota. La figura muestra la presión del suelo.

Figura 54.

Deformación en cimentación medianera

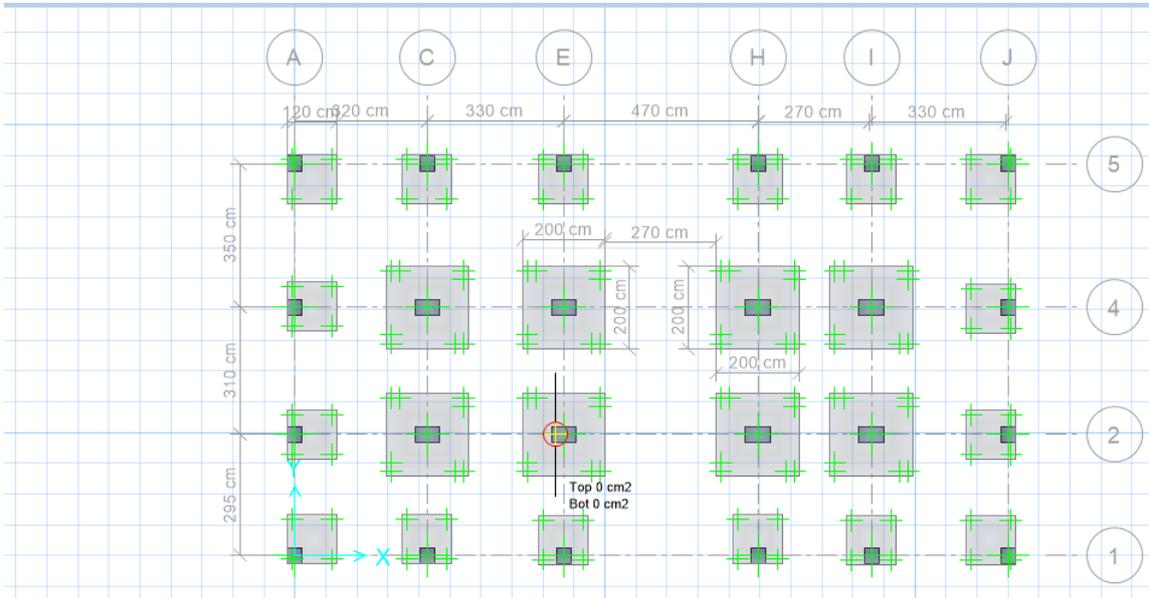


Nota. La figura muestra la deformación.

También se muestra el modelado de armado de plintos sentido Y (Figura 55) y sentido X (Figura 56):

Figura 55.

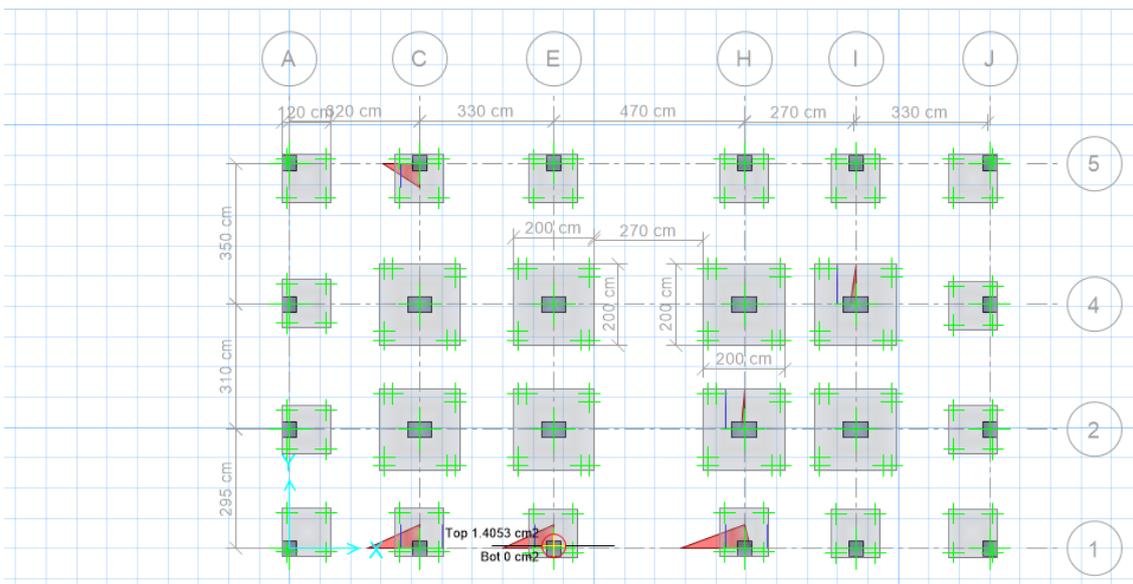
Armado de plintos sentido Y cimentación medianera



Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido Y cimentación medianera.

Figura 56.

Armado de plintos sentido X cimentación medianera



Nota. La figura muestra el armado de plintos sentido X cimentación medianera.

Cargas obtenidas de programa ETABS

En la Figura 57 y Figura 58 se presenta las cargas y su respectivo plano.

Figura 57.

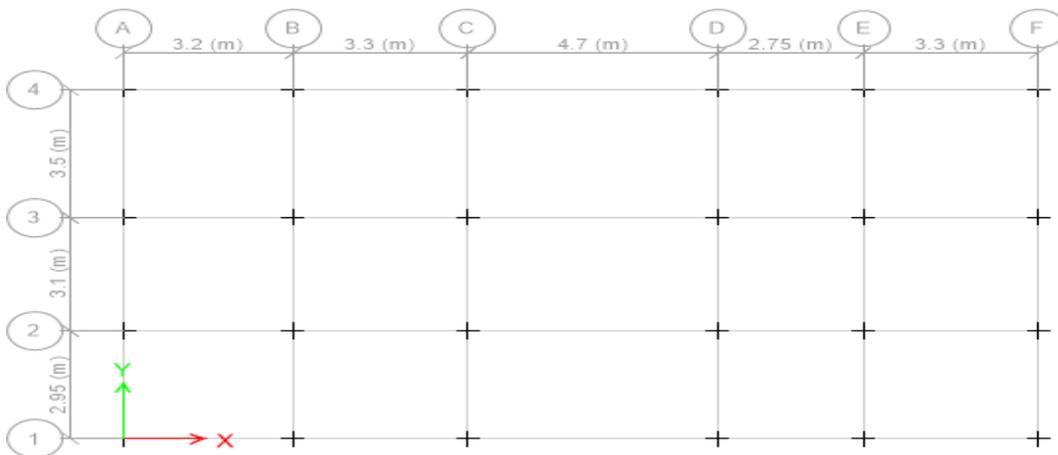
Cargas obtenidas en el programa ETABS

	A	B	C	D	E	F
4	19.95	34.34	41.76	39.27	32.16	20.52
	0.35	0.6	0.7	0.65	0.53	0.3
	0.31	0.01	0.3	0.38	0.12	0.33
3	32.62	66.08	78.99	74.14	61.97	33.59
	0.09	0.21	0.26	0.27	0.26	0.15
	0.51	0.03	0.66	0.73	0.28	0.53
2	30.05	60.91	72.53	68.15	57.18	30.96
	0	0.04	0.06	0.08	0	0.08
	0	0.06	0.66	0.65	0	0.49
1	17.73	29.9	36.29	34.16	28.1	18.23
	0	0.45	0.54	0.53	0	0
	0	0.01	0.3	0.32	0	0

Nota. La figura muestra las cargas.

Figura 58.

Vista de plano cargas



Nota. La figura muestra el plano de cargas puntuales.

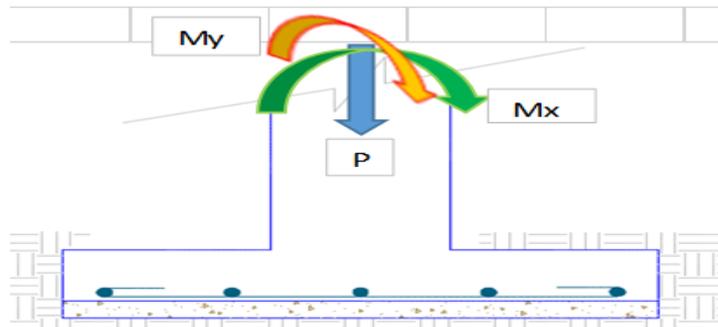
Diseño de cimentaciones

Diseño cimentación aislada

A continuación, se presenta el diseño de cimentación aislada:

Figura 59.

Diseño de cimentación aislada



Nota. La figura muestra la cimentación aislada

- **Carga de servicio**

Tipo: plinto perimetral (C3)

Datos:

$$P = 41,76 T \rightarrow C4$$

$$Mx = 0,7 T - m$$

$$My = 0,3 T - m$$

$$Qa = 18,00 T/m^2$$

$$A = \frac{P}{q_a} = 2,32 m^2$$

$$L = 1,60 m \quad b = 1,60 m$$

$$Ac = 2,56 m^2 \quad 1,00 X/Y$$

- **Excentricidades**

$$e_x = \frac{My}{P} = 0.007 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{Mx}{P} = 0.017 \text{ m}$$

- **Verificación de ubicación en tercio medio**

$$e_x < b/6$$

$$0.72 < 26.67$$

$$e_y < L/6$$

$$1.68 < 26.67$$

Tanto en e_x y e_y se verifica que cumple con la ubicación en tercio medio.

$$q_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 17.78 \text{ T/m}^2 \text{ OK}$$

$$q_1 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 17.78 \text{ T/m}^2$$

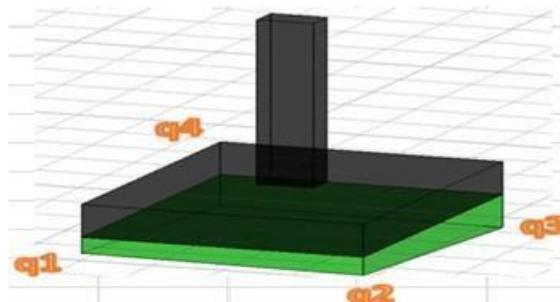
$$q_2 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 16.90 \text{ T/m}^2$$

$$q_3 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 15.73 \text{ T/m}^2$$

$$q_4 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 14.85 \text{ T/m}^2$$

Figura 60.

Verificación de ubicación de cimentación aislada



Nota. La figura muestra la verificación de ubicación.

El esfuerzo de resistencia del hormigón es:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 0.5\sqrt{f'c} = 7.25 \text{ kg/cm}^2 \text{ o } 72.46 \text{ T/m}^2$$

- **Cálculo de d por punzonamiento**

$$b_o = 3t + 2d = 105.00 + 2 * d$$

$$41760.00 = 13.55 * b_o * d$$

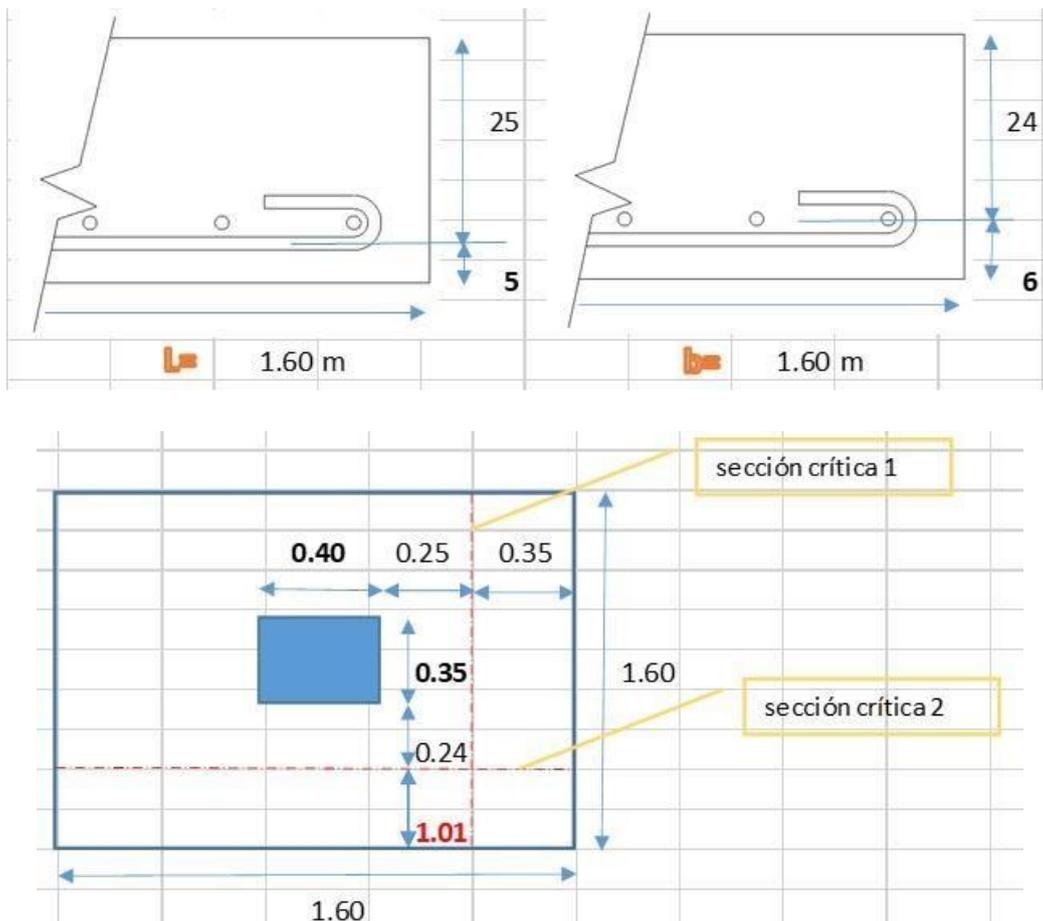
$$d = 23.91 \text{ cm}$$

- **Diseño por cortante tipo viga**

$$h_{\text{plinto}} = 30 \text{ cm}$$

Figura 61.

Diseño por cortante tipo viga



Nota. La figura muestra el diseño por cortante

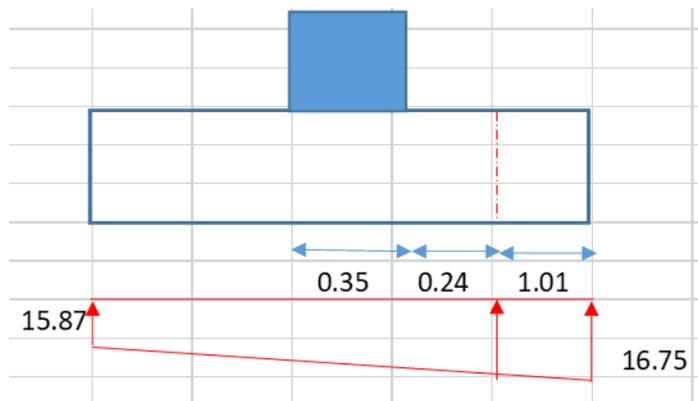
$$q_{\text{máx}} = \frac{Pu}{A} \left(1 + \frac{6e_x}{b}\right) = 16.75 \text{ T/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = \frac{Pu}{A} \left(1 + \frac{6e_x}{b}\right) = 15.87 \text{ T/m}^2$$

Sección crítica 1

Figura 62.

Sección crítica 1 de cortante tipo viga



Nota. La figura muestra el diseño por cortante

$$0.88 \quad 2.85$$

$$x \quad 1.84$$

Entonces la fuerza cortante es 16.44 T/m².

$$Vu = \left(\frac{16.44 + 16.75}{2}\right)(1.01)(1.60) = 26.819 \text{ T}$$

$$Vu = \frac{Vu}{\phi b.d} = 8.22 \text{ T/m} \quad \mathbf{OK}$$

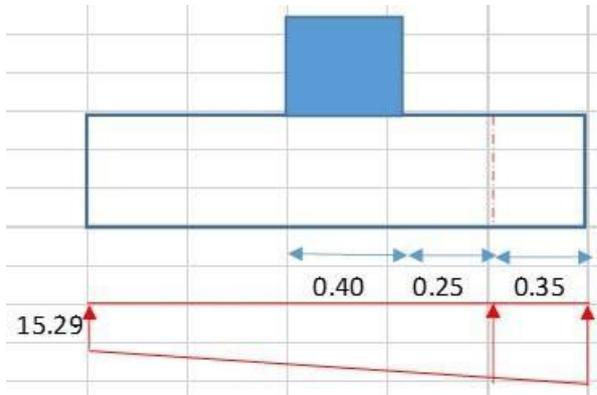
$$q_{\text{máx}} = \frac{Pu}{A} \left(1 + \frac{6e_y}{L}\right) = 17.34 \text{ T/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = \frac{Pu}{A} \left(1 + \frac{6e_y}{L}\right) = 15.29 \text{ T/m}^2$$

Sección crítica 2

Figura 63.

Sección crítica 2 de cortante tipo viga



Nota. La figura muestra el diseño por cortante

$$2.05 \quad 1.60$$

$$x \quad 1.25$$

Entonces la fuerza cortante es 16.89 T/m^2 .

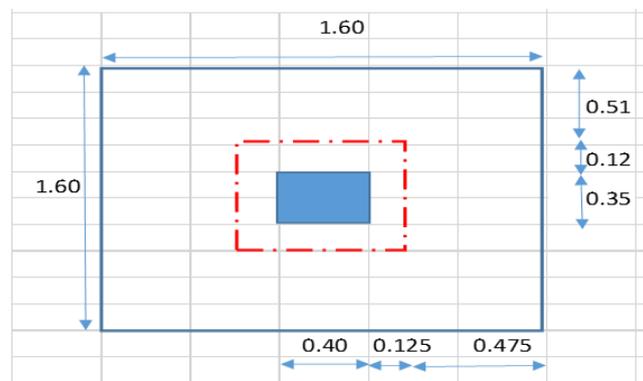
$$V_u = \left(\frac{16.89 + 17.34}{2} \right) (0.35)(1.60) = 9.5836 \text{ T}$$

$$V_u = \frac{V_u}{\phi b.d} = 2.82 \text{ T/m} \quad \text{OK}$$

- **Diseño a cortante por punzonamiento**

Figura 64.

Diseño a corte por punzonamiento



Nota. La figura muestra el diseño por punzonamiento

$$\bar{q} = \frac{Pu}{A} = 16.31 \text{ T/m}^2$$

$$Vu = 35.504 \text{ T} \rightarrow \text{fuerza cortante}$$

$$Vu = \frac{Vu}{\phi b \cdot d} = 68.677 \text{ T/m}^2$$

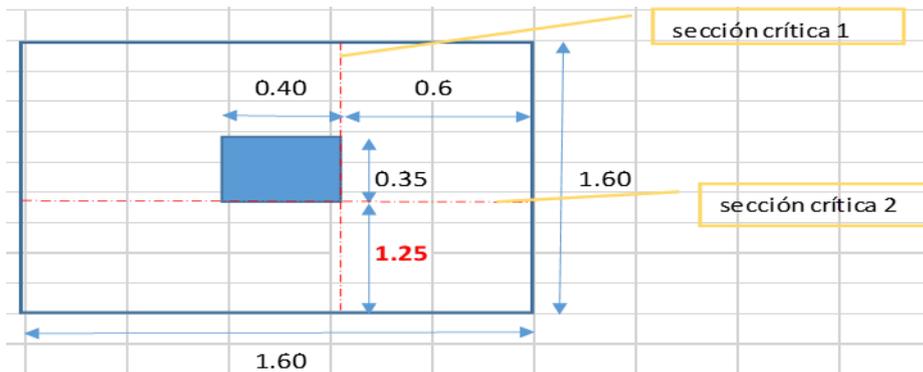
$$Vc = \sqrt{f'c} = \sqrt{210}$$

$$Vc = 144.91 \text{ T/m}^2 \text{ entonces OK}$$

- **Diseño a flexión**

Figura 65.

Diseño a flexión sentido Y

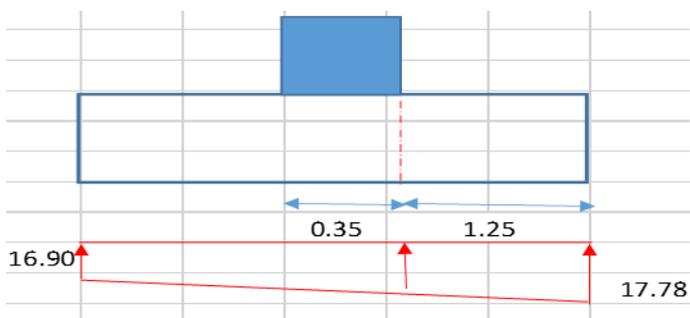


Nota. La figura muestra el diseño a flexión

Sección crítica 1

Figura 66.

Sección crítica 1 de diseño a flexión



Nota. La figura muestra el diseño a flexión

$$0.88 \quad 1.60$$

$$x \quad 1.60$$

$$16.78 \text{ T/m}^2$$

$$0.00$$

Entonces la fuerza cortante es 16.78 T/m^2 .

$$Mu = 13.89 \text{ T} - m$$

$$As = \frac{0.85f'c.b.d}{Fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85\phi f'c.b.d^2}} \right] = 16.10 \text{ cm}^2$$

$$Pmin = \frac{14}{Fy} = 0.0033$$

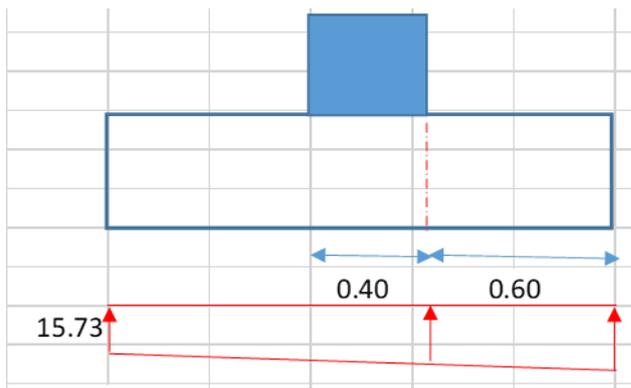
$$AS_{min} = Pmin * b * d = 12.80 \text{ cm}^2$$

mm	Cant. (u)	Área (cm ²)	Área (cm ²)		@
14	11	1.539	16.933	OK	0.15

Sección crítica 2

Figura 67.

Sección crítica 2 de diseño a flexión



Nota. La figura muestra el diseño a flexión

$$2.05 \quad 1.60$$

$$x \quad 1.00$$

$$17.01 \text{ T/m}^2$$

0.77

Entonces la fuerza cortante es 17.01 T/m².

Sentido X

$$Mu = 3.15 T - m$$

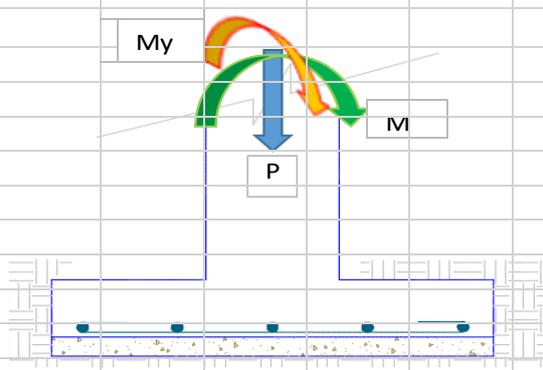
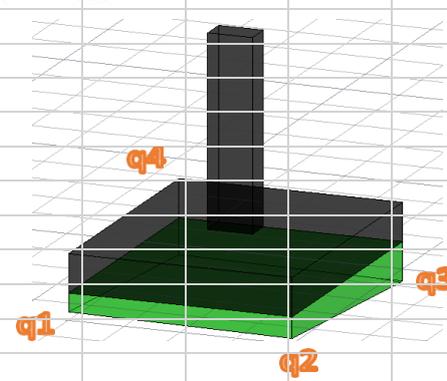
$$As = \frac{0.85f'c.b.d}{Fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85\phi f'c.b.d^2}} \right] = 3.37 \text{ cm}^2$$

$$Pmin = \frac{14}{Fy} = 0.0033$$

$$AS_{min} = Pmin * b * d = 13.33 \text{ cm}^2$$

mm	Cant. (u)	Área (cm2)	Área (cm2)		@
14	10	1.539	15.394	OK	0.16

Diseño cimentación medianera

DISEÑO DE CIMENTACION		D+L+Sx	
		TIPO: PLINTO AISLADO	C3
		DATOS:	
		P= 78.99 T	
		Mx= 0.26 T-m	
		My= 0.66 T-m	
		Qa= 18.00 T/m2	
		$A = \frac{P}{q_a} = 4.39 \text{ m}^2$	
		L= 2.20 m b= 2.20 m	
		Ac= 4.84 m2 1.00 X/Y	
EXCENTRICIDADES			
$e_x = \frac{M_y}{P} = 0.008 \text{ m}$		$e_y = \frac{M_x}{P} = 0.003 \text{ m}$	
VERIFICACION DE UBICACIÓN EN TERCIO MEDIO			
$e_x < b / 6$ 0.84 < 36.67 OK		$e_y < L / 6$ 0.33 < 36.67 OK	
$q_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 16.84 \text{ T/m}^2$		OK	
$q_1 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 16.84 \text{ T/m}^2$			
$q_2 = \frac{Pu}{A} - \frac{6e_x}{b} + \frac{6e_y}{L} = 16.09 \text{ T/m}^2$			
$q_3 = \frac{Pu}{A} + \frac{6e_x}{b} - \frac{6e_y}{L} = 16.55 \text{ T/m}^2$			
$q_4 = \frac{Pu}{A} - \frac{6e_x}{b} - \frac{6e_y}{L} = 15.80 \text{ T/m}^2$			
			
El esfuerzo de resistencia del hormigón es:			
		f'c= 210 kg/cm2	
$v_c = 0.5\sqrt{f'c} = 7.25 \text{ kg/cm}^2$		o 72.46 T/m2	

CALCULO DE d

POR PUNZONAMIENTO

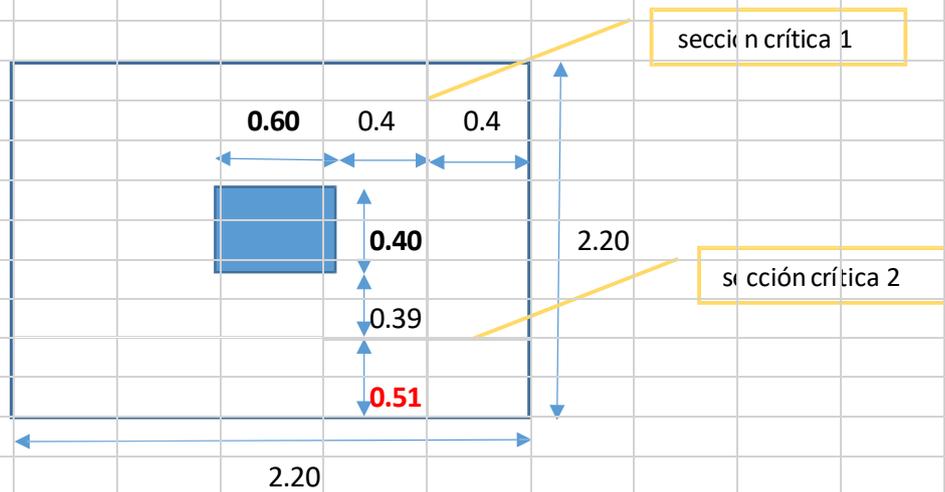
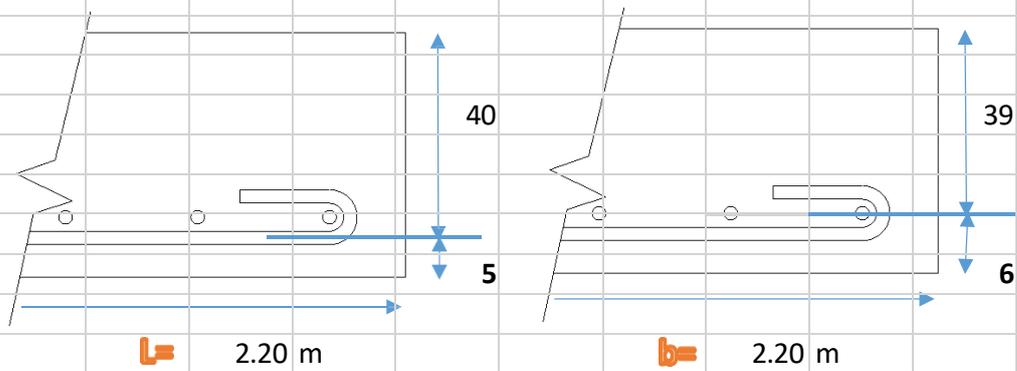
$$b_o = 3t + 2d = 120.00 + 2 * d$$

$$78990.00 = 13.55 * b_o * d$$

$$\Rightarrow d = 37.11 \text{ cm}$$

DISEÑO POR CORTANTE TIPO VIGA

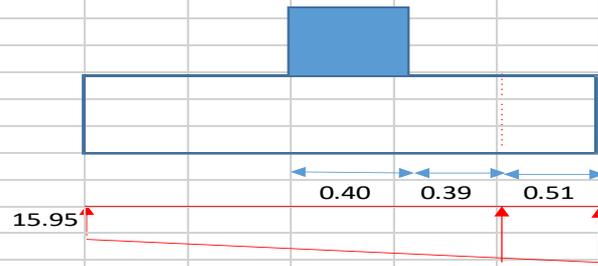
h plinto = 45 cm



$$q_{\text{máx}} = \frac{P_u}{A} \left(1 + \frac{6e_x}{b} \right) = 16.69 \text{ T/m}^2$$

$$q_{\text{mín}} = \frac{P_u}{A} \left(1 - \frac{6e_x}{b} \right) = 15.95 \text{ T/m}^2$$

SECCION CRITICA 1



$$\frac{0.74}{x} = \frac{2.20}{1.69}$$

entonces la fuerza cortante es:

$$16.52 \text{ T/m}^2$$

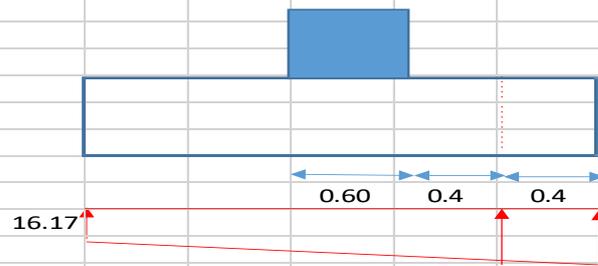
$$V_u = \left(\frac{16.52 + 16.69}{2} \right) (0.51) (2.20) = 18.632 \text{ T}$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b \cdot d} = 2.55 \text{ T/m} \quad \text{OK}$$

$$q_{\text{máx}} = \frac{P_u}{A} \left(1 + \frac{6e_y}{L} \right) = 16.47 \text{ T/m}^2$$

$$q_{\text{mín}} = \frac{P_u}{A} \left(1 - \frac{6e_y}{L} \right) = 16.17 \text{ T/m}^2$$

SECCION CRITICA 2



$$\frac{0.29}{x} = \frac{2.20}{1.80}$$

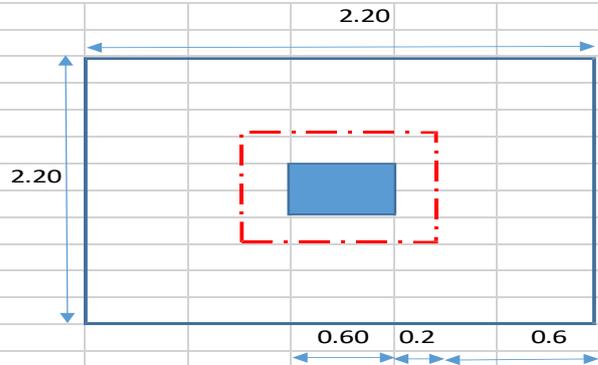
entonces la fuerza cortante es:

$$16.41 \text{ T/m}^2$$

$$V_u = \left(\frac{16.41 + 16.47}{2} \right) (0.4) (2.20) = 14.467 \text{ T}$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b \cdot d} = 1.93 \text{ T/m} \quad \text{OK}$$

DISEÑO A CORTE POR PUNZONAMIENTO



$$\bar{q} = \frac{P_u}{A} = 16.32 \text{ T/m}^2$$

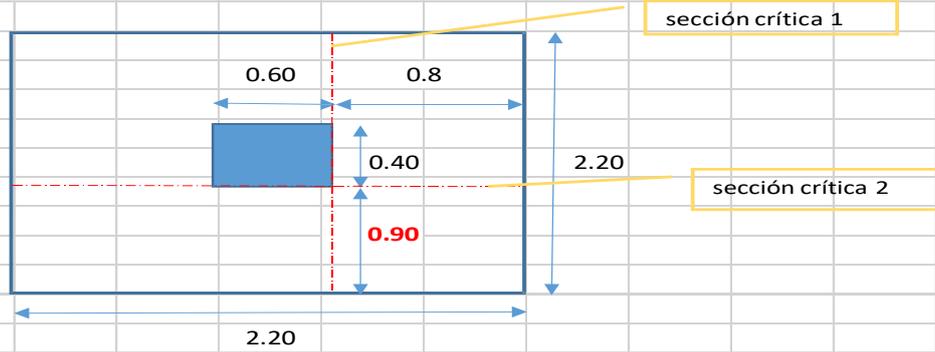
Fuerza cortante

$$V_u = 66.097 \text{ T}$$

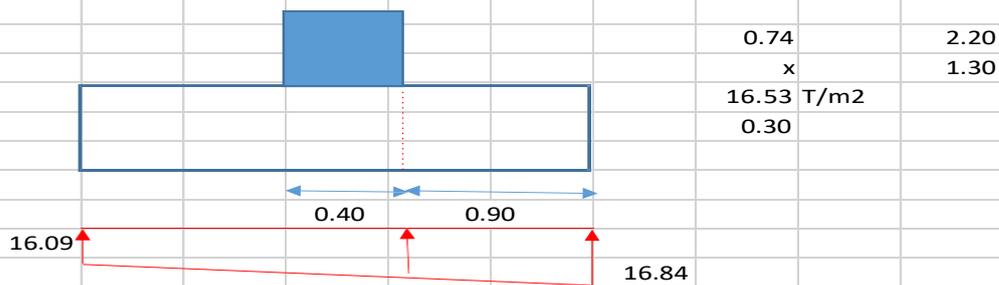
$$v_u = \frac{V_u}{\phi b \cdot d} = 54.908 \text{ T/m}^2 \quad v_c = \sqrt{f'_c} = \sqrt{210} \quad \text{entonces OK}$$

$$v_c = 144.91 \text{ T/m}^2$$

DISEÑO A FLEXION
SENTIDO Y



SECCION CRITICA 1

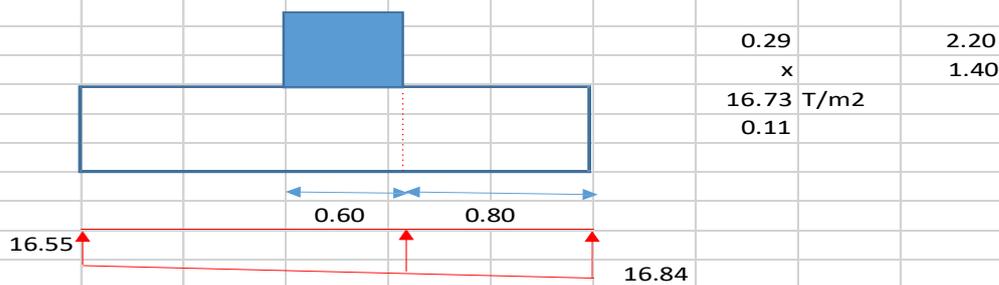


$$M_u = 6.78 \text{ T-m} \quad A_s = \frac{0.85f'_c \cdot b \cdot d}{F_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85\phi \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2}} \right] = 4.63 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{F_y} = 0.0033 \quad A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 28.60 \text{ cm}^2$$

ϕ mm	cant u	area/ ϕ cm ²	area cm ²	OK	@ cm
18	12	2.545	30.536	OK	18.33

SECCION CRITICA 2



$$M_u = 5.38 \text{ T-m} \quad A_s = \frac{0.85f'_c \cdot b \cdot d}{F_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85\phi \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2}} \right] = 3.57 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{F_y} = 0.0033 \quad A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 29.33 \text{ cm}^2$$

ϕ mm	cant u	area/ ϕ cm ²	area cm ²	OK	@ cm
18	12	2.545	30.536	OK	18.33

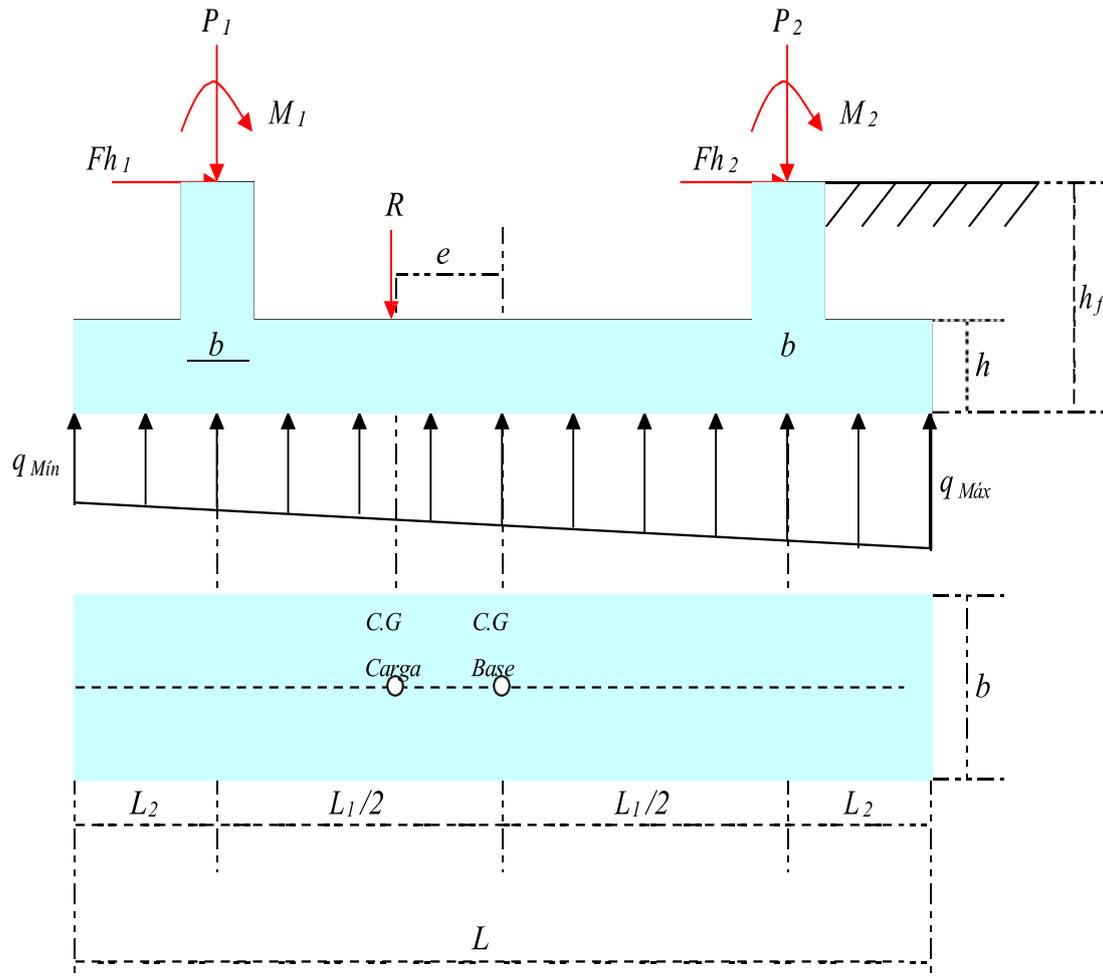
SENTIDO X

Diseño de zapata combinada

En la siguiente Figura 68 se detalla el diseño de la zapata combinada:

Figura 68.

Diseño de la zapata combinada



Nota. La figura muestra la zapata combinada

- Dimensionamiento de zapata

Datos de carga externa

$$P_1 = 78.99 \text{ Tn}$$

$$P_2 = 72.53 \text{ Tn}$$

$$Fh_1 = 0.7 \text{ Tn}$$

$$Fh_2 = 0.12 \text{ Tn}$$

$$M_1 = 0.26 Tn - m$$

$$M_2 = 0.06 Tn - m$$

Datos de geometría de la columna

$$b = 0.4 \text{ m Ancho de la columna}$$

$$t = 0.6 \text{ m Largo de la columna}$$

Datos de geometría de la zapata

$$L_1 = 3.1 \text{ m Distancia entre ejes de las columnas (m)}$$

$$h_f = 2 \text{ m Profundidad de la Cimentación (m)}$$

$$L = 5.1 \text{ m Largo de zapata (m)}$$

$$b = 2 \text{ m Ancho de zapata (m)}$$

Datos del Estudio de Mecánica de Suelos:

$$q_a = 1.8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Capacidad Portante del Suelo (Kg/cm}^2\text{)}$$

Resultados del cálculo

$$R = 151.2 Tn$$

$$e = -0.053 \text{ m}$$

$$L/6 = 0.85 \text{ m ok}$$

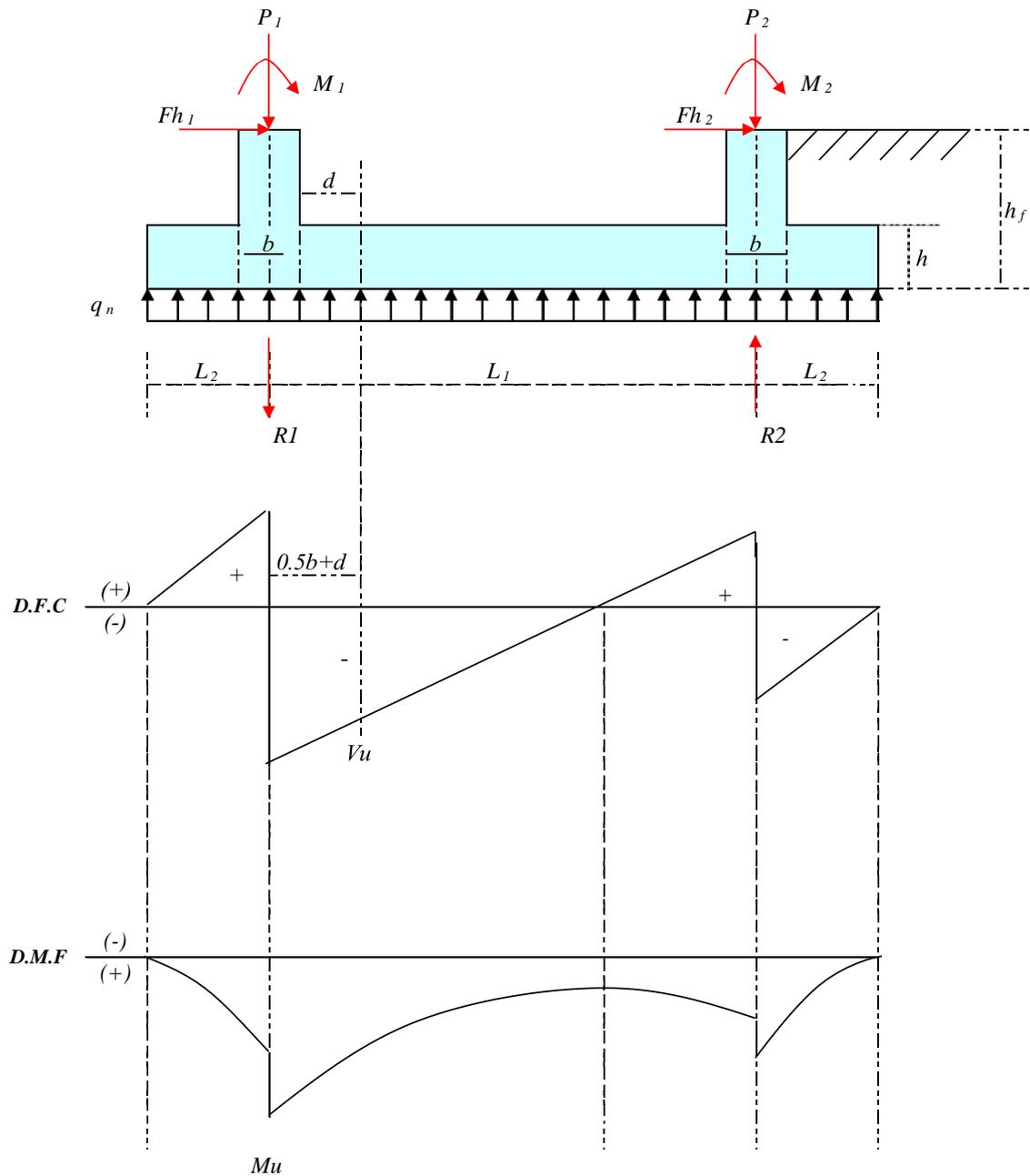
$$q_{M\acute{a}x} = 1.5597 \text{ Kg/cm}^2$$

$$q_{M\acute{i}n} = 1.7678 \text{ Kg/cm}^2$$

En la Figura 69 se aprecia el diseño de la zapata en la dirección longitudinal.

Figura 69.

Diseño en la dirección longitudinal



Nota. La figura muestra en zona longitudinal

Datos de diseño

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\phi = 0.9 \text{ Para diseño por flexión}$$

$\phi = 0.85$ Para diseño por cortante

$M_u = 0.7 Tn - m$ Obtenido del D.M.F

$V_u = 0.66 Tn$ Obtenido del D.M.F

$r = 7 \text{ cm}$ Recubrimiento

Resultado del cálculo

$q_n = 29.71 Tn/m$

$p = 0.0033$

$W = 0.0667$

$d = 5.3773 \text{ m}$

$h = 12.377 \text{ cm}$

Usar

$h = 30 \text{ cm}$

$d = 23 \text{ cm}$

Verificación por cortante

Datos:

$V_u = 0.66 Tn$ Es la fuerza cortante Calculado a una distancia $(0.5d + h)$ de la cara de la columna.

Resultados del cálculo

$V_u/\phi = 0.7765 Tn$

$V_c = 35.33 Tn$ Es la fuerza cortante que Absorve el concreto

Verificación por punzonamiento

Resultado del cálculo

$b_1 = 0.63 \text{ m}$ Usar $b_1 = 0.5 \text{ m}$

$b_2 = 0.83 \text{ m}$ Usar $b_2 = 0.5 \text{ m}$

$b_o = 2.92 \text{ m}$ Perímetro de Punzonamiento

$A = 0.25 \text{ m}^2$ Área de Punzonamiento

$W_{un} = 14.855 \text{ Tn/m}^2$

$P_2 = 72.53 \text{ Tn}$ Es la carga de la columna en la zona donde la cortante es mayor

$V_u = 64.762 \text{ Tn}$

$V_u/\phi = 76.191 \text{ Tn}$

$\sigma\sigma = 0.759 \text{ Tn}$

$Coef = 1.9629 \text{ Tn}$

$V_c = 107.06$ Es la fuerza cortante que Absorve el contexto

Diseño por flexión

Cálculo del Área de Acero en la Dirección Longitudinal de la Zapata

$a_1 = 4.6$ primera aproximación

$a_1 = 1.2397$ Valor del alteración $a_2 = a_1$

$A_{sim} = 8.28 \text{ cm}^2$

$A_s = 0.8275 \text{ cm}^2$

$a_2 = 0.0973 \text{ cm}$

Cuantía de selección (p)

$p = 0.02 \%$

Cuantía mínima (p_{min})

$p_{min} = 0.18 \%$

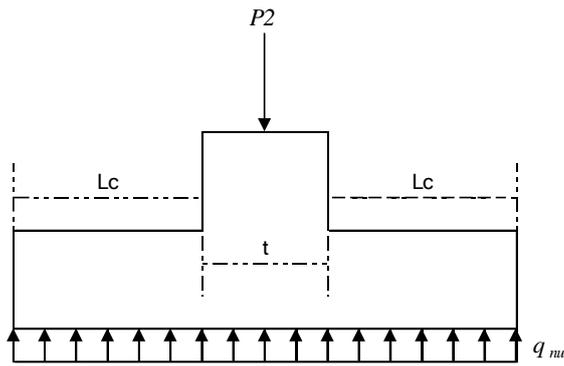
Espaciamiento de Acero (A_s) en el Sentido Longitudinal

USAR 1/2	1.2668 cm ²	n=10	S @ 0.20 m
----------	------------------------	------	------------

En la Figura 70 se presentan las cargas que actúan en la dirección transversal de la zapata.

Figura 70.

Diseño en la dirección transversal



Nota. La figura muestra en la dirección transversal.

$$L_c = 1.075 \text{ m}$$

$$q_{nu} = 36.265 \text{ Tn/m}$$

$$Mu_{Máx} = 20.95 \text{ Tn} - \text{m}$$

Cálculo del área de acero en la dirección transversal de la zapata

$$a1 = 4.6 \text{ primera aproximación}$$

$$a1 = 1.2098 \text{ Valor iteración } a2 = a1$$

$$As = 24.753 \text{ cm}^2$$

El área de refuerzo necesario calculado es 24.753 cm².

$$Asím = 2.07 \text{ cm}^2$$

El \$Asím\$ es menor que \$As\$ (ok).

$$a2 = 11.649 \text{ cm}$$

La cuantía de la sección (\$p\$) es 2.15% y la cuantía mínima (\$p_{mín}\$) es 0.18% (ok).

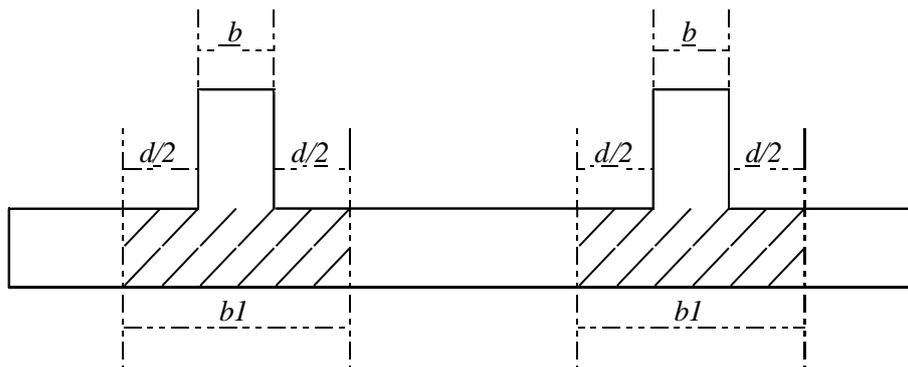
Por lo tanto, el esparcimiento de acero (\$As\$) en el sentido transversal es:

USAR 1/2	1.2668 cm ²	n=10	S @ 0.20 m
----------	------------------------	------	------------

Se identificó el ancho de la zapata "b1" para la el diseño en la dirección transversal, tal como se muestra en la Figura 71.

Figura 71.

Identificación de ancho de zapata para dirección transversal



Nota. La figura muestra en la dirección transversal.

Diseño de losa de cimentación

Cabe mencionar que, los cálculos de diseño de losa de cimentación son similares a la cimentación combinada y al ser un área grande se validó en el programa SAFE, es decir, en el modelado de la losa de cimentación.

Conclusiones del análisis estructural

En este análisis se tuvo las siguientes conclusiones generales:

- Para el análisis se ha utilizado una edificación regular, conformada por una estructura configurada en pórticos, y que tiene sus ejes ortogonales.
- El número de pisos utilizado es el indicado para favorecer al análisis de cimentaciones, ya que las cargas producidas serán de gran magnitud, es así que se tienen cargas bastante altas como se observa en páginas anteriores, que están ubicadas en el centro, ya que evidentemente soportan vanos y áreas más grandes, y por lo contrario en las áreas perimetrales se tiene cargas de menor magnitud, aunque de gran proporción también.
- También se realizó el análisis de carga de acuerdo a lo recomendado por la norma ecuatoriana de la construcción, es así que, en función de la ubicación de la estructura, se consideraron parámetros específicos para el análisis como se muestra en páginas anteriores.
- Para el diseño de cimentaciones, se obtuvieron los valores de reacciones respectivos, utilizando las cargas de servicio, y considerando la carga más alta de cada tipo en cada uno de los elementos verticales que transmiten carga a la cimentación.

Cimentaciones aisladas

- A partir de la definición principal, se consideraron elementos de tipo rectangular bajo cada una de las columnas, y con ayuda del software se establecieron las condiciones del suelo y la geometría adoptada.
- En este caso y una vez hecho el análisis con las cargas obtenidas, se establecieron dimensiones adecuadas para un plinto de sección cuadrada, en donde lógicamente las dimensiones más grandes se producen en las columnas de tipo central, mientras que en las columnas perimetrales y esquineras se adoptaron secciones menores, pero mayores al mínimo.
- Una vez ingresados los datos se ve reflejados en los resultados, que, en cuanto a la presión del suelo, el área asignada tiene una buena aceptación, estando por debajo del esfuerzo del suelo asignado con bastante holgura en los valores.
- Se observa también que, debido a la geometría de la estructura, los efectos son mayores en el sentido X, y como se dedujo, los plintos que más trabajan son los centrales, mientras que los perimetrales son usadas en menor escala.
- En cuanto a las deformaciones esperadas en el suelo, se observa que las áreas consideradas en los plintos, permiten que dichas deformaciones sean bastante bajas, y que se encuentren por debajo de las recomendadas.
- Por otra parte, se utilizaron armaduras de 14cm de diámetro cada 15cm, y funcionan muy bien en ambos sentidos.

Cimentaciones combinadas

- Para realizar el análisis con cimentaciones combinadas, se ha optado por combinar columnas cercanas y de igual importancia, considerando que las condiciones del suelo no sean las apropiadas, y debido a esto, el uso de plintos aislados genere una cercanía o sobreposición de ellos.
- Entonces, se generaron cimentaciones combinadas que permitirían distribuir las cargas de modo que funcionen efectivamente, y sabiendo que las cargas son iguales a las del anterior análisis, podemos deducir que con una mayor área los efectos serán mejores.
- Ahora, revisando los resultados del análisis, se aprecia que, las cimentaciones que fueron combinadas presentan un excelente funcionamiento, mostrando una coloración que representa un bajo uso, mientras que las cimentaciones que se

quedaron aisladas, si se ven afectadas por esta condición, aunque no para no ser funcionales.

- Las deformaciones producidas en el modelo, luego de la aplicación de las cargas, produce un claro efecto de deformación menor al resultado en la versión de cimentaciones aisladas.
- En cuanto a las armaduras, fue necesario colocar varillas de 16mm de diámetro cada 15cm en el sentido X, y en el sentido Y fue necesario utilizar varillas de 18mm cada 10cm.

Losa de cimentación

- El principio básico indica que mientras el esfuerzo de suelo sea bastante bajo, se debe aumentar el área o sección de la cimentación, es así que, cuando el suelo es bastante malo, se hace necesario utilizar toda el área bajo las edificaciones, y por ello se realizó esa consideración.
- De acuerdo a los esperado, cuando se utiliza un sistema de losa de cimentación, las reacciones del suelo se distribuyen de tal forma, que el esfuerzo aplicado está muy por debajo de las otras opciones, en un valor de apenas un 10%.
- En cuanto a las deformaciones producidas, de la misma manera, se aprecian que se tendrían valores bastante bajos de deformación, incluso mucho menores a los que se tienen en las opciones anteriores.
- Si se revisa la armadura necesaria en sentido X, se debería utilizar varillas de 18mm cada 20cm, de la misma manera es para el sentido Y.

Cimentación medianera

- Al analizar la cimentación medianera, se aprecia que, es similar a la cimentación aislada, con el particular de que, en ocasiones, no se permite utilizar el área de los vecinos, y la forma de las cimentaciones debe acortarse hasta la línea de fábrica.
- Ahora, analizando los efectos producidos en el suelo, se tiene que evidentemente, al faltar área a la cimentación, los efectos vuelven a ser más grandes, aunque funcionan a la larga.
- Las deformaciones producidas en los elementos, aunque aumentan, se mantienen por debajo de lo recomendable, ya que evidentemente con un área menor, los efectos serían críticos.

- Por otra parte, para la armadura sería necesario utilizar varillas de 16mm de diámetro en el sentido X cada 20cm, de la misma forma que en el sentido Y.

Comparativa de resultados

Tabla 11

Comparativa de resultados

COMPARATIVA	ESFUERZO DE SUELO Kg/cm ²	DEFORMACIONES cm	ARMADURA X	ARMADURA Y	COSTO
CIMENTACIÓN AISLADA	1.06	0.52	14mm@15cm	14mm@15cm	1
CIMENTACIÓN COMBINADA	0.64	0.86	16mm@15cm	18mm@10cm	1.5
LOSA DE CIMENTACIÓN	0.15	0.07	18mm@20cm	18mm@20cm	5
CIMENTACIÓN MEDIANERA	0.85	0.48	16mm@20cm	16mm@20cm	0.95

Nota. Se presenta la comparativa entre los tipos de cimentación analizados.

Es posible concluir, entonces, que siempre se debe combinar la técnica y la economía para un proyecto, de modo de buscar con ello la combinación más eficiente que permita que el proyecto se lleve a cabo, todo esto a partir de los estudios particulares.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la cimentación combinada y la losa de cimentación presentan esfuerzos de suelo significativamente menores en comparación con las cimentaciones aisladas y medianeras. Esto coincide con lo reportado por El-Samea et al. (2022) o por Teodosio et al. (2021), quienes plantean con base en sus hallazgos que la losa de cimentación distribuye mejor las cargas, reduciendo los esfuerzos en suelos blandos y expansivos.

El análisis de deformaciones evidenció que la losa de cimentación tiene las menores deformaciones, seguida de las cimentaciones aisladas, combinadas y medianeras. Esto se alinea con lo planeado por Prasad y Satyanarayana (2022), quienes observaron que las losas de cimentación proporcionan una mayor rigidez y estabilidad en este tipo de suelos expansivos. Además, los autores coinciden en que las cimentaciones aisladas, a pesar de

presentar menores costos, pueden experimentar mayores deformaciones, sobre todo en zonas con estos suelos.

Con respecto a las armaduras, los resultados de este estudio evidencian que las cimentaciones combinadas y la losa de cimentación requieren varillas de mayor diámetro y en mayor cantidad en contraste con las cimentaciones aisladas y medianeras. Esto coincide con El-Samea et al. (2022), quienes plantean que el refuerzo en las losas de cimentación es fundamental para mantener la integridad estructural en suelos de baja capacidad portante.

Finalmente, en lo que respecta a la evaluación económica, se observa que, aunque la losa de cimentación es la opción más costosa, proporciona la mayor seguridad y estabilidad estructural. Esto es consistente con lo establecido en la literatura actual, pues en zonas de alta sismicidad la inversión en losas de cimentación se justifica por la reducción en riesgos de fallas estructurales. Así, las cimentaciones combinadas, aunque más costosas que las aisladas, pueden ofrecer una solución intermedia que combine adecuadamente el costo y el rendimiento.

En cuanto a las limitaciones de este estudio, se tiene en primer lugar el acotado conjunto de cimentaciones y condiciones geotécnicas evaluado (debido a la necesidad de evaluar dicha especificidad); esto debiese ampliarse en un futuro a otros tipos de suelo y de fundaciones para mejorar el desempeño de diseñadores y planificadores de edificaciones en el país.

CONCLUSIONES

Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar y comparar el desempeño estructural de cimentaciones aisladas y combinadas en edificaciones de hormigón armado en la región costa del Ecuador, mediante modelos estructurales y datos obtenidos de estudios geotécnicos, con el fin de determinar su idoneidad y eficacia en diferentes condiciones de carga y suelo. Los hallazgos obtenidos permitieron establecer las siguientes conclusiones.

- En el análisis y diseño de cimentaciones se utilizó una edificación regular con estructura configurada en pórticos y ejes ortogonales. El número de pisos favoreció la evaluación bajo cargas significativas, lo que presentó mayores cargas en el centro y menores en las áreas perimetrales, aunque también de gran magnitud. El análisis de carga se realizó conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, de modo que se consideraron los parámetros específicos según la ubicación de la estructura.
- En cuanto al diseño de las cimentaciones, en las aisladas se definieron elementos rectangulares bajo cada columna y se determinaron dimensiones adecuadas para un plinto de sección cuadrada. Las dimensiones más grandes se asignaron a las columnas centrales, mientras que las perimetrales y esquineras adoptaron secciones menores -aunque superiores al mínimo requerido-. Las presiones del suelo se mantuvieron por debajo del esfuerzo asignado. La geometría de la estructura mostró mayores efectos en el sentido X, con los plintos centrales siendo los más solicitados. Las deformaciones en el suelo fueron bajas y dentro de los límites recomendados. En el caso de las cimentaciones combinadas, se optó por combinar columnas cercanas e importantes para evitar la cercanía o sobreposición de plintos aislados. Las cimentaciones combinadas distribuyeron las cargas de modo adecuado, y presentaron menores deformaciones comparadas con las cimentaciones aisladas. La losa de cimentación se diseñó aumentando el área de cimentación para suelos de baja capacidad, utilizando toda el área bajo la edificación. Esto redujo significativamente los esfuerzos aplicados, alcanzando solo el 10% de los valores de otras opciones. Las deformaciones fueron las más bajas comparadas con otras soluciones. La cimentación medianera, similar a la aislada, enfrentó restricciones en el uso del área de vecinos, resultando en mayores

efectos debido a la reducción de área de cimentación. Sin embargo, las deformaciones se mantuvieron dentro de límites aceptables.

- Por tanto, la comparación de cimentaciones aisladas, combinadas, losa de cimentación y medianera mostró variaciones significativas en los esfuerzos del suelo y deformaciones: destacó por desempeño la losa de cimentación por su baja carga y deformación. Las configuraciones de armaduras variaron según el tipo de cimentación; la losa de cimentación requiere mayor inversión, pero proporciona la mejor distribución de esfuerzos y menor deformación. La cimentación medianera fue la más eficiente en términos económicos, seguida de las aisladas y combinadas. En conclusión, siempre se debe combinar técnica y economía en los proyectos de cimentación para buscar la solución más eficiente, asegurando la viabilidad y éxito del proyecto considerando estudios específicos y condiciones particulares de cada caso.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos obtenidos en el estudio, se pueden plantear las siguientes recomendaciones.

- En primer lugar, es importante realizar estudios geotécnicos detallados en el sitio de construcción antes de proceder con el diseño de cimentaciones. Esto permitirá obtener datos precisos sobre las características del suelo, como su capacidad portante y los posibles asentamientos diferenciales. Con esta información, se podrán diseñar cimentaciones más seguras y adecuadas.
- De igual manera, es importante considerar la posibilidad de combinar diferentes tipos de cimentaciones en un mismo proyecto. Tal como se observó en el análisis comparativo, las cimentaciones combinadas y las losas de cimentación pueden ofrecer ventajas significativas en términos de distribución de cargas y reducción de deformaciones.
- Finalmente, se recomienda implementar un monitoreo continuo durante la fase de construcción y en la vida útil del edificio para detectar y corregir cualquier problema de asentamiento o deformación tempranamente. El conocimiento de la norma y su actualización permanente es fundamental para un adecuado diseño de edificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Anás, R., Espín, M., Manouris, E., y Mendoza, W. (2023). Análisis comparativo de diferentes tipos de cimentaciones superficiales en un edificio real existente en la ciudad de Portoviejo. *Dominio De Las Ciencias*, 9(4), 1566–1587. <https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3682>
- Carrera, D. (2022). *Ciencia del suelo. Caracterización y Conservación en el Ecuador*. ESPE.
- Castro, M. (2022). *Análisis comparativo entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2015) y la Norma Oficial Mexicana (2019) para el diseño de cimentaciones*. Tesis de pregrado. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- CONSTRUMATICA. (09 de 01 de 2008). *CONSTRUMATICA* . https://www.construmatica.com/construpedia/Zapatas_Combinadas
- CONSTRUMATICA. (29 de 11 de 2021). *CONSTRUMATICA* . https://www.construmatica.com/construpedia/Zapatas_Aisladas
- El-Samea, A., Hassan, W., Mowafy, Y., El-Naiem, A., Abdo, M., y Towfeek, A. (2022). Numerical Analysis of Shallow Foundation on Expansive Soil. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 17(63), 480-501. <https://doi.org/https://doi.org/10.21608/aej.2022.233745>
- Fajardo, F. (2019). *Proceso de Construcción* (Segunda ed.). Fondo Nacional de Formación Profesional para la Industria de la Construcción FIC.
- González Drigo, J. R. (15 de 06 de 2011). <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12833>.
- Infor Civil. (17 de enero de 2022). *Vigas de Cimentación: Importancia y Tipos*. Retrieved 7 de agosto de 2024, from <https://inforcivil.com/cimentacion/vigas-de-cimentacion-importancia-y-tipos/>
- Ingenieros Asesores. (28 de junio de 2023). *¿Qué tipos de cimentaciones existen?* Retrieved 7 de agosto de 2024, from <https://ingenierosasesores.com/actualidad/que-tipos-de-cimentaciones-existen/>

- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (26 de 07 de 2024). *Peligro sísmico*.
<https://www.igepn.edu.ec/>: <https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html>
- León, J. (2016). *Análisis comparativo del diseño de una edificación de hormigón armado considerando el sistema de base rígida versus la interacción del suelo - estructura*. UCE.
- Luévanos, A. (2023). Nuevo modelo para el diseño completo de zapatas aisladas rectangulares tomando . *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 13(2), 192-219.
<https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.671>
- Maldonado, Y. (27 de junio de 2020). *Zapatas combinadas*. Retrieved 7 de agosto de 2024, from <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/zapatas-combinadas/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *NEC - SE - GC: Geotécnica y cimentaciones*. MIDUVI.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Osorio, M., Haro, J., Carrillo, W., y Negrete, J. (2022). *Suelos : caracterización e importancia*. Puerto Madero.
- Pinargote, C., Cevallos, K., Campuzano, C., y García, A. (2020). *Hormigón . Concrete .*
- Poch, R. (2022). *El color en el suelo .* SECS.
- Prasad, S., y Satyanarayana, P. (2022). Problems due to expansive soils and their remedies. *NeuroQuantology*, 20(12).
<https://doi.org/DOI:10.14704/NQ.2022.20.12.NQ77264>
- Río Bueno, A. d. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*. Madrid: ETS Arquitectura (UPM).
- Teodosio, B., Kristombu, K., y Mendis, P. (2021). A review and comparison of design methods for raft substructures on expansive soils. *Journal of Buildind Engineering*, 41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102737>

- Tipán, C., y Villacís, M. (2022). *Diseño de cimentaciones aisladas y losas de cimentación en una edificación de 4 plantas para comparar los métodos rígido y elástico, con el uso del programa informático SAFE*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana.
- Victor Yepes Piqueras. (09 de 01 de 2020). *Concepto y clasificación de las cimentaciones*. Universidad Politecnica de Valencia : <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>
- Villaeral, G., Cerna, M., y Espinoza, C. (2021). Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(1), 153-178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i1.1967>
- Villao, R. (2022). Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón. *Digital Publisher* , 7(3), 176-190. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1134>
- Yepes, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.

ANEXOS

Anexo 1. Resumen normativa NEC utilizada

Z, aceleración máxima en roca esperada o factor de zona sísmica

27

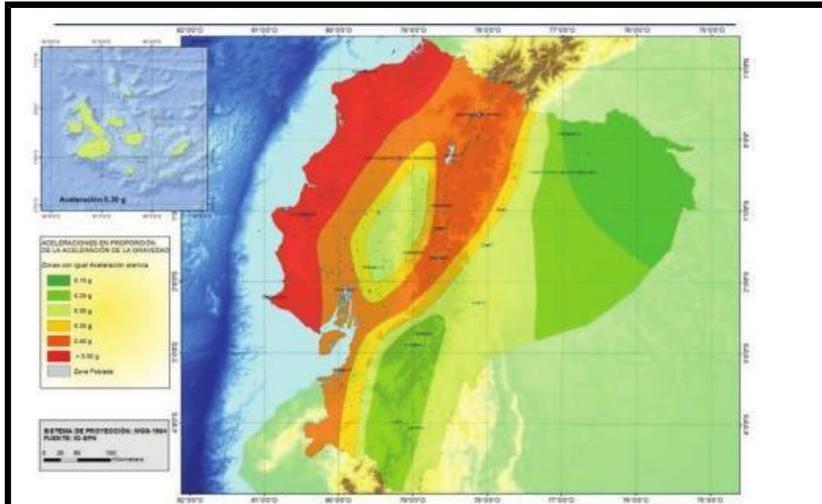


Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

z= 0,4

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
D	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
E	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
F	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
F	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30 m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia o ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Tipo de Suelo D

D nos da estudio de suelos

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

$$I = 1$$

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sísmo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sísmo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sísmo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sísmo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sísmo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Tabla 15: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles	
Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

$$R = 5$$

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

fa= 1,2

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4 : Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Fd= 1,19

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 5 : Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Fs= 1,28

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

$n =$ 1,8

$r = 1$, para todos los suelos excepto del tipo E. Ver sección 3.3

- $r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E
- $r = 1.5$ para tipo de suelo E.

$r =$ 1

C_t , hormigón sin muros estructurales. Ver sección 6.3.3

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

$c_t =$ 0,055
 $\alpha =$ 0,9

sin muros sin diagonales

$$T = C_t h_n^\alpha$$

$$T = 0,4728932$$

$S_a = \eta Z F_a$, Espectro de respuesta elástico. Ver sección 3.3.1

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

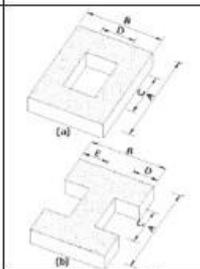
$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c$$

$$S_a = 1,1904$$

ϕ_p , factor de configuración en planta. Ver sección 5.3

Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso
 $\phi_p = 0,9$
 a) $C_x D > 0,5A_x B$
 b) $[C_x D + C_x E] > 0,5A_x B$

La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.



$$\phi_p = 0,9$$

Condición

A	33,16	49,278 No cumple	475,5144
B	28,68		
C	7,64		
D	6,45		
E	0		

ϕ_e , factor de configuración en elevación. Ver sección 5.3

$$\phi_p = 0,9$$