



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: César Alexis Tipán Erazo

Esteban Darío Villacís Núñez

TUTOR: Marlon Manolo Arévalo Navarete

Quito - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, César Alexis Tipán Erazo con documento de identificación N°1723627350 y Esteban Darío Villacís Núñez con documento de identificación N°1725818973; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de marzo del 2022

Atentamente,



César Alexis Tipán Erazo
1723627350



Esteban Darío Villacís Núñez
1725818973

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

Nosotros, César Alexis Tipán Erazo con documento de identificación N°1723627350 y Esteban Darío Villacís Núñez con documento de identificación N°1725818973; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “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”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 10 de marzo del 2022

Atentamente,



César Alexis Tipán Erazo
1723627350



Esteban Darío Villacís Núñez
1725818973

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Manolo Arévalo Navarrete con documento de identificación N°1706746029, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: 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, realizado por César Alexis Tipán Erazo con documento de identificación N°1723627350 y Esteban Darío Villacís Núñez con documento de identificación N°1725818973, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de marzo del 2022

Atentamente,



Ing. Marlon Manolo Arévalo Navarrete, MSc.

1706746029

DEDICATORIA

A mis padres Robinson Villacís y Azucena Núñez quienes con mucha paciencia y esfuerzo me apoyaron para cumplir con mi sueño inculcando en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia para culminar con mi carrera de Ingeniería Civil. Finalmente quiero dedicar a mi hermano, tíos, primos y abuelitos quienes han estado conmigo en los momentos difíciles durante todo mi proceso académico.

ESTEBAN VILLACÍS

A mis padres César Tipán y Maite Erazo por ser siempre el motor de vida que impulsa mis sueños, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, siendo mis mejores guías e inculcarme valores y principios para convertirme en un gran ingeniero civil. Finalmente me gustaría dedicar esta tesis a mi familia, amigos y personas que siempre han estado presentes durante mis horas de estudio.

CÉSAR TIPÁN

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres, por ser la fuente principal de inspiración y motivación para siempre superar nuestros obstáculos y no dejarnos vencer.

Deseamos expresar agradecimiento a nuestro tutor Ing. Marlon Manolo Arévalo Navarrete, docente de la institución y a la Universidad Politécnica Salesiana, ya que gracias a sus conocimientos, experiencia y enseñanzas durante todos los años de estudios nos ayudaron como fuente de aprendizaje e inspiración para lograr cumplir nuestro objetivo, ser Ingenieros Civiles.

Agradecemos de manera especial a Christian Tipán y Josselin Alcuaser quienes nos han apoyado compartiendo sus conocimientos durante la etapa de realización de este trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	27
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	27
1.1 Introducción.....	27
1.2 Antecedentes.....	28
1.3 Problema.....	29
1.4 Delimitación	29
1.5 Objetivos.....	30
1.5.1 Objetivo general	30
1.5.2 Objetivos Específicos	31
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO	31
2.1 Cimentación.....	31
2.2 Cimentación Aislada.....	32
2.3 Losas de cimentación	33
2.3.1 Tipos de cimentación	34
2.3.1.1 Losas macizas (planas).....	34
2.3.1.2 Losas macizas con refuerzo bajo las columnas	34
2.3.1.3 Losas nervadas bidireccionales aligeradas	34
2.3.1.4 Placas planas con pedestales (capiteles).....	35

2.3.1.5	Losa con muros de sótano como parte de la placa (en cajón)	35
2.4	Diseño estructural de losas de cimentación	36
2.5	Método convencional rígido	36
2.6	Método flexible aproximado	37
2.7	Coefficiente de balasto	38
2.8	Capacidad portante del suelo	39
2.9	Cargas y momentos	41
2.10	Resistencia a la compresión del hormigón y esfuerzo de fluencia del acero	42
2.11	Peso de relleno y del concreto	42
2.12	Profundidad de desplante	43
CAPÍTULO III		43
METODOLOGÍA		43
3.1	Tipo de Investigación	43
3.1.1	Investigación Experimental	43
3.2	Método	44
3.3	Técnica de recolección de información	44
3.4	Proceso técnico de Ingeniería Civil	45
3.4.1	Recolección de información	46
3.4.2	Método rígido	46
3.4.2.1	Diseño de la cimentación aislada	47

3.4.2.2	Diseño de la losa de cimentación	47
3.4.3	Método elástico	49
3.4.3.1	<i>Zapatas aisladas y losa de cimentación</i>	49
3.4.4	Comparación de resultados	50
CAPÍTULO IV		50
MÉTODO ELÁSTICO.....		50
4.1	Análisis estructural empleando el Software ETABS.....	50
4.1.1	Descripción general del proyecto.....	50
4.1.2	Configuración estructural del proyecto	51
4.1.3	Características mecánicas de los elementos empleados.....	52
4.1.4	Acero de refuerzo ASTM-A706/NTE-INEN 2126 ($f_y=4200$ kg/cm ²)	54
4.1.5	Filosofía de diseño	55
4.1.5.1	Códigos de diseño utilizados	55
4.1.6	Criterios de diseño.....	56
4.1.6.1	Torsión accidental.....	56
4.1.6.2	Diseño a flexión/flexo compresión de elementos de hormigón armado	57
4.1.7	Combinaciones de carga.....	58
4.1.8	Diseño sismo resistente	59
4.1.9	Acciones sobre la estructura.....	59
4.1.9.1	Cargas gravitacionales.....	59

4.1.9.2	Cargas muertas	60
4.1.10	Procedimiento estático	60
4.1.10.1	Cálculo de espectro de respuesta elástico de diseño	60
4.1.10.2	Ubicación de la estructura.....	61
4.1.10.3	Periodo de vibración calculado	62
4.1.10.4	Aceleración espectral	62
4.1.10.5	Regularidad en planta y elevación	63
4.1.10.6	Tipología estructural	63
4.1.10.7	Importancia	64
4.1.10.8	Cortante basal de diseño (V).....	64
4.1.11	Procedimiento dinámico.....	65
4.1.12	Cargas sísmicas: procedimiento estático.....	66
4.1.13	Cargas sísmicas: procedimiento dinámico	68
4.1.14	Cargas reactivas al sismo	69
4.1.15	Modelo estructural bloque 1.....	70
4.1.16	Generación de modelo de análisis.....	70
4.1.17	Colocación de cargas en programa de cálculo	71
4.1.17.1	Cargas gravitacionales	71
4.1.18	Análisis estructural	73
4.1.18.1	Períodos de vibración y participación modal.....	73

4.1.18.2	Peso de la estructura.....	74
4.1.18.3	Derivas de piso.....	74
4.1.18.4	Sismo estático	75
4.1.18.5	Sismo dinámico.....	76
4.1.19	Modelo estructural bloque 2.....	78
4.1.20	Generación de modelo de análisis.....	78
4.1.21	Colocación de cargas en programa de cálculo	78
4.1.21.1	Cargas gravitacionales	78
4.1.22	Análisis estructural.....	80
4.1.22.1	Períodos de vibración y participación modal.....	80
4.1.22.2	Peso de la estructura.....	81
4.1.22.3	Derivas de piso.....	81
4.1.22.4	Sismo estático	82
4.1.22.5	Sismo dinámico.....	83
4.2	Material utilizado en cimentaciones	85
4.3	Acero para varillas de refuerzo ASTM-A706/NTE-INEN 2126 ($f_y=4200\text{kg/cm}^2$)	85
4.4	Combinaciones de cargas aplicadas en el análisis de cada tipo de suelo	86
4.5	Chequeo del diseño de cimentaciones aisladas B1 ($q_a= 1 \text{ kgf/cm}^2$)	90
4.5.1	Propiedades del suelo y dimensiones de las cimentaciones	90
4.5.2	Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo	95

4.5.3	Verificación de las zapatas por punzonamiento	98
4.5.4	Armado de los elementos estructurales de la cimentación.....	99
4.5.5	Resumen del diseño de la cimentación	101
4.6	Chequeo del diseño de una losa de cimentación B1 ($q_a=3\text{kgf/cm}^2$)	103
4.6.1	Propiedades del suelo y dimensiones de la losa de cimentaciones	103
4.6.2	Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo	106
4.6.3	Verificación de la losa de cimentación por punzonamiento	109
4.6.4	Armado de los elementos estructurales de la cimentación.....	110
4.6.5	Resumen del diseño de la losa de cimentación	112
4.7	Chequeo del diseño de cimentaciones aisladas B2 ($q_a= 1\text{kgf/cm}^2$)	113
4.7.1	Propiedades del suelo y dimensiones de las cimentaciones	113
4.7.2	Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo	116
4.7.3	Verificación de las zapatas por punzonamiento	119
4.7.4	Armado de los elementos estructurales de la cimentación.....	120
4.7.5	Resumen del diseño de la cimentación	122
4.8	Chequeo del diseño de una losa de cimentación B2 ($q_a=3\text{kgf/cm}^2$)	123
4.8.1	Propiedades del suelo y dimensiones de la losa de cimentaciones	123
4.8.2	Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo	126
4.8.3	Verificación de las zapatas por punzonamiento	129
4.8.4	Armado de los elementos estructurales de la cimentación.....	130

4.8.5	Resumen del diseño de la losa de cimentación	132
CAPÍTULO V		133
MÉTODOS RÍGIDO		133
5.1	Zapatas aisladas	133
5.1.1	Simbología y partes de una cimentación aislada.....	133
5.1.2	Determinación de las dimensiones en planta de la zapata aislada (B y L).....	134
5.1.2.1	Cimentación cuadrada	134
5.1.2.2	Cimentación rectangular.....	135
5.1.3	Cálculo de las presiones en los extremos de la zapata	135
5.1.4	Cálculo factor de mayoración	136
5.1.5	Chequeo por punzonamiento bidireccional.....	137
5.1.5.1	Cortante resistente del concreto.....	137
5.1.5.2	Cortante último	137
5.1.6	Chequeo corte como viga (unidireccional)	138
5.1.6.1	Cortante resistente del concreto.....	138
5.1.6.2	Cortante último	139
5.1.7	Cálculo del peralte de la zapata (H)	139
5.1.8	Refuerzo principal	140
5.1.8.1	Cálculo del momento último	141
5.1.8.2	Acero mínimo y de diseño.....	141

5.1.8.3	Número de varillas.....	142
5.1.8.4	Separación entre varillas.....	142
5.1.9	Refuerzo transversal.....	143
5.1.9.1	Acero mínimo y de diseño.....	143
5.1.9.2	Armado transversal en franja de columna.....	145
5.1.9.3	Armado transversal en franja lateral.....	145
5.1.10	Armado teórico de la zapata.....	146
5.2	Zapata combinada.....	147
5.2.1	Cálculo de cargas y área de la zapata combinada.....	147
5.2.1.1	Cálculo de la excentricidad y resultante.....	147
5.2.2	Determinación de las presiones del suelo.....	149
5.2.3	Cálculo del factor de mayoración.....	150
5.2.4	Cálculo de cortantes y momentos.....	150
5.2.4.1	Cargas actuantes.....	150
5.2.5	Diagrama de cortante y momento.....	152
5.2.6	Chequeo por punzonamiento bidireccional.....	153
5.2.6.1	Cortante resistente del concreto.....	153
5.2.6.2	Cortante último.....	153
5.2.7	Chequeo corte como viga (unidireccional).....	154
5.2.7.1	Cortante resistente del concreto.....	154

5.2.7.2	Cortante último	154
5.2.8	Cálculo del peralte de la zapata	155
5.2.9	Armado longitudinal	155
5.2.9.1	Acero mínimo y de diseño.....	155
5.2.9.2	Número de varillas.....	155
5.2.9.3	Separación	156
5.2.10	Armado transversal	156
5.2.10.1	División de las secciones	156
5.2.10.2	Acero mínimo y de diseño	157
5.2.10.3	Número de varillas.....	157
5.2.10.4	Separación.....	158
5.2.11	Acero por temperatura.....	158
5.2.11.1	Cálculo del acero por temperatura	158
5.2.11.2	Número de varillas.....	159
5.2.11.3	Separación.....	159
5.3	Losa de cimentación	159
5.3.1	Cálculo de cargas y área de la losa de cimentación	160
5.3.2	Determinación de las presiones del suelo	161
5.3.2.1	Cálculo de las resultantes y excentricidades.....	161
5.3.2.2	Cálculo de momentos e inercias	162

5.3.2.3	Determinación de longitudes por franjas.....	162
5.3.2.4	Verificación de las presiones del suelo.....	163
5.3.3	Cálculo del peralte efectivo de la losa a partir del corte por punzonamiento	164
5.3.4	Cálculo del factor de modificación de carga “F”	165
5.3.4.1	Cálculo de la presión del suelo promedio (q prom).....	165
5.3.4.2	Cálculo de la carga promedio (CP).....	165
5.3.4.3	Cálculo factor “F”	166
5.3.5	Diseño de losa	166
5.3.5.1	Cargas actuantes	166
5.3.5.2	Diagrama de cortante y momento.....	168
5.3.6	Verificación del cortante	169
5.3.7	Cálculo del peralte de la zapata.....	169
5.3.8	Armado longitudinal y transversal	169
5.3.8.1	Acero mínimo y de diseño.....	170
5.3.8.2	Número de varillas.....	170
5.3.8.3	Separación	170
CONCLUSIONES		171
RECOMENDACIONES		174
LISTA DE REFERENCIA.....		176
ANEXOS.....		Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presión máxima permisible del suelo.....	41
Tabla 2. Elementos estructurales B1	51
Tabla 3. Elementos estructurales B2	52
Tabla 4. Hormigón de resistencia a la compresión ($f_c=210 \text{ kg/cm}^2$)	52
Tabla 5. Acero de refuerzo (barras)	54
Tabla 6. Sobrecargas	59
Tabla 7. Cargas permanentes	60
Tabla 8. Periodo de vibración calculado	62
Tabla 9. Aceleración espectral (S_a).....	62
Tabla 10. Coeficiente de irregularidad	63
Tabla 11. Cortante basal de diseño (V).....	64
Tabla 12. Derivas de piso B1	77
Tabla 13. Derivas de piso B2	84
Tabla 14. Resumen de armado de las cimentaciones aisladas B1.....	102
Tabla 15. Resumen de armado de la losa de cimentación B1	112
Tabla 16. Resumen de armado de las cimentaciones aisladas B2.....	122
Tabla 17. Resumen de armado de la losa de cimentación B2	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la edificación.....	30
Figura 2. Tipos de losa de cimentación.....	35
Figura 3. Método rígido y flexible aproximado	37
Figura 4. Valores del coeficiente de balasto	39
Figura 5. Variaciones y análisis según los tipos de suelos.....	45
Figura 6. Franja de columna e intermedia - método rígido.....	48
Figura 7. Propiedades mecánicas del hormigón ingresadas al ETABS	53
Figura 8. Propiedades mecánicas del acero de refuerzo ingresadas al ETABS	55
Figura 9. Combinaciones básicas de diseño.....	58
Figura 10. Espectro elástico e inelástico	65
Figura 11. Espectro de respuesta.....	66
Figura 12. Sismo estático en dirección X.....	67
Figura 13. Sismo estático en dirección Y.....	67
Figura 14. Sismo dinámico en dirección X.....	68
Figura 15. Sismo dinámico en dirección Y.....	69
Figura 16. Masa reactiva de la estructura.....	70
Figura 17. Vista tridimensional de la estructura B1	71
Figura 18. Carga viva.....	72
Figura 19. Sobrecarga	72

Figura 20. Modos de vibración	73
Figura 21. Peso de los elementos estructurales	74
Figura 22. Combinaciones de carga para revisar derivas inelásticas	75
Figura 23. Deriva inelástica sismo estático en dirección X e Y	76
Figura 24. Deriva inelástica sismo dinámico en dirección X e Y	77
Figura 25. Vista tridimensional de la estructura B2.....	78
Figura 26. Carga viva	79
Figura 27. Sobrecarga	79
Figura 28. Modos de vibración	80
Figura 29. Peso de los elementos estructurales	81
Figura 30. Combinaciones de carga para revisar derivas inelásticas	82
Figura 31. Deriva inelástica sismo estático en dirección X e Y	83
Figura 32. Deriva inelástica sismo dinámico en dirección X e Y	84
Figura 33. Propiedades mecánicas del hormigón ingresadas al SAFE	85
Figura 34. Propiedades mecánicas del acero ingresadas al SAFE	86
Figura 35. Combinación UDCONN1	86
Figura 36. Combinación UDCONN2.....	87
Figura 37. Combinación UDCONN3.....	88
Figura 38. Combinación UDCONN3A.....	88
Figura 39. Combinación UDCONN4.....	89

Figura 40. Combinación UDCONN4A.....	90
Figura 41. Altura de la zapata H=40cm	91
Figura 42. Altura de la zapata H=45cm	91
Figura 43. Dimensiones de la viga de conexión.....	92
Figura 44. Distribución, identificación y altura de zapatas	92
Figura 45. Dimensiones en planta de las cimentaciones	93
Figura 46. Vista tridimensional de la cimentación.....	94
Figura 47. Propiedades del suelo.....	94
Figura 48. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muera, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	95
Figura 49. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	96
Figura 50. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	97
Figura 51. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	98
Figura 52. Revisión por cortante bidireccional	99
Figura 53. Armadura superior e inferior en el sentido "X"	100
Figura 54. Armadura superior e inferior en el sentido "Y"	Error! Bookmark not defined.
Figura 55. Altura de la losa de cimentación H=50cm.....	103
Figura 56. Distribución, identificación y altura de la losa de cimentación	104

Figura 57. Dimensiones en planta de la losa de cimentación.....	104
Figura 58. Vista tridimensional de la losa de cimentación	105
Figura 59. Propiedades del suelo.....	105
Figura 60. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	107
Figura 61. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	107
Figura 62. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	108
Figura 63. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	109
Figura 64. Revisión por cortante bidireccional	110
Figura 65. Armadura superior e inferior en el sentido "X"	Error! Bookmark not defined.
Figura 66. Armadura superior e inferior en el sentido "Y"	111
Figura 67. Altura de la zapata H=35cm	111
Figura 68. Distribución, identificación y altura de zapatas	113
Figura 69. Dimensiones en planta de las cimentaciones	114
Figura 70. Vista tridimensional de la cimentación.....	114
Figura 71. Propiedades del suelo.....	115
Figura 72. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	115

Figura 73. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	116
Figura 74. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	117
Figura 75. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	118
Figura 76. Revisión por cortante bidireccional	119
Figura 77. Armadura superior e inferior en el sentido "X"	120
Figura 78. Armadura superior e inferior en el sentido "Y"	121
Figura 79. Altura de la losa de cimentación H=40cm.....	121
Figura 80. Distribución, identificación y altura de la losa de cimentación.....	123
Figura 81. Dimensiones en planta de la losa de cimentación.....	124
Figura 82. Vista tridimensional de la losa de cimentación	124
Figura 83. Propiedades del suelo.....	125
Figura 84. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	125
Figura 85. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	126
Figura 86. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación	127

Figura 87. Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.....	128
Figura 88. Revisión por cortante bidireccional	129
Figura 89. Armadura superior e inferior en el sentido "X"	130
Figura 90. Armadura superior e inferior en el sentido "Y"	131
Figura 91. Elevación de cimentación aislada	131
Figura 92. Definición y simbología de las partes de la cimentación.....	133
Figura 93. Cálculo del cortante en dos direcciones (V_c)	134
Figura 94. Área resistente para el corte en dos direcciones	137
Figura 95. Distribución de las presiones en el suelo	138
Figura 96. Armado del refuerzo principal de la zapata	140
Figura 97. Distribución de franjas en la cimentación.....	142
Figura 98. Armado del refuerzo transversal de la zapata	144
Figura 99. Vista en planta del armado de la cimentación	146
Figura 100. Cargas aplicadas sobre la cimentación	146
Figura 101. Vista tridimensional de la zapata combinada	148
Figura 102. Esquema de cargas puntuales	149
Figura 103. Esquema de carga distribuida	151
Figura 104. Diagrama de corte y momento.....	152
Figura 105. Cálculo del cortante en dos direcciones (V_c)	152

Figura 106. División de tramos para acero transversal	153
Figura 107. Cargas aplicadas sobre la cimentación	156
Figura 108. Vista en planta de la losa de cimentación	160
Figura 109. Distribución de franjas entre columnas	161
Figura 110. Ubicación de la sección crítica	163
Figura 111. Esquema de cargas puntuales	164
Figura 112. Esquema de carga distribuida	167
Figura 113. Diagrama de corte y momento.....	168

RESUMEN

El presente proyecto técnico se basa en diseñar cimentaciones aisladas y losas de cimentación de una estructura, utilizando: el método rígido y elástico a través de cálculos manuales y el programa SAFE con el fin de realizar una comparación económica y técnica de la cuantía de acero, secciones de concreto, costos y determinar las ventajas o desventajas que tiene el utilizar cada uno de los métodos.

En todo proyecto de ingeniería civil, uno de los aspectos más importantes a tomarse en cuenta es el diseño óptimo de la cimentación, por lo que se verificará si al emplear el método rígido obtendremos mayores dimensiones por el hecho de ser un modelo simplificado o si por el método elástico que considera la deformabilidad del estrato de apoyo o la rigidez relativa del suelo entre el suelo de soporte y la cimentación nos generará cimentaciones con secciones de dimensión menor.

En el análisis se desarrolló dos modelos en ETABS con la finalidad de obtener las cargas para el respectivo diseño de las cimentaciones aisladas y losas de cimentación por el método rígido, el diseño se realizó a través de cálculos manuales en hojas electrónicas y el método elástico en el programa SAFE, por medio de dos tipos de suelos: blando y denso con esfuerzos admisibles de 1 kg/cm² y 3 kg/cm² respectivamente, de esta manera se comparó los resultados de ambas metodologías, en lo que respecta a la propuesta económica y tiempos de ejecución elaboradas en el programa PUNIS, también se consideró la cuantía de acero y volúmenes, cumpliendo las normativas NEC-2015 y ACI 318S-14.

ABSTRACT

This technical project is based on designing isolated foundations and foundation slabs of a structure, using: the rigid and elastic method through manual calculations and the SAFE program in order to make an economic and technical comparison of the amount of steel, concrete sections, costs and determine the advantages or disadvantages of using each of the methods.

In all civil engineering projects, one of the most important aspects to be taken into account is the optimal design of the foundation, so it will be verified if by using the rigid method we will obtain larger dimensions due to the fact that it is a simplified model or if by the elastic method that considers the deformability of the support layer or the relative stiffness of the soil between the supporting soil and the foundation will generate foundations with smaller dimension sections.

In the analysis, two models were developed in ETABS in order to obtain the loads for the respective design of the isolated foundations and foundation slabs by the rigid method, the design was carried out through manual calculations in electronic sheets and the elastic method in the SAFE program, through two types of soils: soft and dense with admissible stresses of 1 kg/cm² and 3 kg/cm² respectively, in this way the results of both methodologies were compared, with regard to the economic proposal and execution times elaborated in the PUNIS program, the amount of steel and volumes were also considered, complying with the NEC-2015 and ACI 318S-14 regulations.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Las cimentaciones son una parte fundamental en la construcción, son las encargadas de transmitir el peso de toda la edificación hacia el suelo, para el presente trabajo se realizará el análisis de las cimentaciones mediante los métodos rígido y elástico en un suelo blando y denso con un esfuerzo admisible de 1 y 3 kg/cm² respectivamente, de esta manera diseñar dos tipos de cimentaciones: aisladas y losas de cimentación, para comparar los resultados y demostrar el sobre diseño del método convencional “rígido” y cuantificar el posible ahorro que se podría obtener al diseñar por el método elástico.

El método rígido se empleará mediante hojas electrónicas de cálculo considerando para el análisis combinaciones de carga y valores máximos de presiones de suelo, verificando que se cumpla las revisiones de las normativas NEC-2015 y ACI 318S-14, y lograr un ahorro económico al optimizar las secciones.

El método flexible será desarrollado por medio del programa SAFE que determinará el comportamiento real de la estructura considerando la rigidez relativa entre el suelo de soporte y la cimentación, se importaron datos de cargas del programa ETABS para proceder al análisis y diseño de las cimentaciones.

A partir de los resultados obtenidos por cada metodología se realizó la comparación económica, cuantías de acero, tiempos de ejecución y diseño para corroborar si existe algún ahorro en materiales y capital designado para la construcción.

1.2 Antecedentes

Cuando se emprende el estudio de cimentaciones o de estructuras embebidas en el terreno, es importante tomar en cuenta el comportamiento que tiene el suelo con la estructura. Por lo que, se vuelve imprescindible realizar un estudio de suelos previo al diseño, para así, obtener un valor exacto del coeficiente de balasto. El programa SAFE determinará el comportamiento real de la estructura, permitiendo obtener diseños más exactos que el método rígido, de tal manera de obtener la diferencia de cuantías entre las cimentaciones aisladas y losas de cimentación.

En la actualidad, pocos profesionales implementan estudios de suelos para sus diseños por su elevado costo. Sin embargo, las normas y municipios exigen la realización de estudios de suelos. Por consiguiente, algunos profesionales en base a su experiencia asumen las características que tiene el suelo y por ende no se obtendrán resultados reales al momento de realizar el análisis del comportamiento suelo estructura en la cimentación. Como consecuencia generará secciones con mayor dimensionamiento y cuantía de acero.

Con la recopilación de resultados se comparará los diseños rígidos y flexibles con la finalidad de demostrar el sobre diseño del método convencional “rígido” y cuantificar el posible ahorro que se podría obtener al diseñar por el método elástico. En la práctica actual el método rígido tiende a modificar el diseño mediante un análisis de viga sobre cimentación elástica, dependiendo de las características del suelo sobre las que se edificará. A diferencia del modelo matemático de Winkler que utiliza un coeficiente de balasto que simulará al suelo mediante un número infinito de resortes elásticos. Además, se considerará los espesores y cuantías mínimas que en algunos casos dará lugar a que los diseños sean similares o al momento de verificar el corte por punzonamiento el espesor tenga que aumentarse para resistir la carga actuante.

1.3 Problema

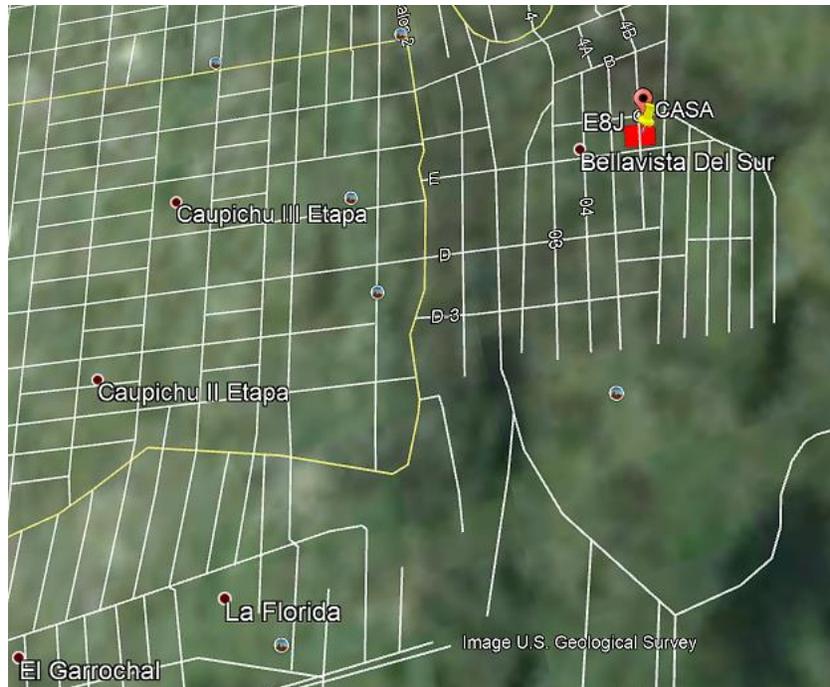
La falta de uso del método elástico al momento de realizar el diseño de cimentaciones ha generado en algunos casos un sobredimensionamiento en la estructura. Esto se debe a que no se considera la deformabilidad del estrato de apoyo o la rigidez relativa entre el suelo de soporte y la cimentación. Por consiguiente, al diseñar cimentaciones y no tomar en cuenta todas las propiedades del suelo como el coeficiente de balasto va a generar un aumento económico en el armado de los elementos estructurales. Se tomará en cuenta los esfuerzos que se generan en las cimentaciones en base a la metodología aplicada, ya que al realizar una cimentación por el método rígido se obtienen esfuerzos uniformes a diferencia el método flexible que se encontrarán concentrados en las zonas donde se aplique la carga.

1.4 Delimitación

El edificio se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Turubamba, barrio Bellavista Sur. Al norte se encuentra la calle los Rosales, sur calle Camilo Gallegos, al este la calle E9 y al oeste calle E8J.

Figura 1.

Ubicación de la edificación



Nota. El cuadro de color rojo indica la ubicación exacta del edificio de 4 pisos objeto de este análisis. Elaborado por: Los autores, a través de Google Earth.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar cimentaciones aisladas y losas de cimentación, utilizando: el método rígido y elástico, cálculos manuales y el programa SAFE cumpliendo la normativa NEC 2015 y ACI 318S-14, con el fin de realizar una comparación económica y técnica considerando el detallado de planos

estructurales, la cuantía de acero, secciones de concreto, costos para ambos casos y conocer las ventajas o desventajas que tiene el utilizar cada uno de los métodos.

1.5.2 Objetivos Específicos

Investigar la teoría referente a los métodos rígidos y elásticos, por medio de bibliografía existente de diferentes especialistas, con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos en la resolución de problemas con métodos numéricos.

Diseñar cimentaciones aisladas y losas de cimentación, aplicando el software Slab Analysis by the Finite Element (SAFE), para obtener la interacción más aproximada a la realidad entre suelo - cimentación que producen los medios elásticos.

Comparar e interpretar los resultados obtenidos: económicos, volúmenes de obra y tiempos de ejecución entre los dos tipos de estructuras, por medio de programas estructurales existentes en el mercado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Cimentación

La cimentación es el elemento estructural más importante en una edificación. Su función es transmitir las cargas de la superestructura al suelo donde se está apoyando. La finalidad de la cimentación es proporcionar un adecuado comportamiento entre suelo – cimentación.

La cimentación de un edificio debe cumplir con lo siguiente:

- Transmitir al terreno las cargas estáticas y dinámicas.
- Dimensiones ajustadas a la capacidad de resistencia del suelo en el tiempo.
- Asentamientos no deben superar los límites admisibles.
- Prevenir los asentamientos por sobre consolidaciones y la licuefacción del suelo.

2.2 Cimentación Aislada

Las cimentaciones aisladas o superficiales son una de las estructuras más comunes que se utilizan en el medio al momento de realizar edificaciones de varios niveles.

Por otra parte, es necesario considerar la profundidad de excavación o de desplante que se realizará en la implantación del cimiento teniendo en cuenta que la profundidad no deberá superar a cuatro veces el ancho de la cimentación. Para poder realizar los cálculos necesarios se debe de tomar en cuenta algunos parámetros, según Valencia Guamán (2014):

En el cálculo de las presiones ejercidas por la zapata debe tenerse en cuenta además del peso del edificio y las sobrecargas, el peso de la propia zapata y de las tierras que descansan sobre sus vuelos, estas dos últimas cargas tienen un efecto desfavorable respecto al hundimiento. Por otra parte, en el cálculo de vuelco, donde el peso propio de la zapata y las tierras sobre ellas tienen un efecto favorable. (p.29)

En este sentido no basta con enfocarse solo en el peso de la edificación sino también considerar las otras partes del elemento que garantizará la estabilidad de la estructura. Es primordial realizar el cálculo por el método convencional “rígido” y posteriormente compararlo mediante el

programa SAFE, para determinar el dimensionamiento óptimo y adecuado del elemento estructural.

2.3 Losa de cimentación

Una losa de cimentación es una zapata combinada que cubre toda el área que queda debajo de una estructura y que soporta todos los muros y columnas. Cuando las cargas del edificio son tan pesadas o la presión admisible en el suelo es tan pequeña que las zapatas individuales van a cubrir más de la mitad del área del edificio, es probable que la losa corrida sea más económica que las zapatas. (Peck, Hanson, & Thornburn, 1984, pág. 224).

Por lo tanto, al obtener cimentaciones aisladas con dimensiones grandes en planta, las cuales están sujetas a cargas elevadas, es recomendable implementar el diseño de una losa de cimentación.

Las cimentaciones superficiales más eficaces para distribuir de manera uniforme las cargas grandes y/o cargas de columnas en suelos con baja capacidad de carga admisible, son las losas de cimentación y se recomienda utilizarlas en los siguientes casos:

- Cuando al diseñar la superficie cubierta por plintos aislados, esta supera el 50% del área total constructiva.
- Cuando se presentan grandes asentamientos diferenciales de las estructuras y se requiere reducirlos hasta que sean prácticamente insignificantes, para lograr una presión uniforme del suelo, una mejor interacción suelo- cimentación y aumentar la rigidez de la fundación.

- Cuando se encuentran en sitios como sótanos profundos, subsótanos o sobre suelo compresible, para producir un efecto permanente de descarga y redistribuir los esfuerzos netos en los suelos de cimentación. También la implementación de una losa en sótanos, resulta muy ventajosa porque nos sirve como una barrera contra el agua.

2.3.1 Tipos de cimentación

2.3.1.1 Losa maciza (plana)

Este tipo de losa es similar a la de entrepiso, tendrá unos espesores que oscila entre 0.50 m a 1 m aproximadamente, dependiendo de las cargas que se aplican en la edificación. En este tipo de estructuras, el espesor de losa, coincidiría con las vigas, es decir, que cuando se realiza una losa de cimentación en algunos casos se conectará por medio de vigas de amarre. Por otra parte, todos los elementos se deben encontrar al mismo nivel del piso terminado, con la finalidad de aprovechar la excavación ejecutada para la cimentación y conectar todos los elementos.

2.3.1.2 Losa maciza con refuerzo bajo las columnas

Proporciona resistencia suficiente para cargas de columna relativamente grandes.

2.3.1.3 Losa nervada bidireccional alivianada

De igual forma esta losa alivianada tiene las mismas características que una losa de entrepiso con la diferencia que se tiene: una carpeta inferior, una carpeta superior, nervios y alivianamientos.

2.3.1.4 Placas planas con pedestales (capiteles)

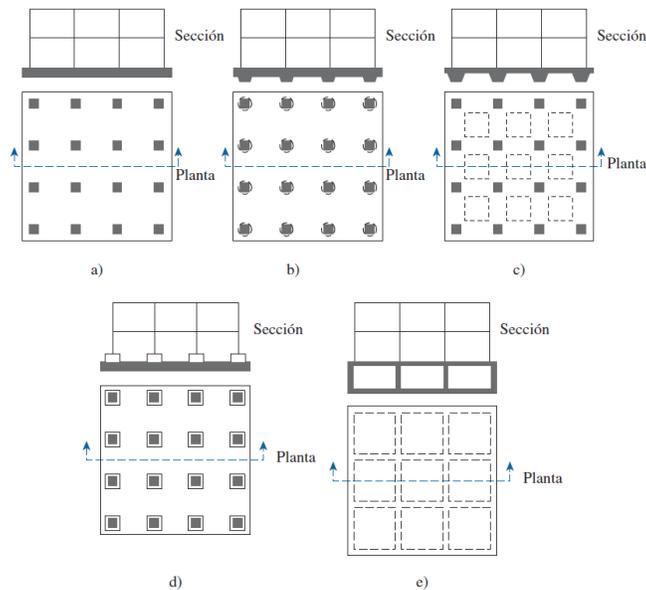
Estos capiteles son incrementos de hormigón en la zona donde se generan los cortantes por punzonamiento, si no cumple con la cantidad de hormigón aplicado en una determinada zona, es así como los capiteles sustituirán las geometrías originales para poder cubrir las solicitaciones estructurales.

2.3.1.5 Losa con muros de sótano como parte de la placa (en cajón)

En este tipo de losa las paredes actuarán de manera conjunta como refuerzo de la losa.

Figura 2.

Tipos de losa de cimentación



Nota. Vistas en planta y elevación de las losas de cimentación. Fuente: Braja Das (2012)

2.4 Diseño estructural de losas de cimentación

El diseño estructural de una losa de cimentación se efectúa mediante dos métodos convencionales: el método rígido convencional y el método flexible aproximado. También se pueden utilizar los métodos de la diferencia finita y del elemento finito, (Braja M., 2012, pág. 304)

De tal manera que una losa de cimentación es un elemento estructural muy importante al momento de hablar de la resistencia que este genera hacia el suelo. Además de la pérdida económica que puede llegar a representar al momento de realizar un análisis erróneo. Por otra parte, es importante utilizar métodos analíticos exactos, con la finalidad de obtener diseños óptimos y proporcionar un nivel de seguridad alto.

2.5 Método convencional rígido

Este método de diseño tiene similitudes con respecto a la resolución de la viga de cimentación (A nivel de “Diseño”). La principal característica del método de diseño convencional “rígido”, es suponer que la losa es infinitamente rígida. Así como también, la presión en el suelo está distribuida de manera uniforme y el centroide coincide con la línea de acción de las cargas resultantes de las columnas.

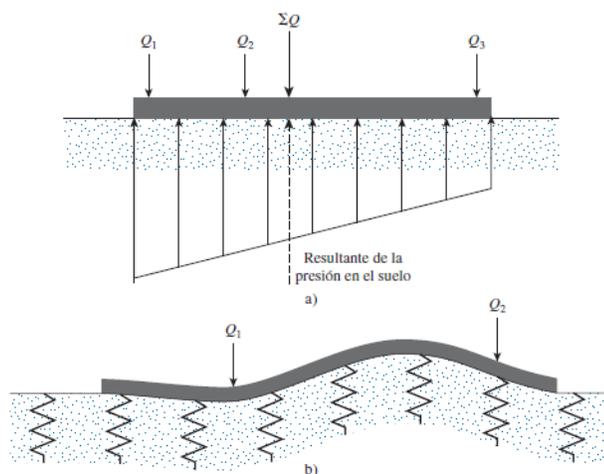
2.6 Método flexible aproximado

En el *método de diseño flexible aproximado*, supone que el suelo es equivalente a un número infinito de resortes elásticos, como se muestra en la figura 3.b) esta suposición se la denomina como *cimentación Winkler*. A la constante elástica de estos resortes supuestos, en el medio es conocido como *coeficiente de reacción del suelo o coeficiente de balasto, k* . (Braja M., 2012, pág. 308).

Por medio de esta suposición que emplea diferentes valores del coeficiente de balasto dependiendo del tipo de suelo en el que se va a realizar la edificación, lo que va a generar que existan resultados más ajustados a la realidad en concordancia con las cargas que soporta dicha cimentación.

Figura 3.

Método rígido y flexible aproximado



Nota. Principios de diseño mediante el método rígido convencional; b) principios del método flexible aproximado. Fuente: Braja Das (2012)

Para realizar el análisis del diseño estructural de una losa de cimentación, se deben conocer los principios del método flexible aproximado al evaluar el coeficiente de reacción de la subrasante, k .

2.7 Coeficiente de balasto

Uno de los parámetros más importantes para tomar en cuenta en la interacción suelo estructura al momento de realizar el diseño mediante el programa SAFE es el coeficiente de balasto. Según Olmedo Cueva (2013):

El módulo de balasto es una relación conceptual entre la presión del suelo y la deflexión que es ampliamente utilizado en el análisis estructural de los miembros de la fundación. Se utiliza para las zapatas continuas, losas de cimentación, y varios tipos de pilotes. (p.29)

Para lograr resultados más exactos es importante implementar las características propias de los medios elásticos, puesto, que así se obtendrán diseños que se acerquen de mejor manera a los modelos estructurales planteados en las varias teorías.

Figura 4.

Valores del coeficiente de balasto

Modulo de Reaccion del Suelo Datos para SAFE					
Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		

Nota. Valores en función de la resistencia admisible del terreno. Fuente: Morrison (1993)

Para el presente proyecto se realizará el análisis para dos tipos de suelo: blandos y densos. Se tomarán los valores de esfuerzos admisibles propuestos por Morrison de 1kg/cm² y 3 kg/cm² respectivamente. Cabe mencionar que siempre se debe contar con un estudio de suelos al momento de diseñar, pero para efectos de este informe se tomará en cuenta los valores mencionados.

2.8 Capacidad portante del suelo

La capacidad portante del suelo es uno de los parámetros más importantes para tomar en cuenta al momento de realizar cimentaciones. Este ayudará a determinar la resistencia que puede tener la

estructura, de tal forma de conocer el comportamiento que esta va a generar ante asentamientos excesivos y el fallo por corte.

Uno de los conflictos más difíciles de controlar es cuando existen fisuras en los elementos. Según León Freire (2016):

En todo tipo de edificación, el esfuerzo transmitido por la cimentación al suelo, debe ser inferior y como máximo igual al esfuerzo máximo del suelo de cimentación, sin embargo, cuando se excede este valor, el suelo falla sufriendo deformaciones considerables, por consiguiente, induce a que falle la cimentación provocando de esta manera que aparezcan fisuras y grietas en los elementos estructurales y no estructurales, e inclusive puede provocar el colapso de la edificación. (p.8)

Esto indica la importancia de realizar un correcto dimensionamiento de los elementos, además de un adecuado estudio de suelos para evitar catástrofes en un futuro y proporcionar seguridad al diseño, a través de factores de seguridad mínimos admisibles.

Tabla 1.*Presión máxima permisible del suelo*

Tipo de material	Unidades de EUA (klb/pie ²)	Unidades SI (kN/m ²)
Roca	20% de la resistencia última al aplastamiento	20% de la resistencia última al aplastamiento
Arena gruesa compacta, arena fina compacta, arcilla dura o arcilla arenosa	8	385
Arcilla semirígida o arcilla arenosa	6	290
Arena inorgánica compacta y mezclas de limo	4	190
Arena suelta	3	145
Arcilla arenosa suave o arcilla simple	2	95
Arena inorgánica suelta y mezclas de limo	1	50
Arena orgánica suelta y mezclas de limo, humus o barro de color blanco amarillento	0	0

Nota. Datos tomados de McCormac (2011), se muestra el valor numérico de la carga admisible según el tipo de material en el que se va a realizar la cimentación. Elaborado por: Los autores a través de Excel.

2.9 Cargas y momentos

Para estos dos parámetros es necesario considerar tanto la carga viva según el peso generado por el tipo de uso que se le va a dar a la edificación tomadas de la normativa NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas) y la carga muerta que se obtendrá debido al peso de los elementos estructurales. Además, se considerará el efecto sísmico del sitio donde se construirá la estructura.

Estos dos parámetros se los puede obtener mediante las normativas vigentes y por medio de la modelación del edificio en el programa ETABS que emplea elementos finitos. Posteriormente se exportará las solicitaciones obtenidas al SAFE para analizar las cimentaciones correspondientes, teniendo en cuenta que los datos a considerarse serán los que se encuentren en la base de la edificación.

2.10 Resistencia a la compresión del hormigón y esfuerzo de fluencia del acero

Estos datos se los puede adquirir de las especificaciones técnicas que nos proveen en los planos estructurales mediante los cuales fue diseñada la edificación y de las normativas vigentes del país.

2.11 Peso de relleno y del concreto

Estos datos se los puede obtener conociendo el tipo de suelo en el que se está trabajando. Además, podemos encontrarlas en las especificaciones técnicas que nos proporcionan en los planos estructurales.

2.12 Profundidad de desplante

La profundidad de la cimentación o desplante se la determinará tomando en cuenta la altura que existe entre: El nivel de la base de cimentación y el nivel de piso terminado. Además, dependiendo del tipo de suelo nos dará la capacidad de resistencia de todas las cargas que se encuentran aplicadas sobre ella.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

3.1.1 Investigación Experimental

La presente investigación tiene como finalidad emplear los conocimientos adquiridos desarrollando la comparación entre cálculos manuales y la modelación de un edificio de 4 pisos. Según Castillero (2021), “Se basa en la manipulación de variables en condiciones altamente controladas, replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables implicadas y manipuladas producen un efecto determinado”. Por lo tanto, la implementación de los dos tipos de metodologías (método rígido y método elástico), va a generar un cambio tanto en el dimensionamiento como en la cuantía de acero de refuerzo requerida. Además, mediante la recopilación de esta información puede obtenerse un ahorro económico.

3.2 Método

Para la ejecución del proyecto se aplicará el método cuantitativo y deductivo. De esta manera se cumplirá con el objetivo del trabajo y llegar a obtener las conclusiones mediante los análisis planteados. El método cuantitativo se lo implementará al momento de realizar la modelación, análisis y comparación de resultados, a través de herramientas matemáticas las cuales nos proporcionarán esta información. Por otra parte, el método deductivo nos ayudará a concluir con nuestro proyecto para determinar qué tipo de cimentación es la más apropiada. De tal forma de obtener un mejor armado de los elementos estructurales y un ahorro económico.

3.3 Técnica de recolección de información

La recopilación de información se la realizará a través de planos arquitectónicos y de los resultados del procesamiento de los modelos matemáticos utilizados, los cuales nos proporcionarán datos necesarios para la modelación de un edificio de 4 plantas. Por otra parte, la implementación de herramientas matemáticas y de un Software especializado en elementos finitos, servirán para obtener los resultados numéricos. A partir de ellos se podrá realizar los distintos análisis comparativos y obtener las conclusiones correspondientes.

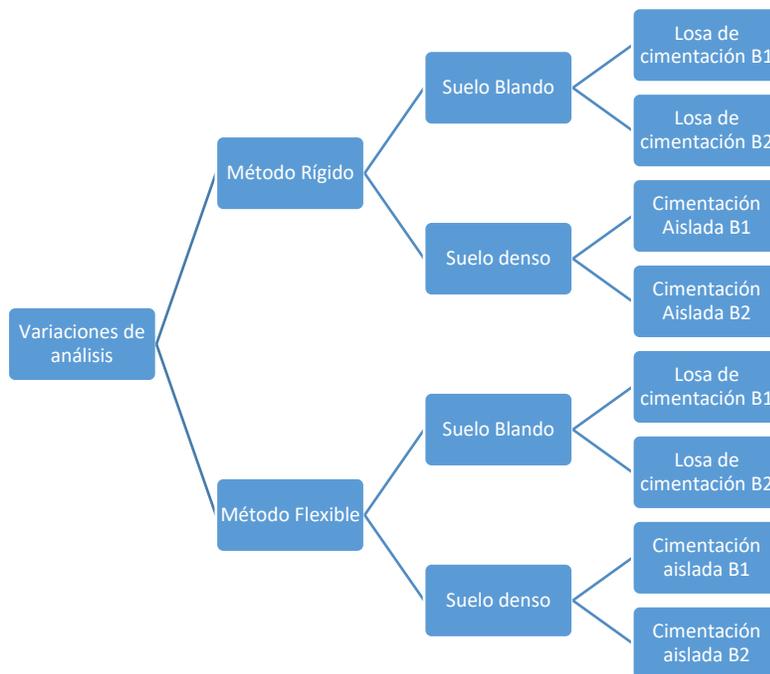
Otro tipo de recolección de información serán las distintas fuentes bibliográficas que nos servirán de apoyo para obtener los diferentes procedimientos de diseño estructural.

3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil

El proyecto de titulación se basa en realizar la comparación entre el método rígido y elástico teniendo en cuenta la interacción que puede generar el tipo de suelo en el que se está trabajando. Se desarrollará diferentes tipos de análisis tanto en suelos blandos como en suelos densos.

Figura 5.

Variaciones y análisis según los tipos de suelos



Nota. Se presentan los análisis conforme a los tipos de suelos y cimentaciones a desarrollarse en el proyecto técnico, mediante los métodos rígidos y elásticos. Elaborado por: Los autores

3.4.1 Recolección de información

Se buscará datos de estudios de suelos realizados con anterioridad, de tal manera de obtener el coeficiente de balasto y la capacidad portante que resiste el suelo. Además, se necesitará: La resistencia a la compresión del hormigón, el esfuerzo de fluencia del acero, profundidad de desplante, las cargas vivas que serán aplicadas dependiendo el tipo de uso que se le va a dar a la edificación tomadas de la normativa NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas) y las cargas muertas debido al peso propio de los elementos. El programa ETABS nos proporcionará las solicitaciones considerando el efecto sísmico de la zona donde se implantará la estructura. Luego estas solicitaciones serán exportadas al SAFE para comenzar el análisis de las cimentaciones.

3.4.2 Método rígido

Elaboración de hojas de cálculo mediante herramientas como Mathcad y Excel, con la finalidad de facilitar al diseñador en el desarrollo del procedimiento matemático. Esto se conseguirá a través de un pre dimensionamiento de las zapatas, verificando que cumplan cada una de las comprobaciones con respecto a la normativa vigente, con la finalidad de obtener un diseño definitivo de las zapatas aisladas.

3.4.2.1 Diseño de la cimentación aislada

Obtener las dimensiones en planta y elevación, además del área de acero teniendo en cuenta el tipo de zapata que se emplee, con la finalidad de obtener armados optimizados y verificar el punzonamiento para evitar fisuras excesivas por tracción y proporcionar estabilidad a la estructura cumpliendo con la normativa vigente de diseño de elementos de concreto armado.

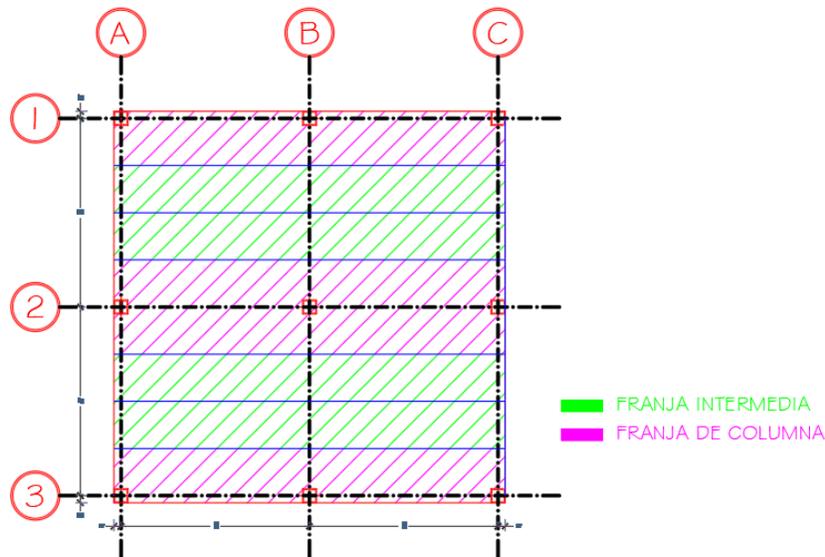
3.4.2.2 Diseño de la losa de cimentación

Elaboración de hojas de cálculo mediante herramientas como Mathcad y Excel, con la finalidad de facilitar al diseñador en el desarrollo del procedimiento matemático. Esto se conseguirá a través de un pre dimensionamiento de la losa de cimentación, teniendo en cuenta la distribución de cargas, el área de la sección y la división en franjas para verificar que cumplan cada una de las comprobaciones con respecto a la normativa vigente, con la finalidad de obtener un diseño definitivo.

- **Franja intermedia:** Es una franja limitada por dos franjas de columna, el diseñador debe aplicar su juicio profesional.
- **Franja de columna:** Se define como una franja que tiene un ancho igual a la mitad de la luz transversal o longitudinal cualquiera sea el valor que resulte menor.

Figura 6.

Franja de columna e intermedia – método rígido



Nota. Franjas intermedias de color verde y franjas de columna de color magenta. Elaborado por:

Los autores, a través de Autodesk, AutoCAD 2019

Para realizar el diseño de la losa de cimentación se debe obtener las dimensiones en planta y elevación de la losa, el área de acero (A_s) teniendo en cuenta las cargas aplicadas y la división de las franjas tanto intermedias como de columna, así como la normativa vigente de diseño de elementos estructurales en concreto armado NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado, con la finalidad de obtener armados óptimos y verificar la distribución de tensiones dependiendo del tipo de material sobre el que se encuentra cimentado. Esto se puede obtener al variar la capacidad portante del suelo.

3.4.3 Método elástico

Modelación y diseño en el programa SAFE empleando un número infinito de resortes elásticos. Para lograr esta suposición se modificará la constante elástica de reacción del suelo o también llamado coeficiente de balasto dependiendo del tipo de suelo en el que se encuentre implantada la edificación. A diferencia del método rígido que no se apoya sobre resortes elásticos, sino que se definen las franjas para calcular los esfuerzos, cortantes y momentos por zonas.

3.4.3.1 Zapatas aisladas y losa de cimentación

Diseño mediante un modelo en el programa SAFE empleando un número infinito de resortes elásticos, considerando su ubicación dentro del área constructiva y el tipo de cimentación implantada. Además, se variará el coeficiente de balasto suponiendo diferentes tipos de suelo. Posteriormente, se verificará que la distribución de tensión en el suelo no supere la admisible y proponer un armado más ajustado a la realidad.

En algunos casos, debido a la disponibilidad del terreno se presentarán zapatas excéntricas en las cuales es posible que los esfuerzos no alcancen el equilibrio, por ende, reflejará resultados poco confiables al momento de verificar que el esfuerzo producido por la cimentación sea menor o igual al esfuerzo admisible del suelo. Como solución a ello se implementará vigas de conexión o zapatas combinadas que ayudarán a transmitir esfuerzos entre las cimentaciones para cumplir con los requerimientos mínimos de la normativa vigente.

3.4.4 Comparación de resultados

Al obtener los resultados tanto por el método rígido y método elástico, se procederá a comparar los resultados económicos y técnicos como: cuantía de acero, secciones de concreto, tiempos de ejecución para ambos casos.

Por otra parte, se realizará la comparación de volúmenes de obra. Estos datos serán obtenidos a través de planos estructurales detallados según el tipo de cimentación implantada, con la intención de considerar la parte económica que va a tener el proyecto.

CAPÍTULO IV

MÉTODO ELÁSTICO

4.1 Análisis estructural empleando el Software ETABS

4.1.1 Descripción general del proyecto

El diseño de esta edificación está conformado por 2 bloques, el primer bloque consta de 3 plantas, una cubierta y un subsuelo, con una altura de entrepiso de 2.52 m y un área total de construcción de 86.14 m², mientras que el otro bloque consta de 2 plantas, una cubierta y un subsuelo, con una altura de entrepiso de 2.52 m y un área total de construcción de 108.56 m².

Las cargas vivas que serán aplicadas en la estructura dependerán del tipo de uso que se le va a dar a la edificación según la normativa NEC-SE-CG: Cargas no sísmicas, tabla 9 serán las siguientes:

- Residencias: Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) 2.00 kN/m²
- Balcones 4.80 kN/m²

4.1.2 Configuración estructural del proyecto

La estructura consiste en un sistema de pórticos especiales a momento de concreto con vigas banda en ambas direcciones. Los elementos que conforman la estructura son:

Tabla 2.

<i>Elementos estructurales B1</i>	
Tipo	Sección
Columna (1)	CH: 30X40
Columna (2)	CH: 35X40
Columna (3)	CH: L 35X35 E=25
Viga principal 1	VH: 20X20
Viga principal 2	VH: 25X35
Viga principal 3	VH: 25X40
Viga banda 1	VH: 30X25
Viga banda 2	VH: 35X25

Nota. Secciones de columnas y vigas del bloque 1. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

Tabla 3.

<i>Elementos estructurales B2</i>	
Tipo	Sección
Columna (1)	CH: 30X30
Columna (2)	CH: L 30X30 E=20
Viga principal 1	VH: 20X20
Viga principal 2	VH: 25X30
Viga principal 3	VH: 25X35
Viga principal 4	VH: 25X40
Viga banda 1	VH: 30X25

Nota. Secciones de columnas y vigas del bloque 2. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.3 Características mecánicas de los elementos empleados

En el diseño se utilizará el valor mínimo de resistencia a la compresión del hormigón armado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para satisfacer los requisitos de resistencia estructural.

Tabla 4.

<i>Hormigón de resistencia a la compresión ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$)</i>			
Propiedad mecánica	Símbolo	Valor numérico	Unidad
Módulo de elasticidad longitudinal secante	E	1637525.57	kg/cm ²
Coefficiente de Poisson	μ	0.2	-
Coefficiente de dilatación térmica	t	$1 \cdot 10^{-5}$	°C ⁻¹
Densidad	γ	2400	kg/m ³
Resistencia característica del hormigón	$f'c$	210	kg/cm ²
Resistencia característica del acero:	f_y	4200	kg/cm ²

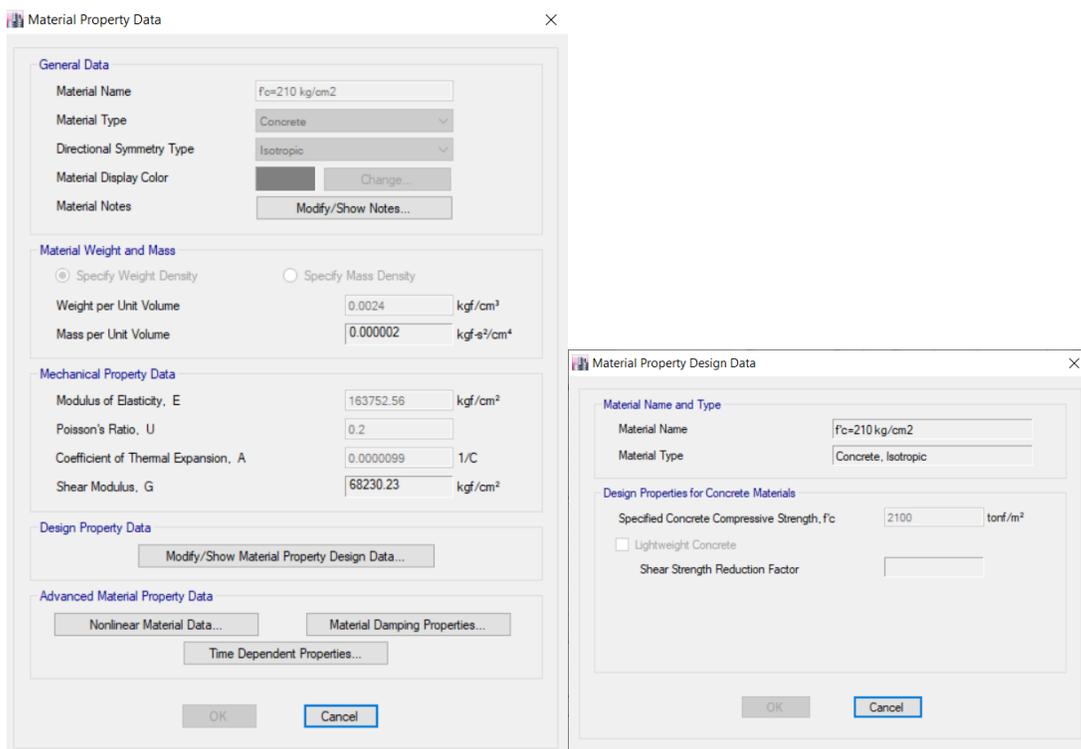
Nota. Valores de las propiedades mecánicas del hormigón empleado con su respectiva simbología. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

El módulo de elasticidad se calculará por medio de la siguiente expresión en base a la calidad de los materiales existentes en el país:

$$E = 11300 * \sqrt{f'c}$$

Figura 7.

Propiedades mecánicas del hormigón ingresadas al ETABS



Nota. Principales características mecánicas del hormigón como: resistencia a la compresión $f'c=210$ kgf/cm², módulo de elasticidad y el peso específico. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.4 Acero de refuerzo ASTM-A706/NTE-INEN 2126 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$)

El acero de refuerzo serán varillas corrugadas de diámetros comerciales que tendrán una tensión de fluencia $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 5.

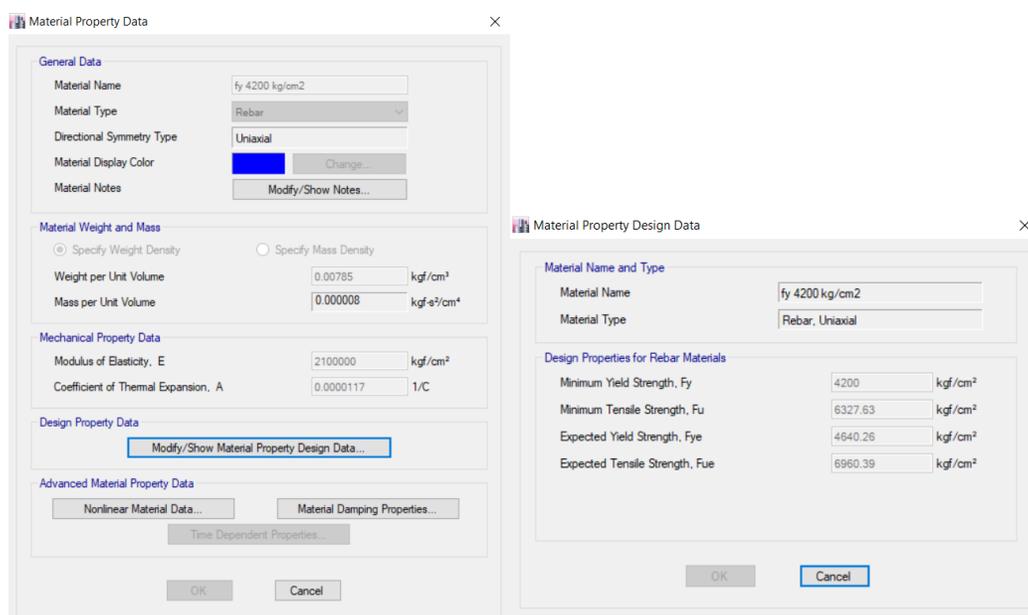
Acero de refuerzo (barras)

Propiedad mecánica	Símbolo	Valor numérico	Unidad
Módulo de elasticidad longitudinal	E	$2 \cdot 10^6$	kg/cm^2
Módulo de elasticidad transversal	G	$81 \cdot 10^6$	kN/m^2
Coefficiente de Poisson	μ	0.3	-
Coefficiente de dilatación térmica	t	$1.2 \cdot 10^{-5}$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Densidad	γ	7850	kg/m^3
Resistencia característica (límite elástico):	f_y	4200	kg/cm^2
Resistencia última a tracción:	f_u	6300	kg/cm^2

Nota. Valores de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo empleado con su respectiva simbología. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

Figura 8.

Propiedades mecánicas del acero de refuerzo ingresadas al ETABS



Nota. Principales características mecánicas del acero de refuerzo como: límite de fluencia $f_y=4200$ kgf/cm^2 , módulo de elasticidad y el peso específico. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.5 Filosofía de diseño

4.1.5.1 Códigos de diseño utilizados

El diseño de la estructura está basado en los siguientes códigos:

Normativa ecuatoriana de aplicación NEC-2015:

- **NEC - SE - CG** Cargas no sísmicas
- Actualización mediante Acuerdo Ministerial No. 0047 (15 de diciembre de 2014).

- **NEC - SE – DS** Peligro sísmico: diseño sismo resistente
Actualización mediante Acuerdo Ministerial No. 0047 (15 de diciembre de 2014).

- **NEC - SE - CM** Geotecnia y cimentaciones
Actualización mediante Acuerdo Ministerial No. 0047 (15 de diciembre de 2014).

- **NEC - SE - HM** Estructuras de hormigón armado
Actualización mediante Acuerdo Ministerial No. 0047 (15 de diciembre de 2014).

Normativa estadounidense de aplicación (complementaria):

- **ACI 318S-14** Requisitos de reglamento para concreto estructural

4.1.6 Criterios de diseño

4.1.6.1 Torsión accidental

La NEC-SE-DS: peligro sísmico plantea aplicar un valor del 5% para considerar los posibles efectos de torsión accidental en estructuras regulares e irregulares. Dicho valor se modificará acorde a las características del sistema analizado.

4.1.6.2 Diseño a flexión/flexo compresión de elementos de hormigón armado

En el diseño de hormigón armado se siguen las normas del código ACI 318S-14 y NEC-2015.

Las vigas se diseñarán a flexión y las columnas a flexo-compresión considerando las siguientes armaduras mínimas:

- El refuerzo mínimo de losas y muros cuando existe tensión por flexión será:

$$A_s \text{ min} = 0.0018 * b * h$$

- El refuerzo mínimo de losas y muros para contracción y temperatura será:

$$A_s \text{ temp} = 0.0020 * b * h$$

- El refuerzo mínimo de flexión para las vigas será:

$$A_s \text{ min} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

- El refuerzo mínimo de flexo-compresión para las columnas será:

$$A_s \text{ min} = 0.010 * b * h$$

Los detalles del refuerzo se pueden ver en los planos estructurales respectivos.

Los coeficientes parciales de seguridad para el hormigón armado se consideran de acuerdo con la normativa americana ACI 318s-14:

- Comprobaciones de estados límite últimos de resistencia a flexión:

$$\Phi = 0.90 \quad \text{en secciones controladas por tracción}$$

$\Phi = 0.65$ en secciones controladas por compresión

4.1.7 Combinaciones de carga

Para el cálculo y dimensionamiento de la superestructura y la cimentación se utilizarán las siguientes combinaciones de carga, según NEC-SE-CG sección 3.4.3.

Figura 9.

Combinaciones básicas de diseño

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]

Combinación 3*

1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]

Combinación 5*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

0.9 D + 1.0 W

Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

**Para las combinaciones 3, 4 y 5: L=0.5 kN/m² si L₀≤4.8 kN/m² (excepto para estacionamientos y espacios de reuniones públicas).*

Nota. Combinaciones de las componentes horizontales considerando cargas: viva, muerta, viva de techo, sismo en “X” y en “Y”. Fuente: NEC (2015)

4.1.8 Diseño sismo resistente

El diseño sismo resistente de la estructura se realiza mediante un modelo tridimensional compuesto por elementos estructurales para desarrollar un análisis sísmico estático y dinámico espectral, que utilizará la máxima respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan significativamente al comportamiento estructural.

4.1.9 Acciones sobre la estructura

Las acciones sobre la estructura que se considerarán en el diseño de la superestructura son las siguientes:

4.1.9.1 Cargas gravitacionales

Se considerará el peso propio de los elementos estructurales y constructivos.

Tabla 6.

Sobrecargas

Piso	Nivel	Uso	Live (kgf/m ²)	Sobrecarga (kgf/m ²)
1	+0.94	Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200	270
1	+0.94	Escaleras (únicamente residencias unifamiliares y bifamiliares)	200	40
2	+3.46	Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200	270
2	+3.46	Balcones	480	270
2	+3.46	Escaleras (únicamente residencias unifamiliares y bifamiliares)	200	40
3	+5.98	Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200	270
3	+5.98	Balcones	480	270
3	+5.98	Escaleras (únicamente residencias unifamiliares y bifamiliares)	200	40
4	+8.5	Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200	270

4	+8.5	Balcones	480	270
---	------	----------	-----	-----

Nota. Cargas aplicadas en cada nivel de la estructura de acuerdo al tipo de uso. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.9.2 Cargas muertas

En las cargas muertas se consideró: acabado por enlucido horizontal de 2 cm, terminado de piso con cerámica de peso específico 1.8 tonf/m³, y finalmente peso de paredes acorde a la distribución en planta del proyecto arquitectónico de 200 kgf/m² aproximadamente. Como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Cargas permanentes

Enlucido de piso		Masillado		Mampostería		Total
Descripción	(kg/m ²)	Descripción	(kg/m ²)	Descripción	(kg/m ²)	(kg/m ²)
Enlucido	44	Cerámica	27	Paredes	200	271

Nota. Valores totales de enlucido de piso, masillado y mampostería. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.10 Procedimiento estático

4.1.10.1 Cálculo de espectro de respuesta elástico de diseño

La NEC-SE-DS: peligro sísmico plantea calcular el espectro normalizado de respuesta elástica de diseño en la superficie del terreno, mediante las siguientes expresiones:

$$T_1 = C_t * h_n^\alpha$$

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

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

4.1.10.2 Ubicación de la estructura

La estructura se encuentra ubicada en la ciudad de Quito con una sismicidad alta, a la cual le corresponden los siguientes coeficientes:

$$Z = 0.40 \text{ g}$$

$$n = 2.48$$

$$r = 1$$

Según la ubicación de la estructura se tiene un suelo con perfil tipo D.

De acuerdo con esta caracterización y con la zonificación sísmica V se consideran los siguientes coeficientes de amplificación dinámica del suelo, de acuerdo con la norma NEC 2015:

- Factor de sitio para aceleraciones $F_a = 1.2$
- Factor de sitio para desplazamientos $F_d = 1.19$
- Factor del comportamiento inelástico del suelo $F_s = 1.28$

4.1.10.3 Periodo de vibración calculado

En el capítulo NEC-SE-DS: peligro sísmico, se considera que, para el parámetro del período fundamental de la estructura, se debe tomar en cuenta únicamente la altura de la estructura desde el nivel del suelo, y el tipo de configuración estructural.

Tabla 8.

<i>Periodo de vibración calculado</i>		
Símbolo	Valor	Unidad
Ct	0.055	-
α	0.9	-
hn	10.95	m
T1	0.474	s
T2=	0.616	s

Nota. Resultados de cálculo de los periodos determinados por el método 1 y 2. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.10.4 Aceleración espectral

Es la respuesta de aceleración máxima absoluta presente en un sistema estructural generado por un periodo de vibración dado.

Tabla 9.

<i>Aceleración espectral (Sa)</i>		
Símbolo	Valor	Unidad
Tc	0.698	s
η	2.48	
Sa	1.19	g

Nota. Resultado de cálculo de la aceleración espectral y límite para el periodo de vibración.

Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.10.5 Regularidad en planta y elevación

Debido a la irregularidad del proyecto se introducirán coeficientes que modifiquen el valor del cortante calculado

Tabla 10.

<i>Coefficiente de irregularidad</i>	
Símbolo	Valor
ϕ_P	1
ϕ_E	1

Nota. Valores de irregularidad asignados para el cálculo del cortante basal. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.10.6 Tipología estructural

El factor de reducción de resistencia sísmica (R) se asignará como menciona la normativa ecuatoriana en la especificación de estructuras de pórticos especiales de hormigón.

La tipología estructural utilizada se basará en un sistema de pórticos especiales sísmos resistentes de hormigón armado con vigas banda.

$$R = 6$$

4.1.10.7 Importancia

El valor de importancia que se le conferirá al edificio será de 1, dependerá del tipo de uso que se le dará a la estructura y por la cantidad máxima de personas que se espera frecuente el mismo.

4.1.10.8 Cortante basal de diseño (V)

El cortante basal se obtendrá mediante el cálculo estático simplificado, de acuerdo con la norma NEC-2015, sección 6.3.2:

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E}$$

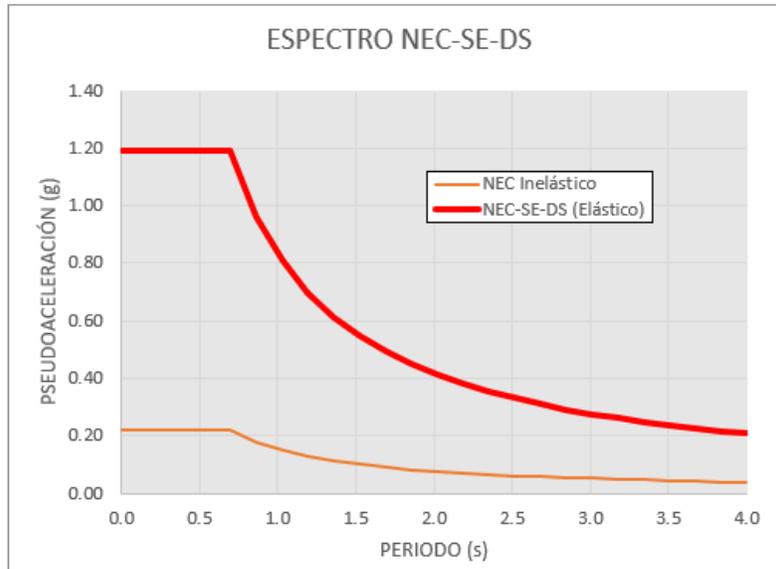
Tabla 11.

<i>Cortante basal de diseño (V)</i>		
V	0.198	W

Nota. Resultado del cortante basal. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

Figura 10.

Espectro elástico e inelástico



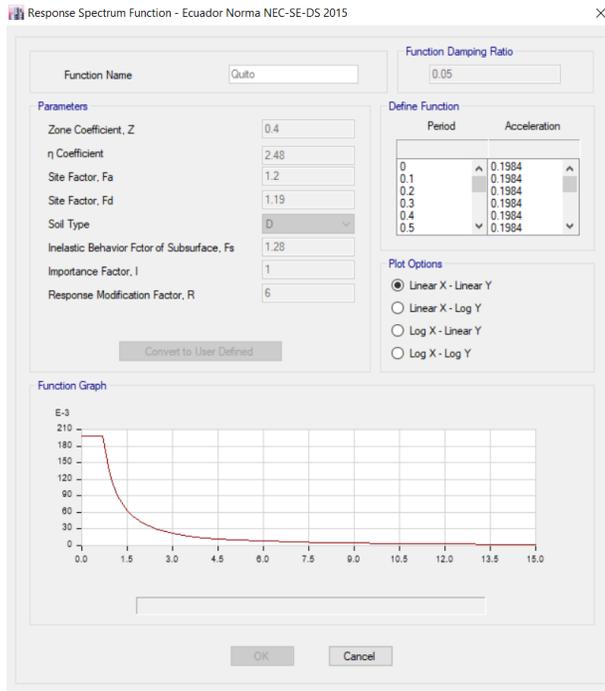
Nota. Espectro elástico del sistema y espectro inelástico afectado por el factor de reducción de resistencia sísmica R. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

4.1.11 Procedimiento dinámico

El espectro del sistema se definirá en el programa ETABS considerando los distintos factores que plantea la norma NEC-2015.

Figura 11.

Espectro de respuesta



Nota. Configuración del espectro de respuesta. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.12 Cargas sísmicas: procedimiento estático

Figura 12.

Sismo estático en dirección X

The screenshot shows the 'Seismic Load Pattern - User Defined' dialog box. The 'Direction and Eccentricity' section has the following settings: 'X Dir + Eccentricity' is checked, 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is 0.05, and 'Overwrite Eccentricities' is set to 'Overwrite...'. The 'Factors' section has 'Base Shear Coefficient, C' set to 0.1984 and 'Building Height Exp., K' set to 1.019. The 'Story Range' section has 'Top Story' set to 'Story4' and 'Bottom Story' set to 'Base'. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Nota. Patrón de carga y coeficiente de corte en la base del sismo estático X. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Figura 13.

Sismo estático en dirección Y

The screenshot shows the 'Seismic Load Pattern - User Defined' dialog box. The 'Direction and Eccentricity' section has the following settings: 'Y Dir + Eccentricity' is checked, 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is 0.05, and 'Overwrite Eccentricities' is set to 'Overwrite...'. The 'Factors' section has 'Base Shear Coefficient, C' set to 0.1984 and 'Building Height Exp., K' set to 1.019. The 'Story Range' section has 'Top Story' set to 'Story4' and 'Bottom Story' set to 'Base'. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Nota. Patrón de carga y coeficiente de corte en la base del sismo estático Y. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.13 Cargas sísmicas: procedimiento dinámico

Figura 14.

Sismo dinámico en dirección X

Load Case Data

General

Load Case Name: SDX Design...
Load Case Type: Response Spectrum Notes...
Exclude Objects in this Group: Not Applicable
Mass Source: Previous (Masa Reactiva)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Quito	9.8067

Add
Delete
 Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal
Modal Combination Method: CQC
 Include Rigid Response
Rigid Frequency, f1:
Rigid Frequency, f2:
Periodic + Rigid Type:
Earthquake Duration, td:
Directional Combination Type: SRSS
Absolute Directional Combination Scale Factor:
Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...
Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

OK Cancel

Nota. Método de combinación modal, función espectro de respuesta y dirección del desplazamiento de la aceleración sísmica en X. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Figura 15.

Sismo dinámico en dirección Y

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Guto	9.8067

Nota. Método de combinación modal, función espectro de respuesta y dirección del desplazamiento de la aceleración sísmica en Y. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.14 Cargas reactivas al sismo

Las cargas reactivas al sismo consideran el peso propio de los elementos y la sobrecarga generada por acabados y mampostería.

Figura 16.

Masa reactiva de la estructura

Mass Source Data

Mass Source Name: Masa Reactiva

Mass Source

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns
- Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Peso Propio	1
Peso Propio	1
CM Sobrecarga	1

Mass Options

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

OK Cancel

Nota. Fuentes de masa. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

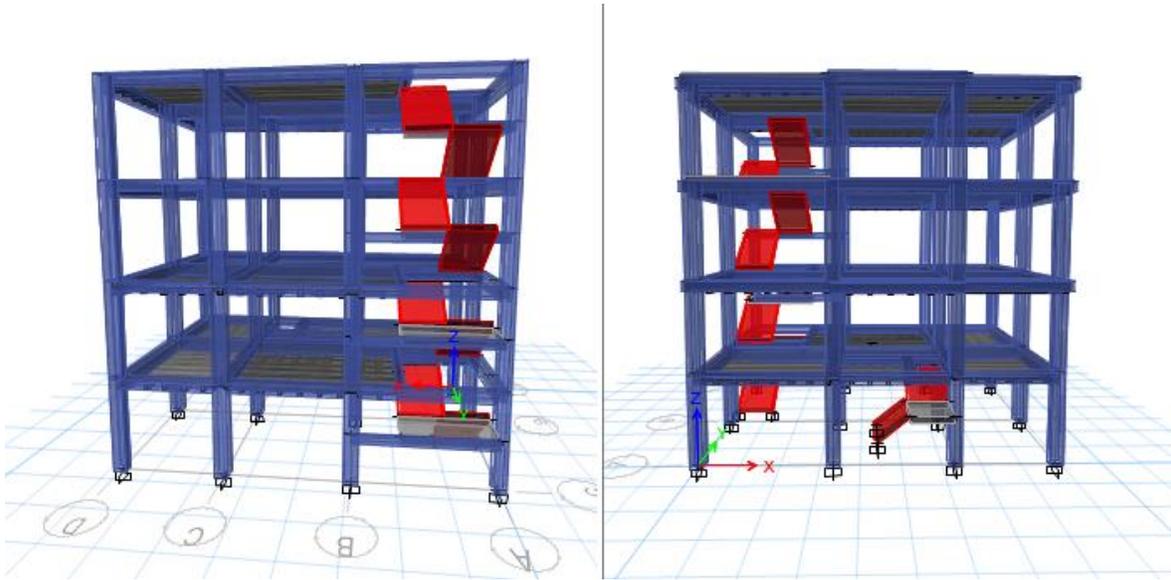
4.1.15 Modelo estructural bloque 1

4.1.16 Generación de modelo de análisis

La estructura se analizará usando un programa de elementos finitos, por medio de elementos barra y área que discretizan a vigas, losas, columnas y muros.

Figura 17.

Vista tridimensional de la estructura B1



Nota. Vista 3D de los elementos estructurales. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

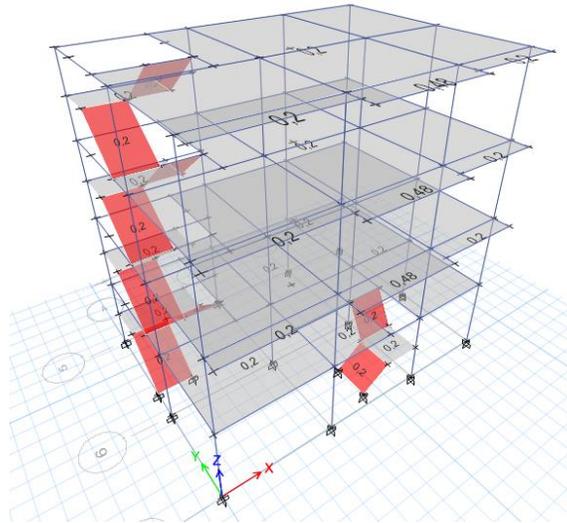
4.1.17 Colocación de cargas en programa de cálculo

4.1.17.1 Cargas gravitacionales

Se evidenciará en los elementos área las cargas aplicadas en el programa como: carga viva y sobrecarga.

Figura 18.

Carga viva

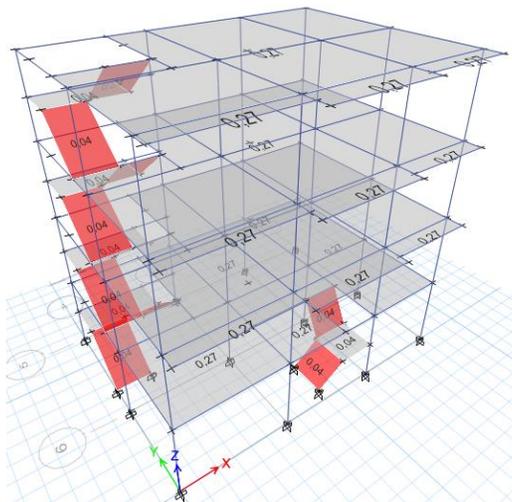


Nota. Cargas vivas aplicadas en cada paño de losa de entrepiso en el modelo tridimensional.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Figura 19.

Sobrecarga



Nota. Sobrecargas aplicadas en cada paño de losa de entrepiso en el modelo tridimensional.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

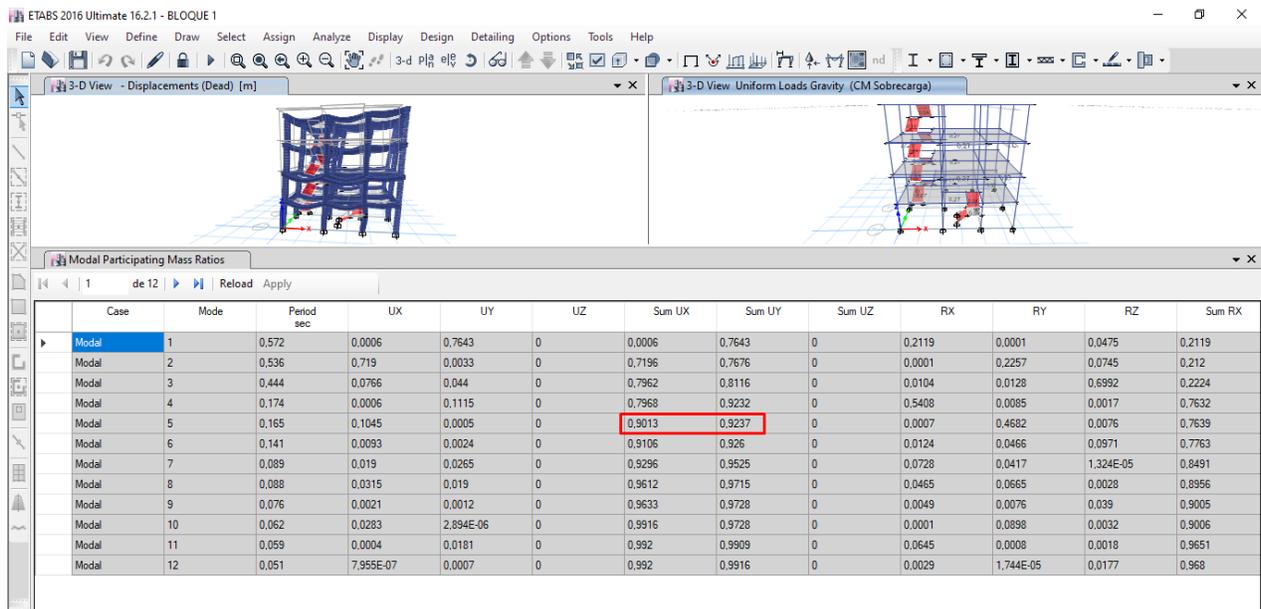
4.1.18 Análisis estructural

4.1.18.1 Períodos de vibración y participación modal

La normativa NEC-SE-DS, plantea considerar los modos de vibración que movilicen la participación de una masa modal acumulada de al menos un 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales consideradas.

Figura 20.

Modos de vibración



Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX
Modal	1	0,572	0,0006	0,7643	0	0,0006	0,7643	0	0,2119	0,0001	0,0475	0,2119
Modal	2	0,536	0,719	0,0033	0	0,7196	0,7676	0	0,0001	0,2257	0,0745	0,212
Modal	3	0,444	0,0766	0,044	0	0,7962	0,8116	0	0,0104	0,0128	0,6992	0,2224
Modal	4	0,174	0,0006	0,1115	0	0,7968	0,9232	0	0,5408	0,0085	0,0017	0,7632
Modal	5	0,165	0,1045	0,0005	0	0,9013	0,9237	0	0,0007	0,4682	0,0076	0,7639
Modal	6	0,141	0,0093	0,0024	0	0,9106	0,926	0	0,0124	0,0466	0,0971	0,7763
Modal	7	0,089	0,019	0,0265	0	0,9296	0,9525	0	0,0728	0,0417	1,324E-05	0,8491
Modal	8	0,088	0,0315	0,019	0	0,9612	0,9715	0	0,0465	0,0665	0,0028	0,8956
Modal	9	0,076	0,0021	0,0012	0	0,9633	0,9728	0	0,0049	0,0076	0,039	0,9005
Modal	10	0,062	0,0283	2,894E-06	0	0,9916	0,9728	0	0,0001	0,0898	0,0032	0,9006
Modal	11	0,059	0,0004	0,0181	0	0,992	0,9909	0	0,0645	0,0008	0,0018	0,9651
Modal	12	0,051	7,955E-07	0,0007	0	0,992	0,9916	0	0,0029	1,744E-05	0,0177	0,968

Nota. Modos suficientes para alcanzar un 90% mínimo de la masa modal de la edificación en las direcciones X e Y. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.18.2 Peso de la estructura

Figura 21.

Peso de los elementos estructurales

Material List by Story								
Story	Element Type	Material	Total Weight tonf	Floor Area m ²	Unit Weight tonf/m ²	# Pieces	# Studs	
Story4	Column	f _c =210 kg/cm ²	9,70704	69,9	0,1389	12		
Story4	Beam	f _c =210 kg/cm ²	14,7135	69,9	0,2105	27	0	
Story4	Wall	f _c =210 kg/cm ²	2,04849	69,9	0,0293			
Story4	Floor	f _c =210 kg/cm ²	20,7975	69,9	0,2975			
Story3	Column	f _c =210 kg/cm ²	9,70704	69,9	0,1389	12		
Story3	Beam	f _c =210 kg/cm ²	14,7135	69,9	0,2105	27	0	
Story3	Wall	f _c =210 kg/cm ²	2,04849	69,9	0,0293			
Story3	Floor	f _c =210 kg/cm ²	20,7975	69,9	0,2975			
Story2	Column	f _c =210 kg/cm ²	9,70704	69,9	0,1389	12		
Story2	Beam	f _c =210 kg/cm ²	14,7135	69,9	0,2105	27	0	
Story2	Wall	f _c =210 kg/cm ²	2,04849	69,9	0,0293			
Story2	Floor	f _c =210 kg/cm ²	20,7975	69,9	0,2975			
Story1	Column	f _c =210 kg/cm ²	9,70704	63,23	0,1535	12		
Story1	Beam	f _c =210 kg/cm ²	13,34745	63,23	0,2111	22	0	
Story1	Wall	f _c =210 kg/cm ²	3,27236	63,23	0,0518			
Story1	Floor	f _c =210 kg/cm ²	19,01012	63,23	0,3007			
SUM	Column	f _c =210 kg/cm ²	38,82816	272,92	0,1423	48		
SUM	Beam	f _c =210 kg/cm ²	57,48795	272,92	0,2106	103	0	
SUM	Wall	f _c =210 kg/cm ²	9,41785	272,92	0,0345			
SUM	Floor	f _c =210 kg/cm ²	81,40262	272,92	0,2983			
TOTAL	ALL	ALL	187,13658	272,92	0,6857	151	0	

Nota. Niveles de piso con su respectivo material y peso total de los elementos estructurales.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

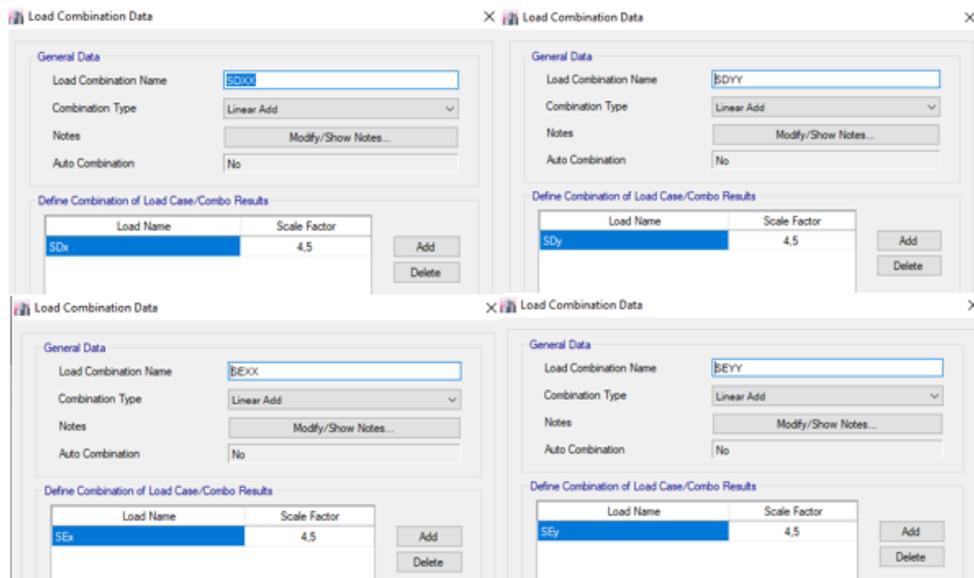
4.1.18.3 Derivas de piso

Para el cálculo de las derivas elásticas e inelásticas se usarán las combinaciones siguientes:

$$\Delta i = 0.75 * R * \Delta$$

Figura 22.

Combinaciones de carga para revisar derivas inelásticas



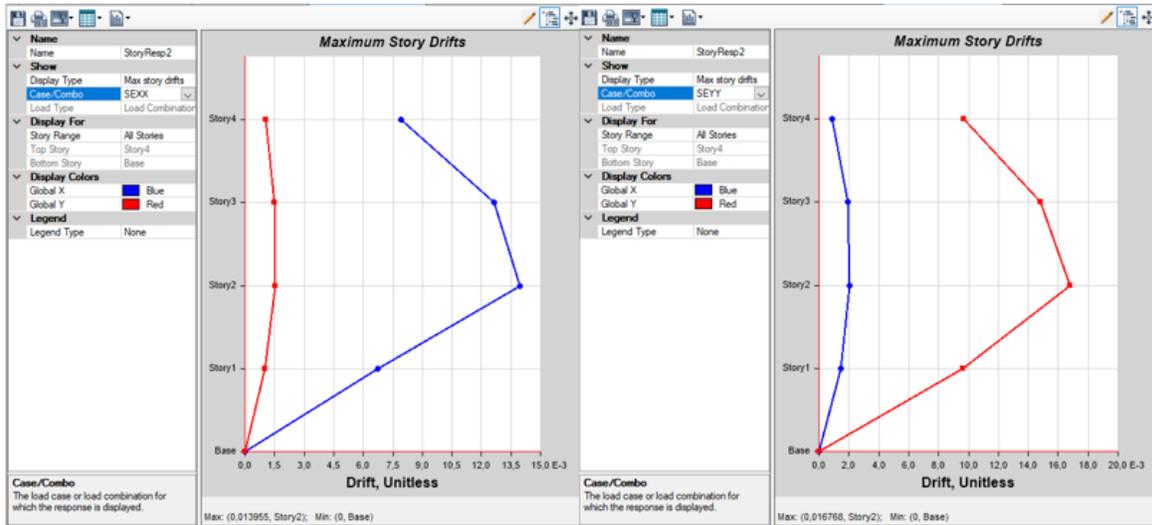
Nota. Factor de modificación de derivas inelásticas. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.18.4 Sismo estático

Se verificará las derivas en ambos sentidos X y Y del sismo estático.

Figura 23.

Deriva inelástica sismo estático en dirección X e Y



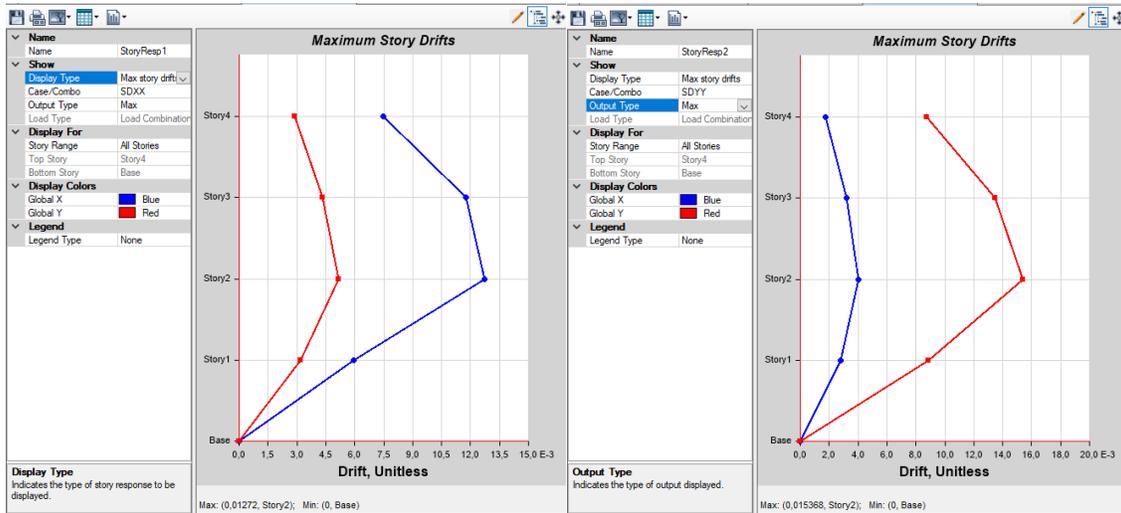
Nota. Diagrama y máximo valor de derivas inelásticas en cada nivel de piso. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.18.5 Sismo dinámico

Se verificará las derivas en ambos sentidos X y Y del sismo dinámico.

Figura 24.

Deriva inelástica sismo dinámico en dirección X e Y



Nota. Diagrama y máximo valor de derivas inelásticas en cada nivel de piso. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Tabla 12.

Derivas de piso

Carga	Elástica	Inelástica
Sx	0,003101	0,0139545
Sy	0,003726	0,016767
Sxx	0,002827	0,0127215
Syy	0,003415	0,0153675

Nota. Resumen de los valores máximos de derivas estáticos y dinámicos de derivas

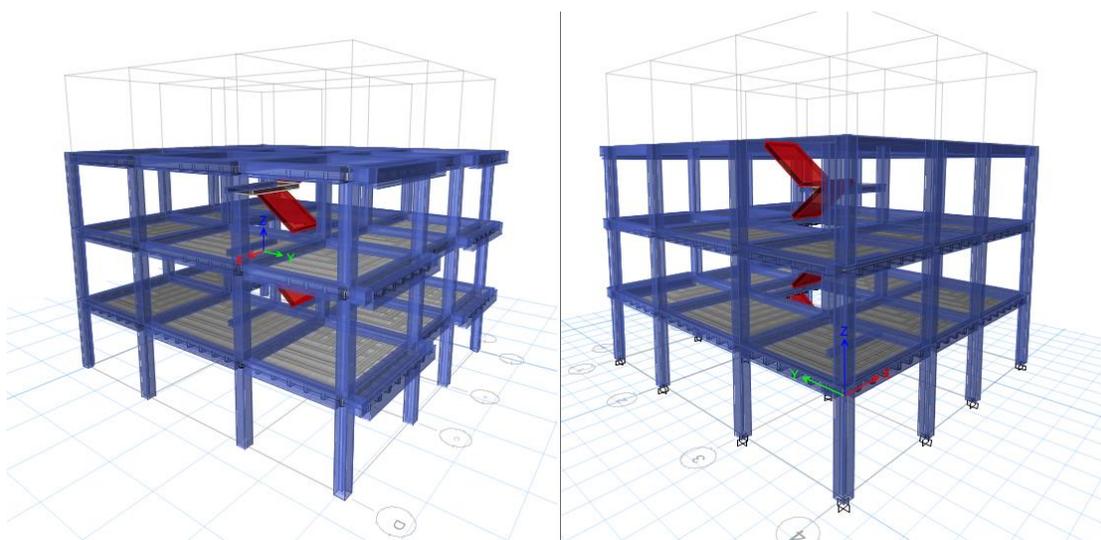
4.1.19 Modelo estructural bloque 2

4.1.20 Generación de modelo de análisis

La estructura se analizará usando un programa de elementos finitos, por medio de elementos barra y área que discretizan a vigas, losas, columnas y muros.

Figura 25.

Vista tridimensional de la estructura B2



Nota. Vista 3D de los elementos estructurales. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

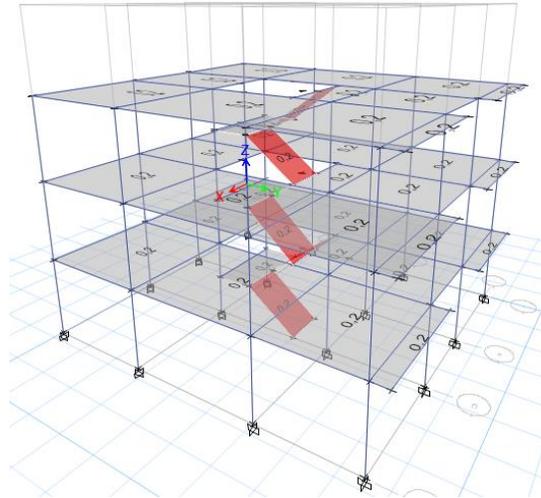
4.1.21 Colocación de cargas en programa de cálculo

4.1.21.1 Cargas gravitacionales

Se evidenciará en los elementos área las cargas aplicadas en el programa como: carga viva y sobrecarga.

Figura 26.

Carga viva

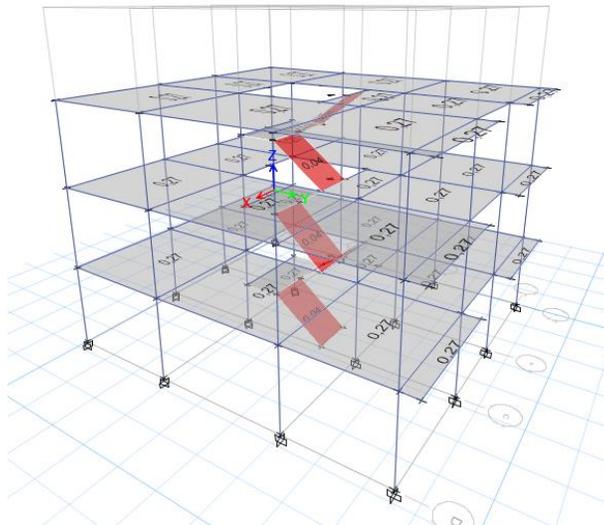


Nota. Cargas vivas aplicadas en cada paño de losa de entrepiso en el modelo tridimensional.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Figura 27.

Sobrecarga



Nota. Sobrecargas aplicadas en cada paño de losa de entrepiso en el modelo tridimensional.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

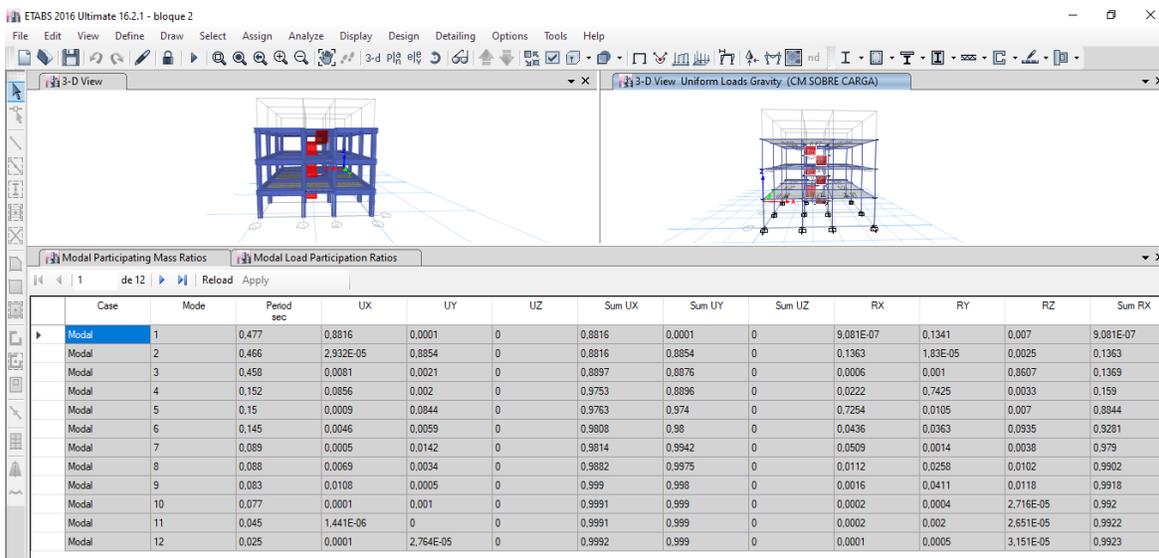
4.1.22 Análisis estructural

4.1.22.1 Períodos de vibración y participación modal

La normativa NEC-SE-DS, plantea considerar los modos de vibración que movilicen la participación de una masa modal acumulada de al menos un 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales consideradas.

Figura 28.

Modos de vibración



Nota. Modos suficientes para alcanzar un 90% mínimo de la masa modal de la edificación en las direcciones X e Y. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.22.2 Peso de la estructura

Figura 29.

Peso de los elementos estructurales

Material List by Story

de 17 | Reload Apply

	Story	Element Type	Material	Total Weight tonf	Floor Area m ²	Unit Weight tonf/m ²	# Pieces	# Studs
▶	N+5,27	Column	F'c=210 kg/cm ²	8,47697	101,45	0,0836	16	
	N+5,27	Beam	F'c=210 kg/cm ²	16,5701	101,45	0,1633	32	0
	N+5,27	Wall	F'c=210 kg/cm ²	2,27314	101,45	0,0224		
	N+5,27	Floor	F'c=210 kg/cm ²	30,1053	101,45	0,2968		
	N+2,75	Column	F'c=210 kg/cm ²	8,47697	101,45	0,0836	16	
	N+2,75	Beam	F'c=210 kg/cm ²	16,5701	101,45	0,1633	32	0
	N+2,75	Wall	F'c=210 kg/cm ²	2,28189	101,45	0,0225		
	N+2,75	Floor	F'c=210 kg/cm ²	30,1053	101,45	0,2968		
	N+0,23	Column	F'c=210 kg/cm ²	8,47697	101,45	0,0836	16	
	N+0,23	Beam	F'c=210 kg/cm ²	16,5701	101,45	0,1633	32	0
	N+0,23	Wall	F'c=210 kg/cm ²	2,27364	101,45	0,0224		
	N+0,23	Floor	F'c=210 kg/cm ²	30,1053	101,45	0,2968		
	SUM	Column	F'c=210 kg/cm ²	25,43091	304,35	0,0836	48	
	SUM	Beam	F'c=210 kg/cm ²	49,7103	304,35	0,1633	96	0
	SUM	Wall	F'c=210 kg/cm ²	6,82867	304,35	0,0224		
	SUM	Floor	F'c=210 kg/cm ²	90,31591	304,35	0,2968		
	TOTAL	ALL	ALL	172,28579	304,35	0,5661	144	0

Nota. Niveles de piso con su respectivo material y peso total de los elementos estructurales.

Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

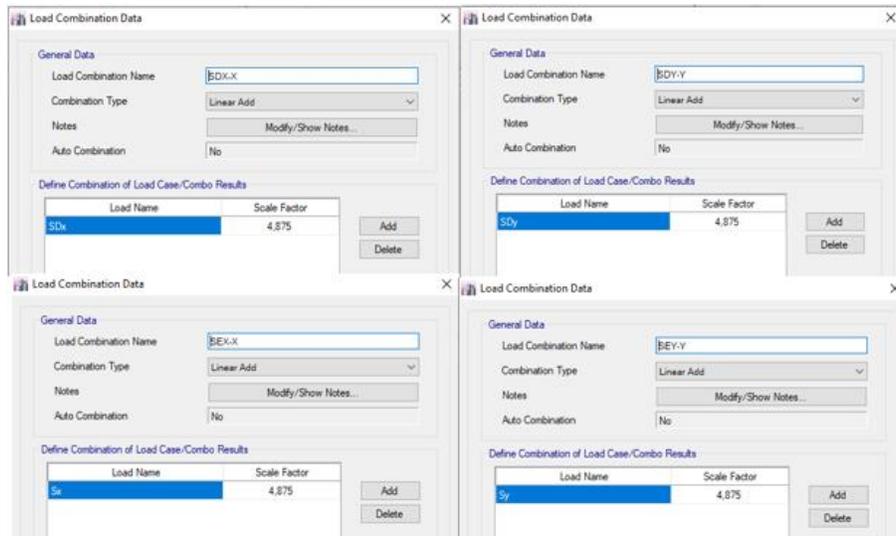
4.1.22.3 Derivas de piso

Para el cálculo de las derivas elásticas e inelásticas se usarán las combinaciones siguientes:

$$\Delta i = 0.75 * R * \Delta$$

Figura 30.

Combinaciones de carga para revisar derivas inelásticas



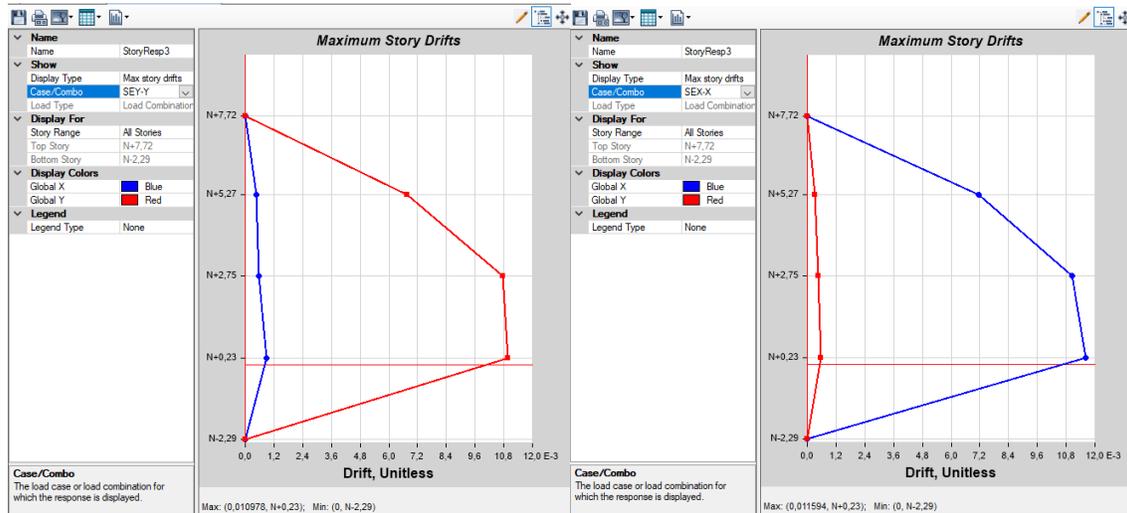
Nota. Factor de modificación de derivas inelásticas. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.22.4 Sismo estático

Se verificará las derivas en ambos sentidos X y Y del sismo estático.

Figura 31.

Deriva inelástica sismo estático en dirección X e Y



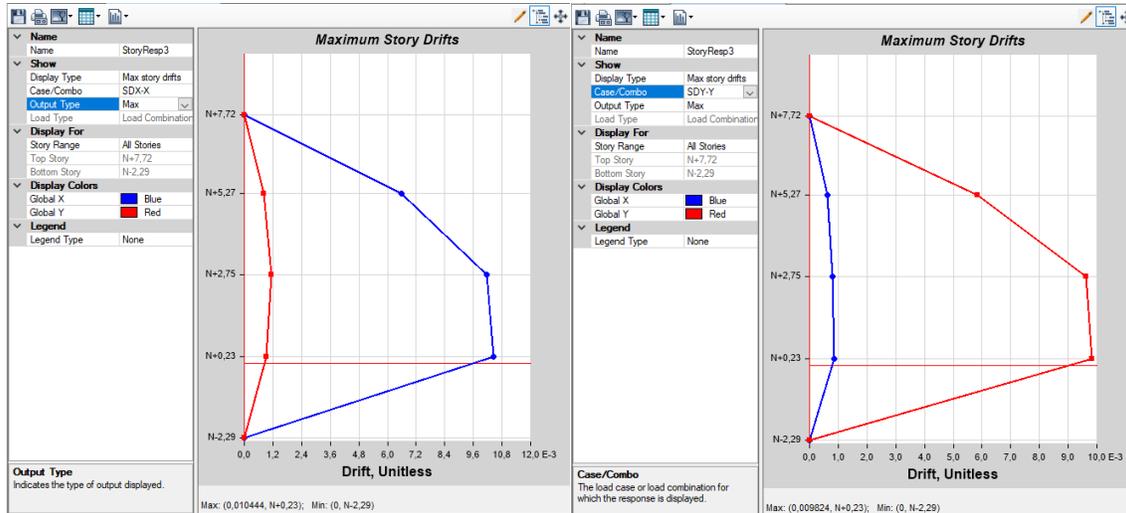
Nota. Diagrama y máximo valor de derivas inelásticas en cada nivel de piso. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

4.1.22.5 Sismo dinámico

Se verificará las derivas en ambos sentidos X y Y del sismo dinámico.

Figura 32.

Deriva inelástica sismo dinámico en dirección X e Y



Nota. Diagrama y máximo valor de derivas inelásticas en cada nivel de piso. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Tabla 13.

Derivas de piso

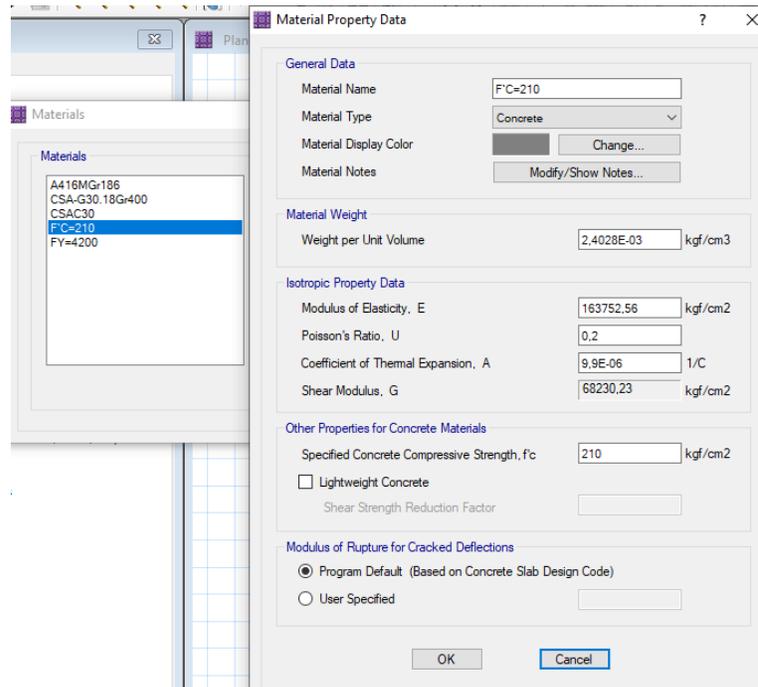
Carga	Elástica	Inelástica
Sx	0,002378	0,01159275
Sy	0,002252	0,0109785
Sxx	0,002142	0,01044225
Syy	0,002015	0,00982313

Nota. Resumen de los valores máximos de derivas estáticos y dinámicos de derivas

4.2 Material utilizado en cimentaciones

Figura 33.

Propiedades mecánicas del hormigón ingresadas al SAFE

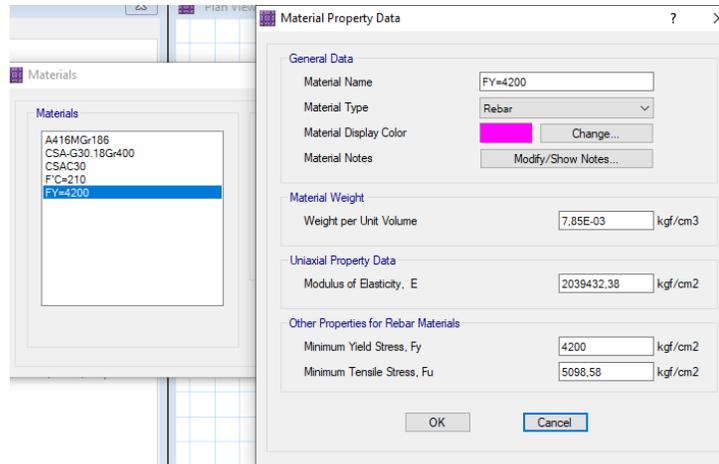


Nota. Principales características mecánicas del hormigón como: resistencia a la compresión $f'_c=210$ kgf/cm², módulo de elasticidad y el peso específico. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.3 Acero para varillas de refuerzo ASTM-A706/NTE-INEN 2126 ($f_y=4200$ kg/cm²)

Figura 34.

Propiedades mecánicas del acero ingresadas al SAFE

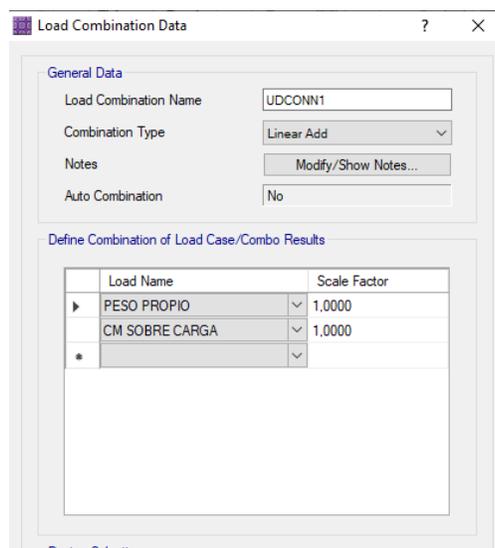


Nota. Principales características mecánicas del acero de refuerzo como: límite de fluencia $f_y=4200$ kgf/cm², módulo de elasticidad y el peso específico. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.4 Combinaciones de cargas aplicadas en el análisis de cada tipo de suelo

Figura 35.

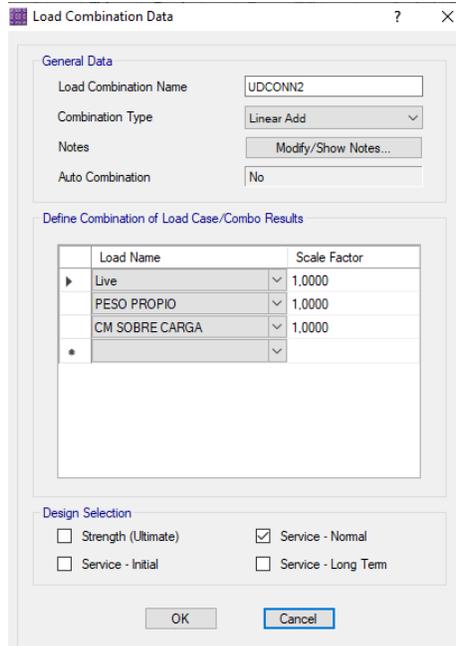
Combinación UDCONN1



Nota. Combinación de servicio por peso propio y sobrecarga. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 36.

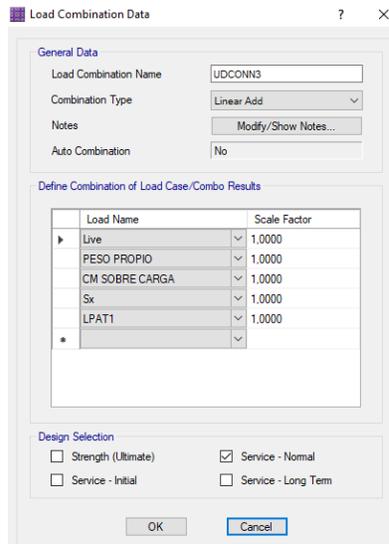
Combinación UDCONN2



Nota. Combinación de servicio por carga viva, peso propio y sobrecarga. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 37.

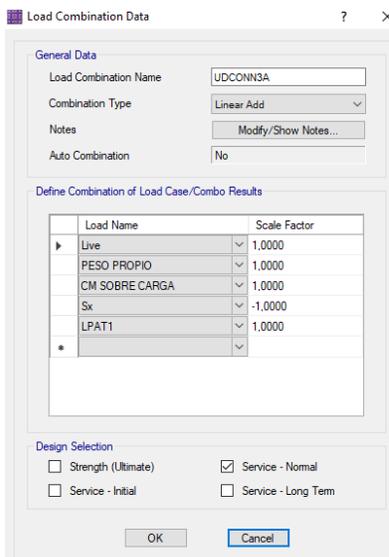
Combinación UDCONN3



Nota. Combinación de servicio por carga viva, peso propio, sobrecarga, Sismo en “X” y peso del suelo aplicado sobre la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 38.

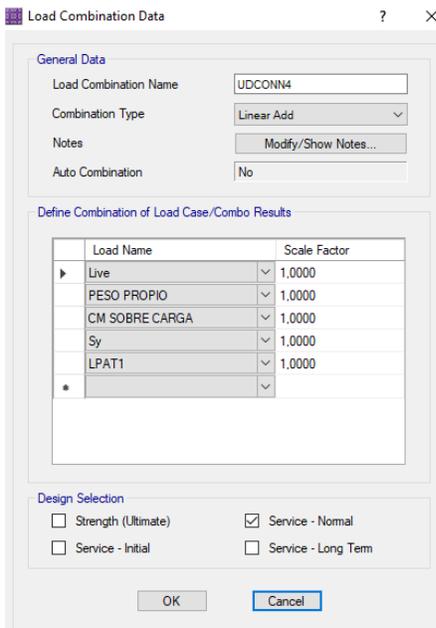
Combinación UDCONN3A



Nota. Combinación de servicio por carga viva, peso propio, sobrecarga, Sismo en “X” negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 39.

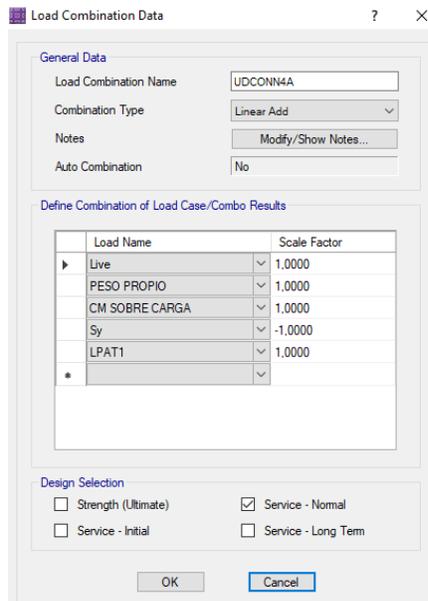
Combinación UDCONN4



Nota. Combinación de servicio por carga viva, peso propio, sobrecarga, Sismo en “Y” y peso del suelo aplicado sobre la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 40.

Combinación UDCONN4A



Nota. Combinación de servicio por carga viva, peso propio, sobrecarga, Sismo en “y” negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

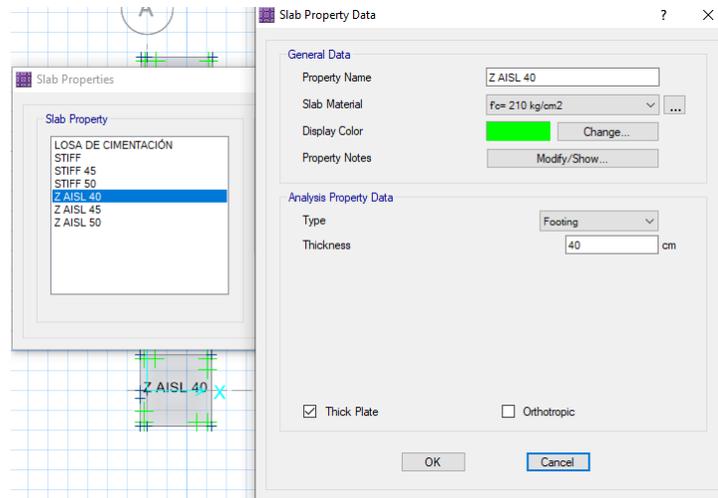
4.5 Chequeo del diseño de cimentaciones aisladas B1 ($q_a = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

Sistema de plintos aislados de cimentación. - El sistema resistente en la base consta de plintos aislados tal como se detallan más adelante.

4.5.1 Propiedades del suelo y dimensiones de las cimentaciones

Figura 41.

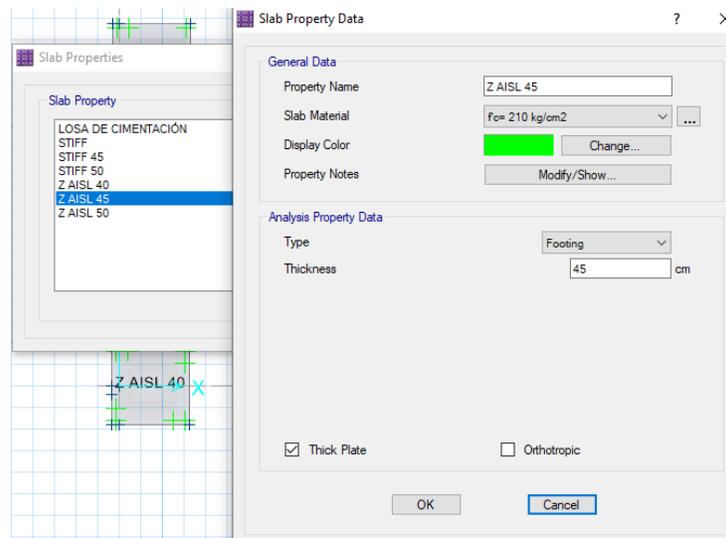
Altura de la zapata $H=40\text{cm}$



Nota. Tipo de propiedad y espesor de la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 42.

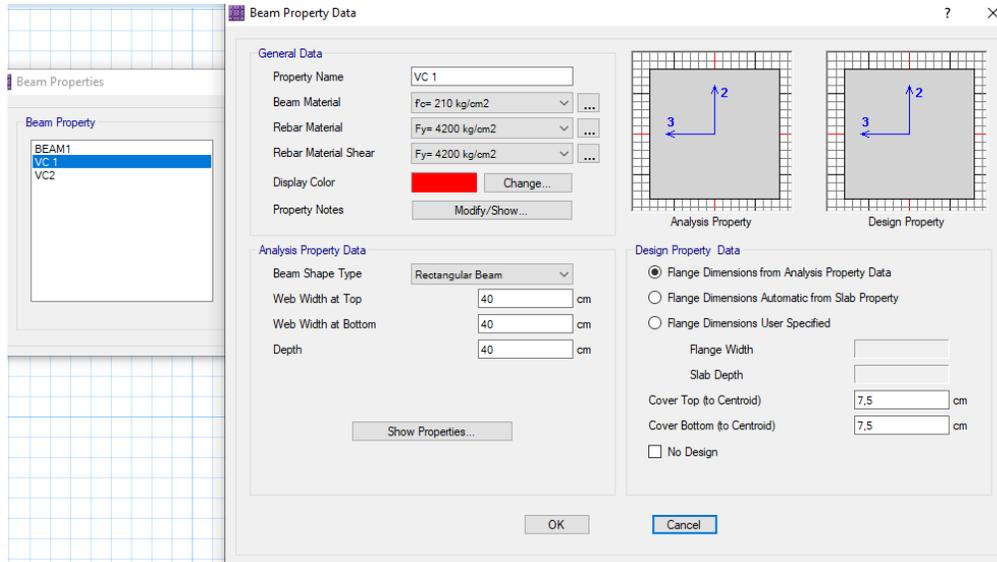
Altura de la zapata $H=45\text{cm}$



Nota. Tipo de propiedad y espesor de la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 43.

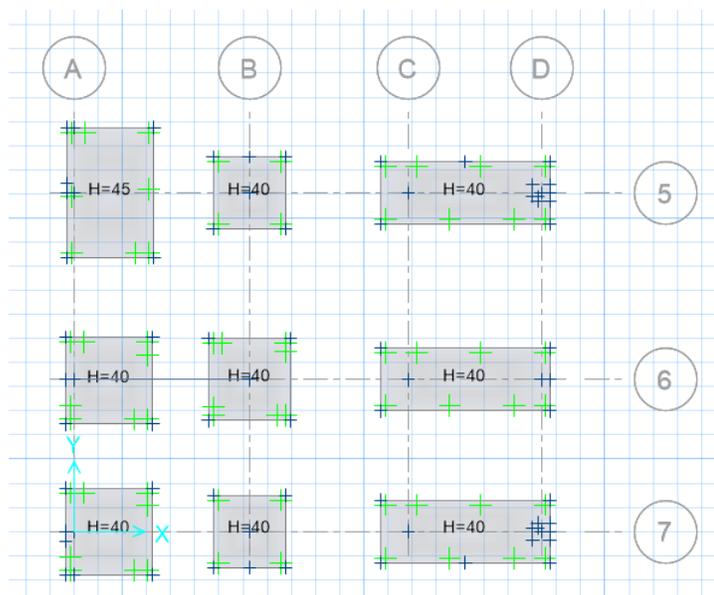
Dimensiones de la viga de conexión



Nota. Longitud, ancho, recubrimiento y espesor de la viga de conexión. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 44.

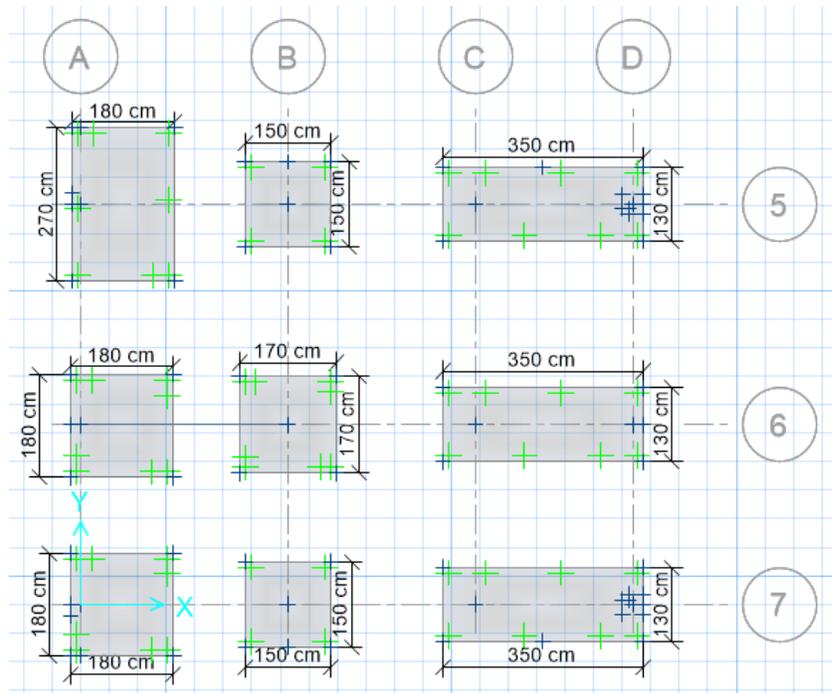
Distribución, identificación y altura de zapatas



Nota. Cimentaciones con su respectivo espesor. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 45.

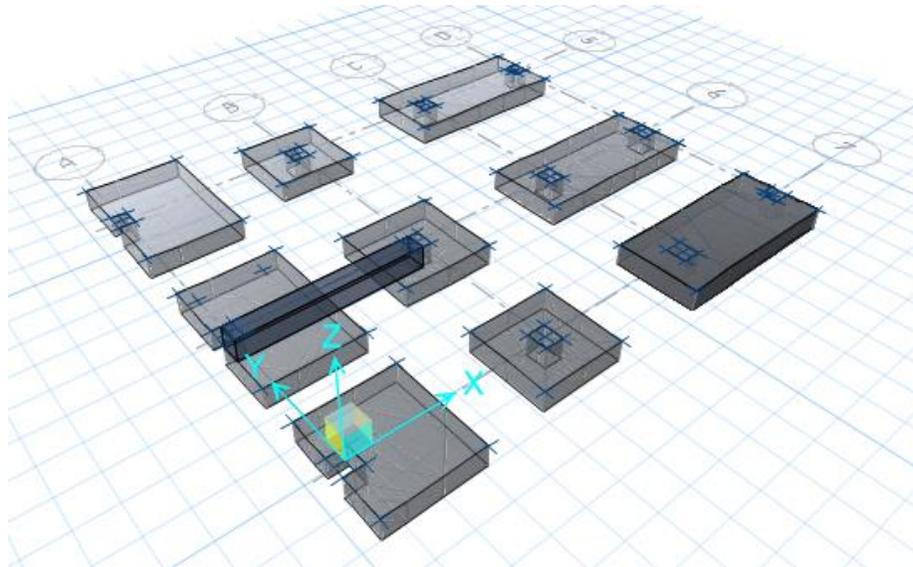
Dimensiones en planta de las cimentaciones



Nota. Ancho, longitud y tipo de cimentación empleada. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 46.

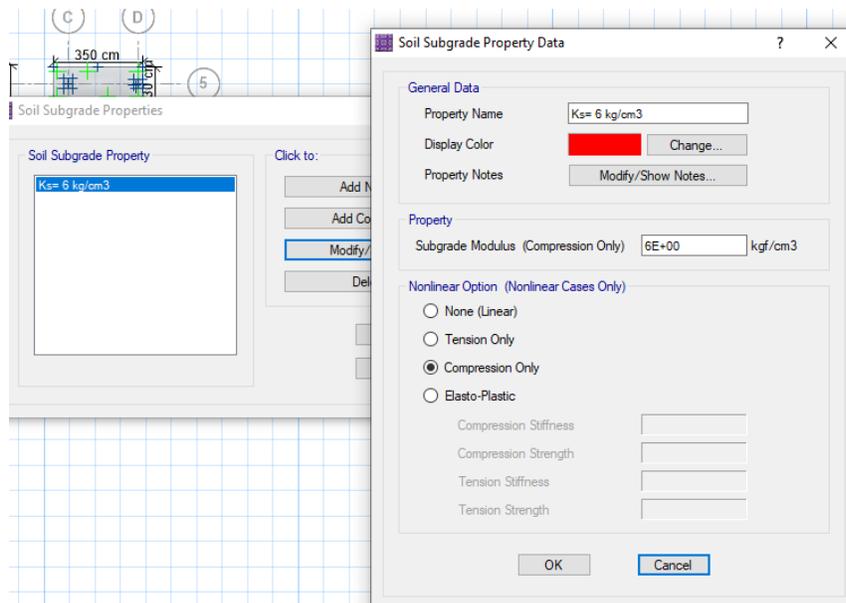
Vista tridimensional de la cimentación



Nota. Vista general en 3D de las cimentaciones. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 47.

Propiedades del suelo



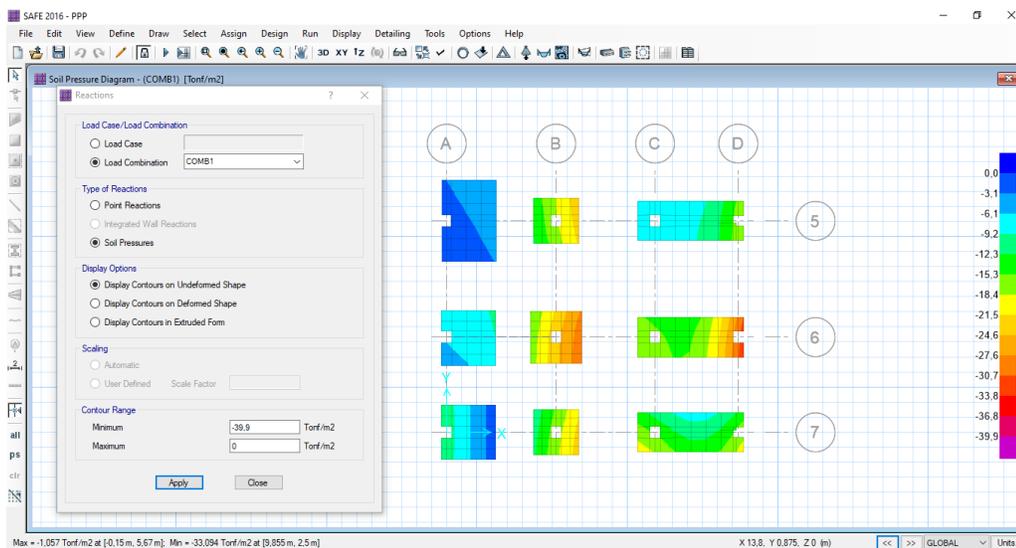
Nota. Coeficiente de balasto $K_s=6 \text{ kg/cm}^3$ equivalente a un suelo blando con un esfuerzo admisible $=3 \text{ kg/cm}^2$. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.5.2 Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo

En el caso de cimentaciones en que la excentricidad supera el valor crítico, se producirá una zona de la Zapata que no transmite tensiones, debido a la forma de la distribución de esfuerzos bajo el suelo. Para ejemplificar este comportamiento en el software SAFE, se usan los denominados casos no lineales, en los cuales a través de la definición de propiedades del suelo permite crear elementos que funcionen solo bajo cargas a compresión. Su uso para analizar cargas que produzcan tracciones bajo casos lineales es necesario para que el comportamiento sea similar al generado por el suelo, de lo contrario se estaría asumiendo que el suelo transmite también tracciones.

Figura 48.

Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.

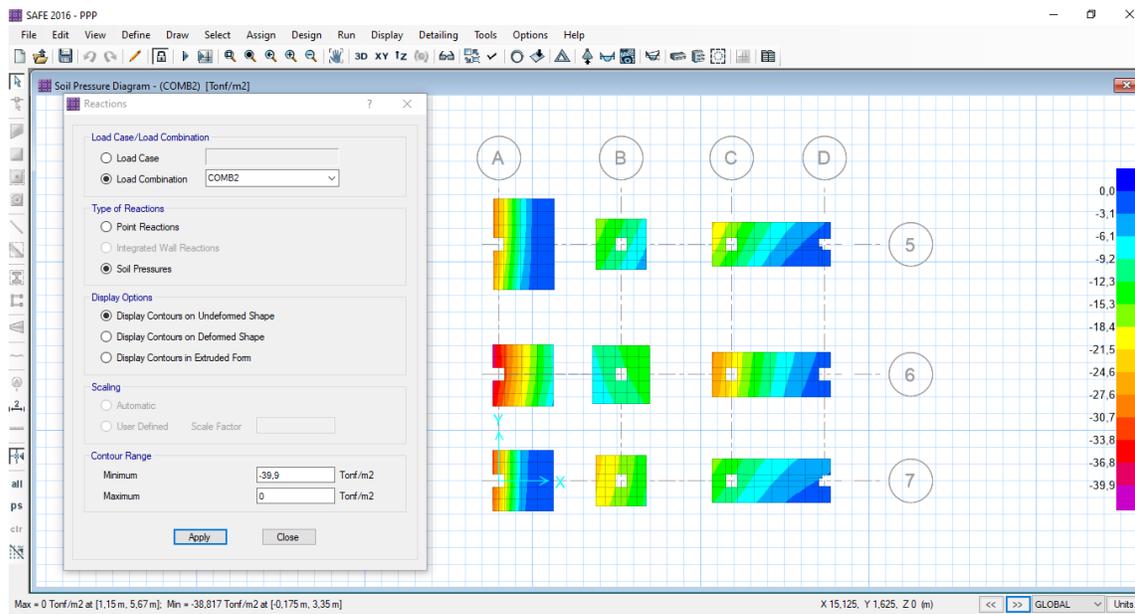


Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 33.09 T/m^2 al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9 \text{ T/m}^2$ (mayorado un 33% por

considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 49.

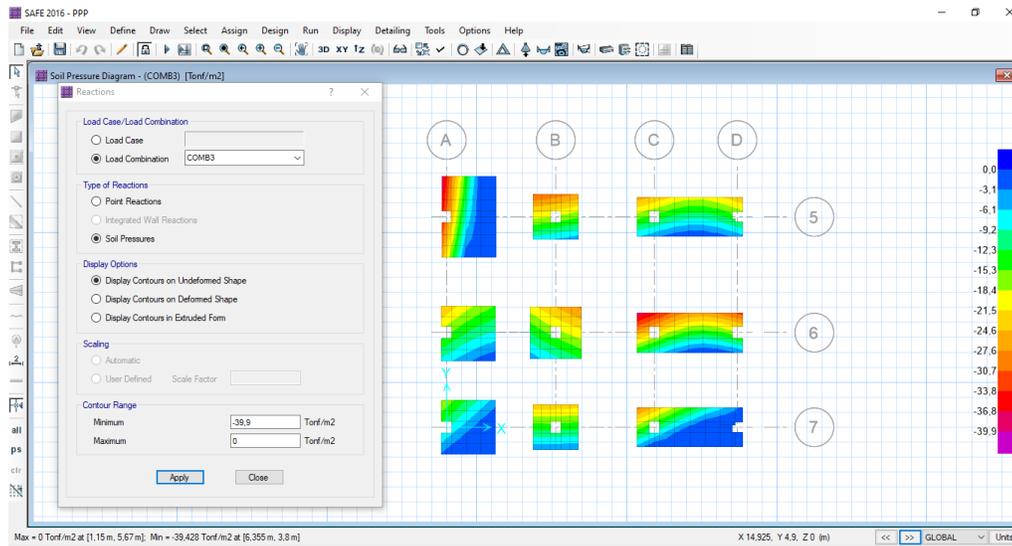
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 38.82 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 50.

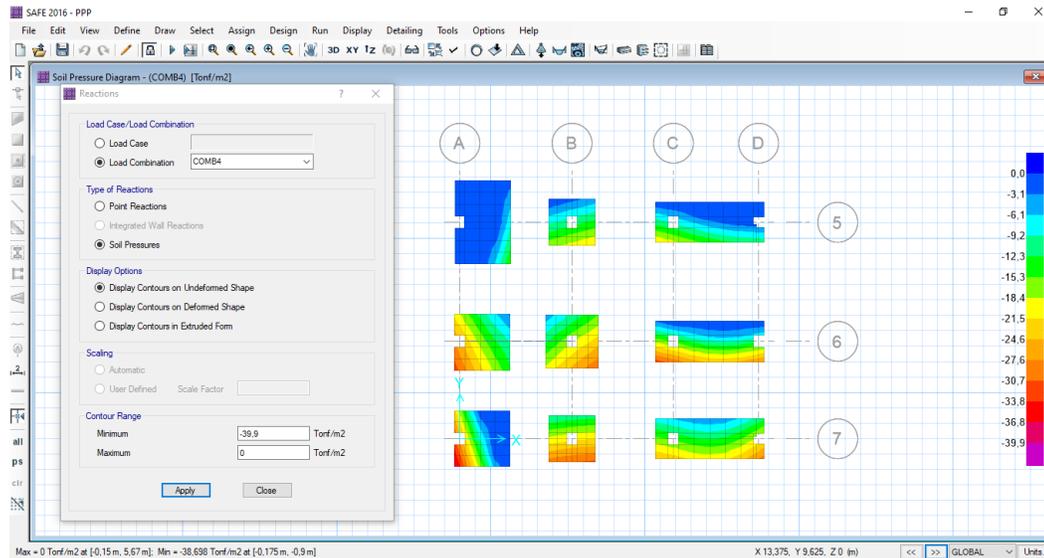
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 39.43 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 51.

Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.

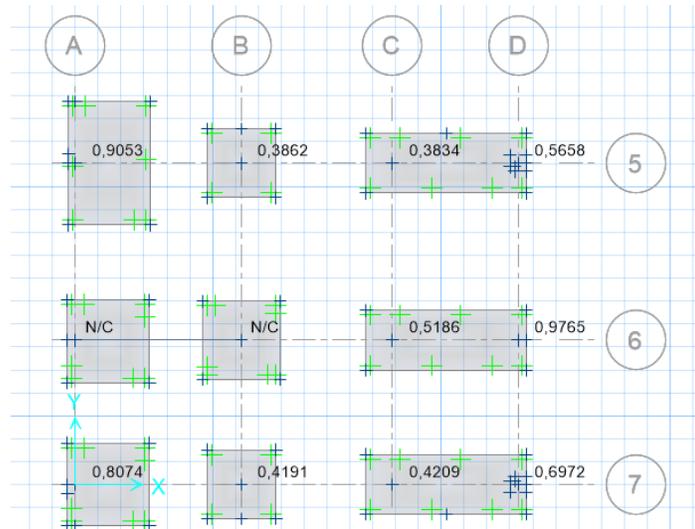


Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 38.7 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.5.3 Verificación de las zapatas por punzonamiento

Figura 52.

Revisión por cortante bidireccional

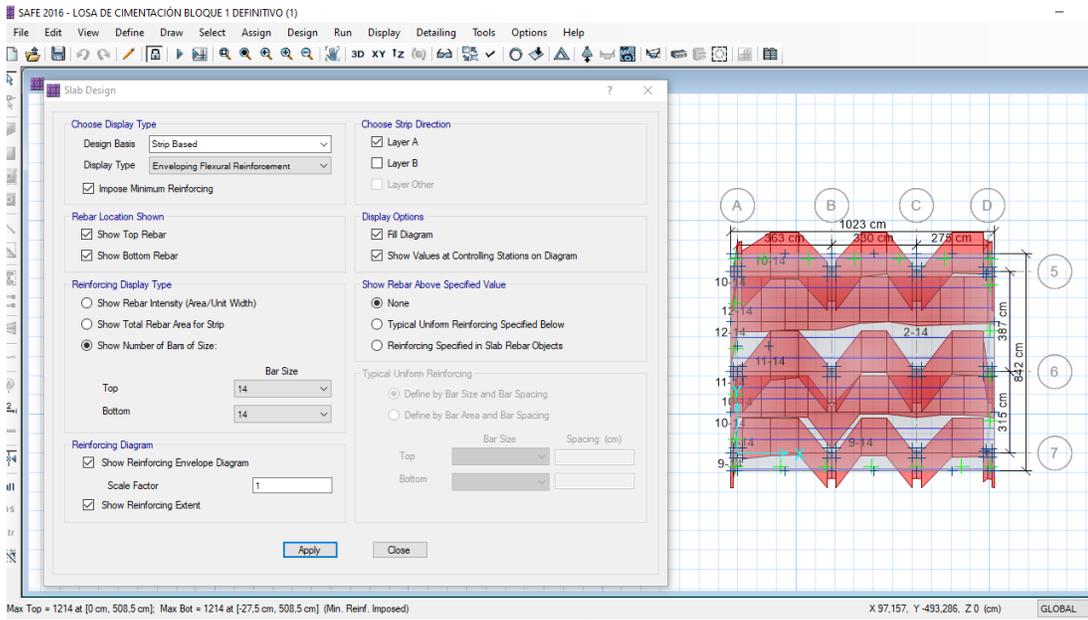


Nota. Óptimo diseño por cortante bidireccional para una losa de cimentación ya que refleja un valor máximo de 0.9765, el cual es menor a 1 y cumple con la verificación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.5.4 Armado de los elementos estructurales de la cimentación

Figura 53.

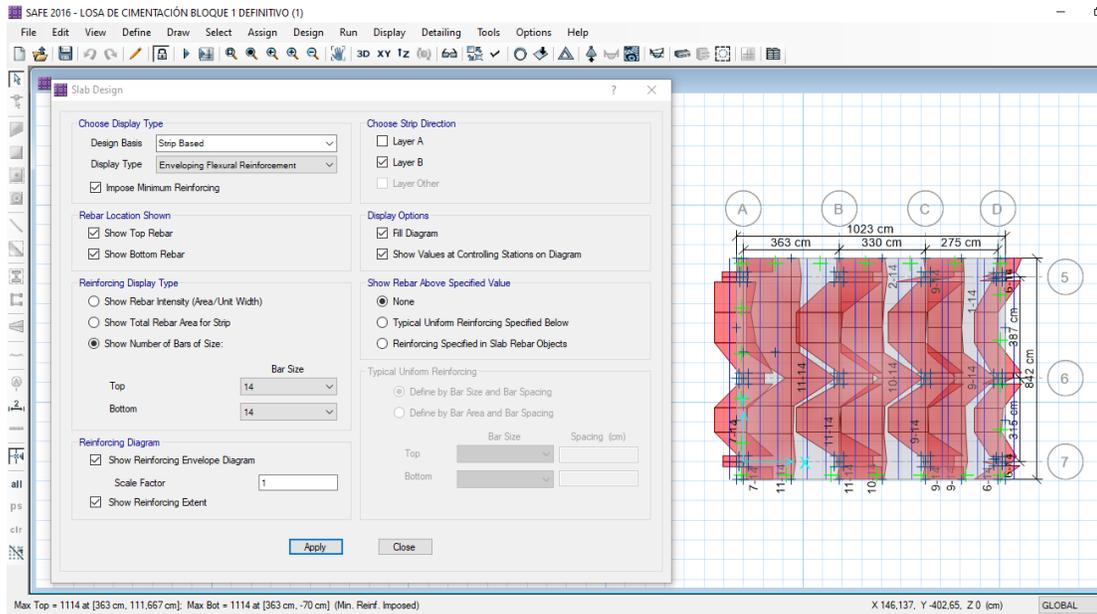
Armadura superior e inferior en el sentido “X”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “X”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 54.

Armadura superior e inferior en el sentido “Y”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “Y”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.5.5 Resumen del diseño de la cimentación

Todas las cimentaciones cuentan con un diseño óptimo, considerando el factor económico con respecto a sus dimensiones y armados, además cumplen con las verificaciones de: esfuerzos admisibles y punzonamiento.

Para el diseño definitivo de las cimentaciones se aplicó cargas sísmicas obteniendo una armadura inferior y superior en ambas direcciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14.*Resumen de armado de las cimentaciones aisladas B1*

Tipo	Dirección	Parrilla	Número	Diámetro	Espaciamiento
Z1 - 180X270X45	Sentido X	Superior	21	Ø	12 @ 13
		Inferior	21	Ø	12 @ 13
	Sentido Y	Superior	14	Ø	12 @ 13
		Inferior	14	Ø	12 @ 13
Z2 - 150X150X40	Sentido X	Superior	-	Ø	- @ -
		Inferior	10	Ø	12 @ 15
	Sentido Y	Superior	-	Ø	- @ -
		Inferior	10	Ø	12 @ 15
Z3 - 170X170X40	Sentido X	Superior	-	Ø	- @ -
		Inferior	12	Ø	12 @ 14
	Sentido Y	Superior	12	Ø	12 @ 14
		Inferior	12	Ø	12 @ 14
Z4 - 180X180X40	Sentido X	Superior	12	Ø	12 @ 15
		Inferior	12	Ø	12 @ 15
	Sentido Y	Superior	12	Ø	12 @ 15
		Inferior	12	Ø	12 @ 15
Z. comb - 350X130X40	Sentido X	Superior	12	Ø	14 @ 11
		Inferior	12	Ø	12 @ 11
	Sentido Y	Superior	24	Ø	12 @ 14
		Inferior	24	Ø	12 @ 14
Viga de conexión 40X40	Sentido X	Superior	2	Ø	22 @
		Inferior	2	Ø	22 @
	Sentido Y	Inferior	2	Ø	16 @
	Estribos	Longitud	33	Ø	10 @ 10

Nota. Dirección, número, diámetro y espaciamiento por cada tipo de cimentación. Elaborado por:
Los autores a través de Excel.

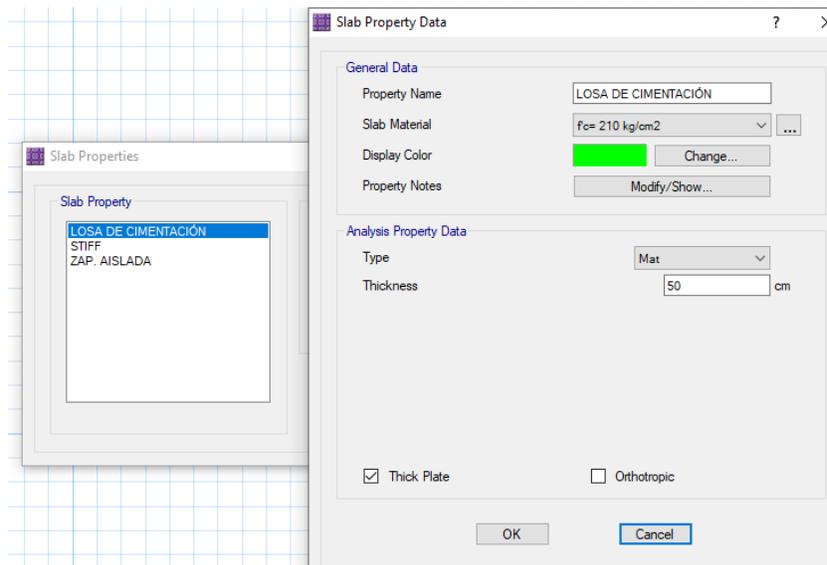
4.6 Chequeo del diseño de una losa de cimentación B1 ($q_a=3\text{kgf/cm}^2$)

El sistema resistente en la base consta de una losa de cimentación con espesor de 50 cm tal como se detallan más adelante.

4.6.1 Propiedades del suelo y dimensiones de la losa de cimentaciones

Figura 55.

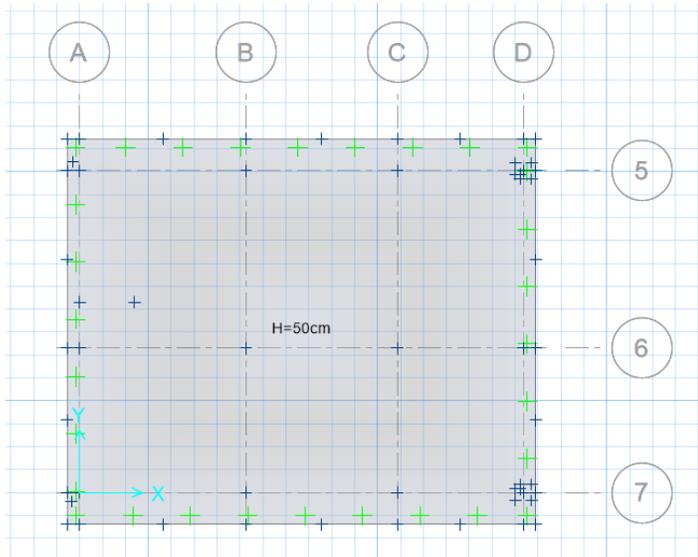
Altura de la losa de cimentación $H=50\text{cm}$



Nota. Tipo de propiedad y el espesor de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 56.

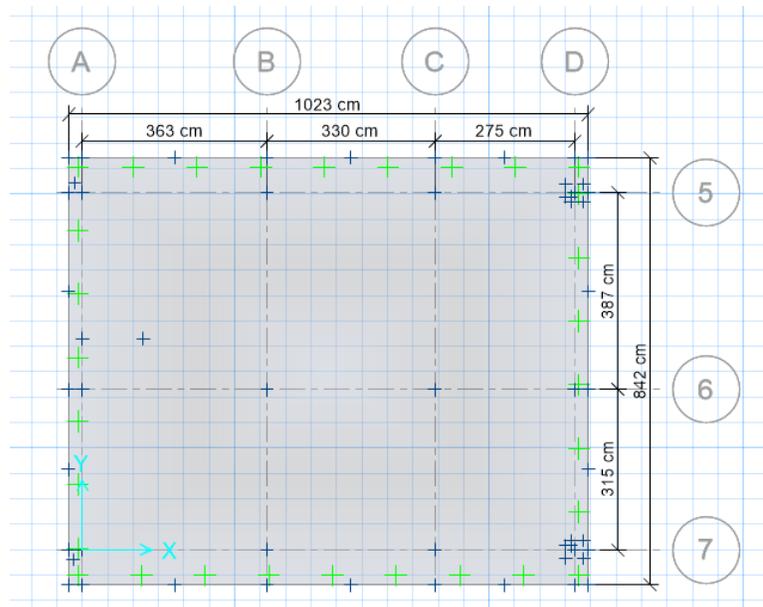
Distribución, identificación y altura de la losa de cimentación



Nota. Losa de cimentación con su respectivo espesor. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 57.

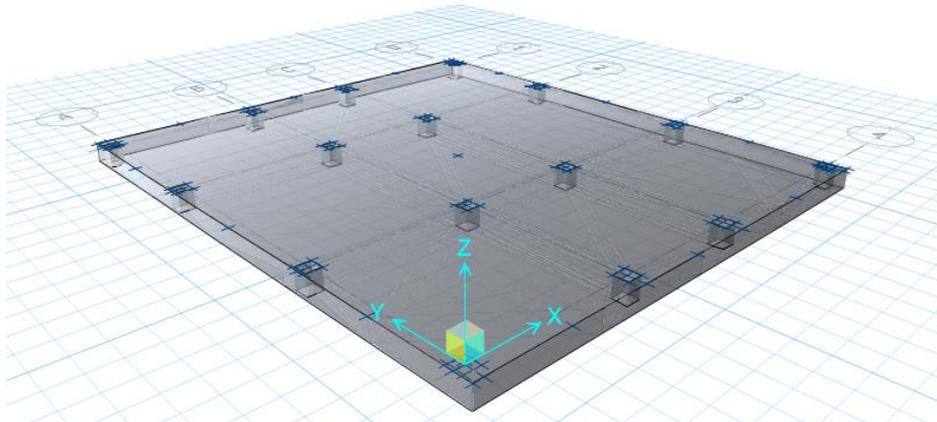
Dimensiones en planta de la losa de cimentación



Nota. Ancho y la longitud de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 58.

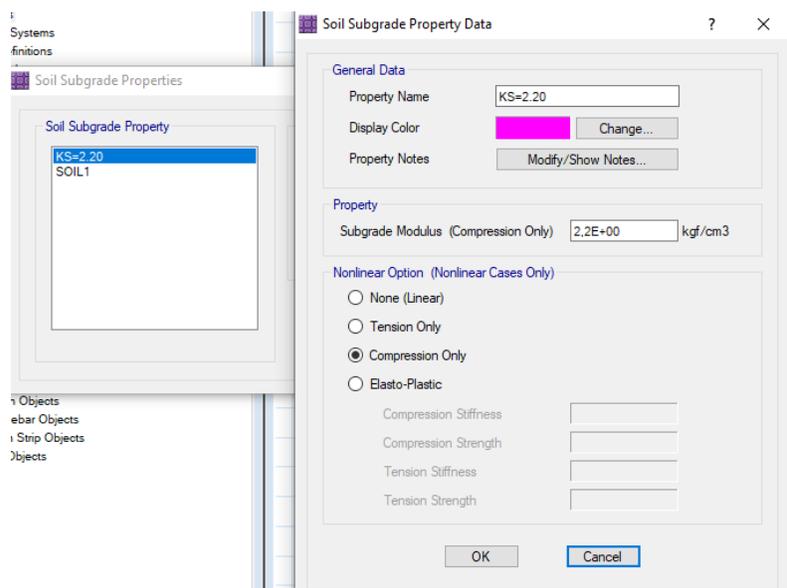
Vista tridimensional de la losa de cimentación



Nota. Vista general en 3D de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 59.

Propiedades del suelo



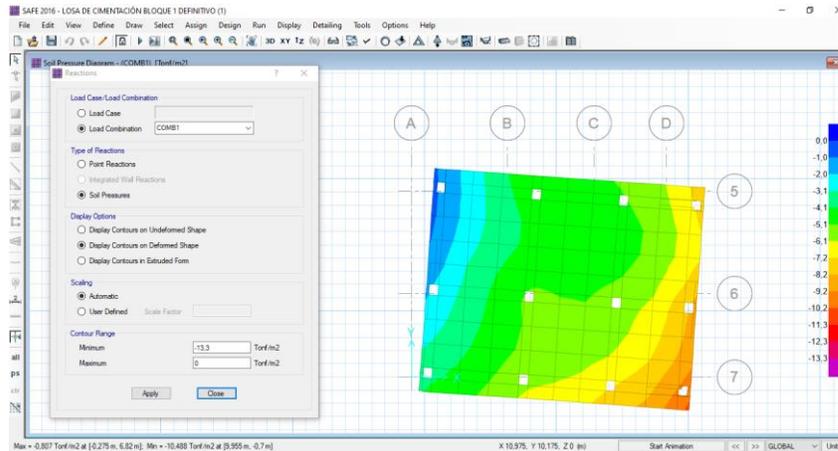
Nota. Coeficiente de balasto $K_s=2.2 \text{ kg/cm}^3$ equivalente a un suelo bueno con un esfuerzo admisible= 1 kg/cm^2 . Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.6.2 Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo

En el caso de losas de cimentación en que la excentricidad supera el valor crítico, se producirá una zona de la Zapata que no transmite tensiones, debido a la forma de la distribución de esfuerzos bajo el suelo. Para ejemplificar este comportamiento en el software SAFE, se usan los denominados casos no lineales, en los cuales a través de la definición de propiedades del suelo permite crear elementos que funcionen solo bajo cargas a compresión. Su uso para analizar cargas que produzcan tracciones bajo casos lineales es necesario para que el comportamiento sea similar al generado por el suelo, de lo contrario se estaría asumiendo que el suelo transmite también tracciones.

Figura 60.

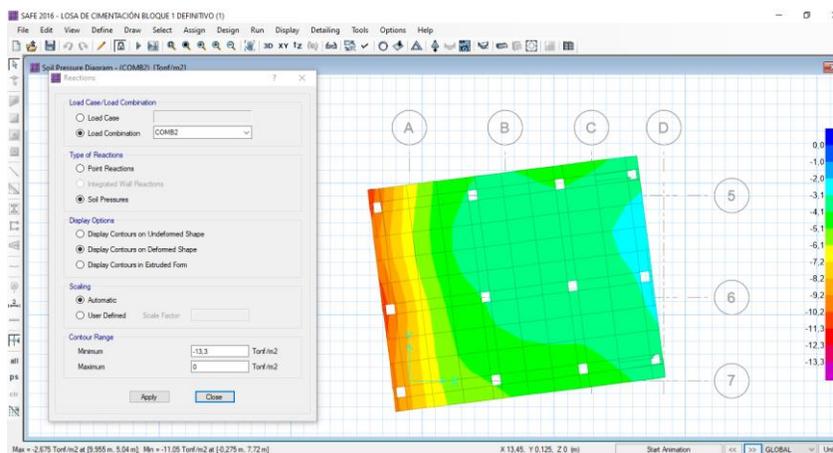
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 10.48 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3$ T/m² (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 61.

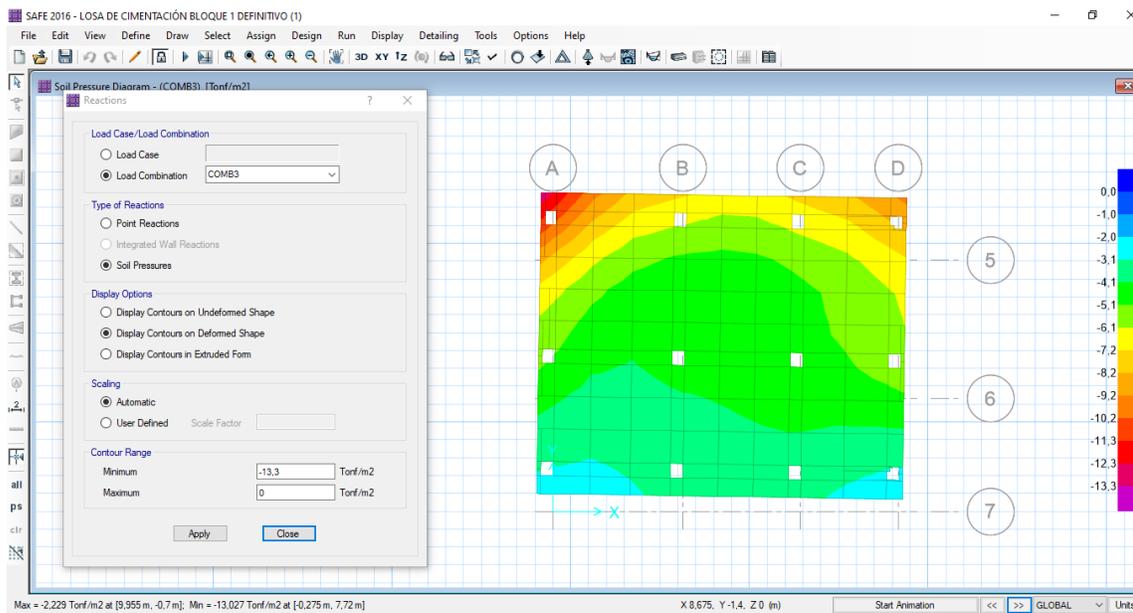
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 11.05 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3$ T/m² (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 62.

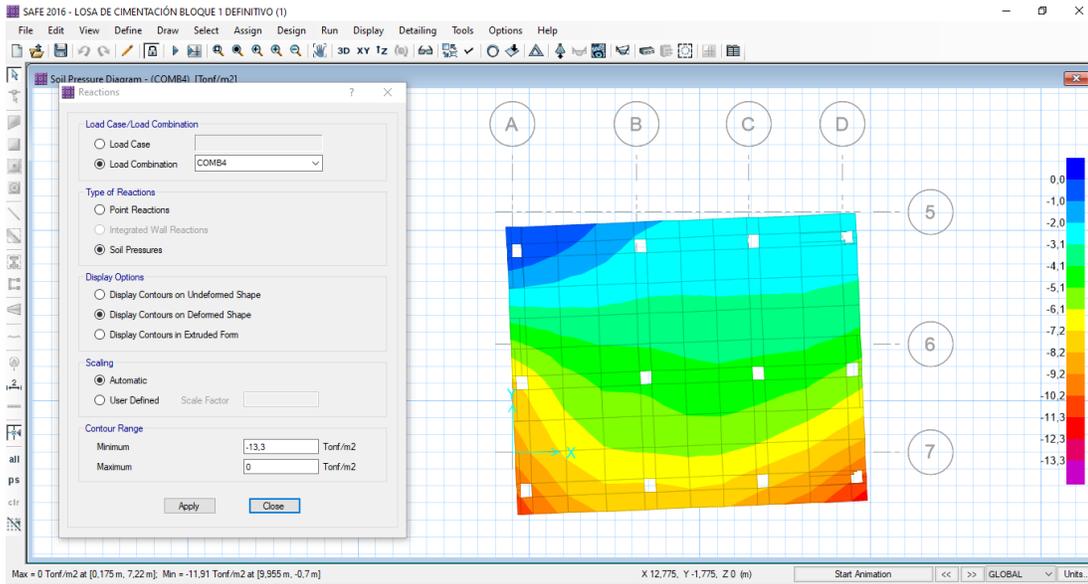
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Se observa el esfuerzo máximo del suelo de 13.02 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3$ T/m² (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 63.

Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.

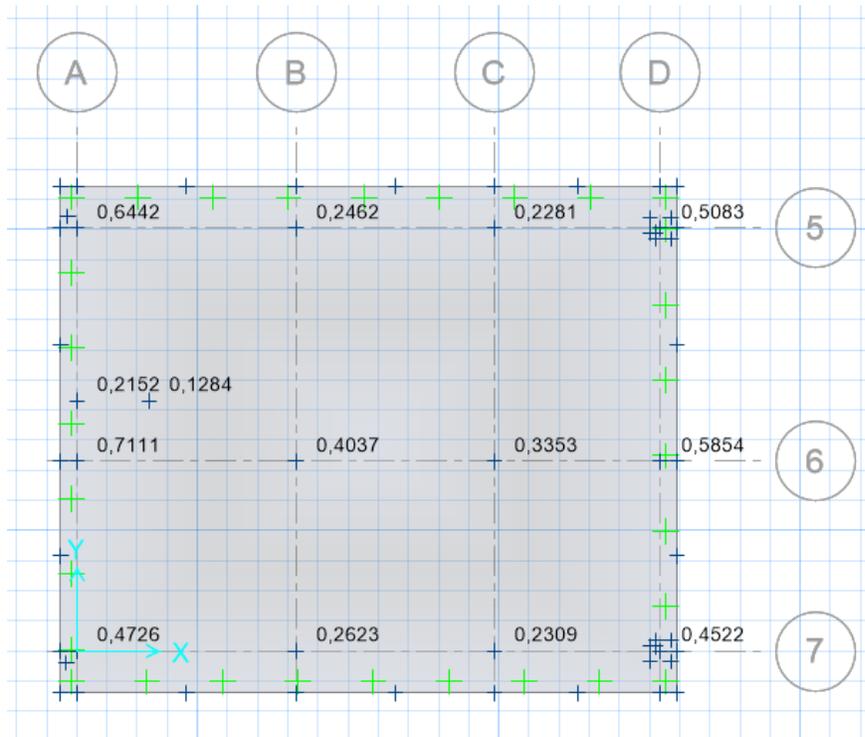


Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 11.91 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.6.3 Verificación de la losa de cimentación por punzonamiento

Figura 64.

Revisión por cortante bidireccional

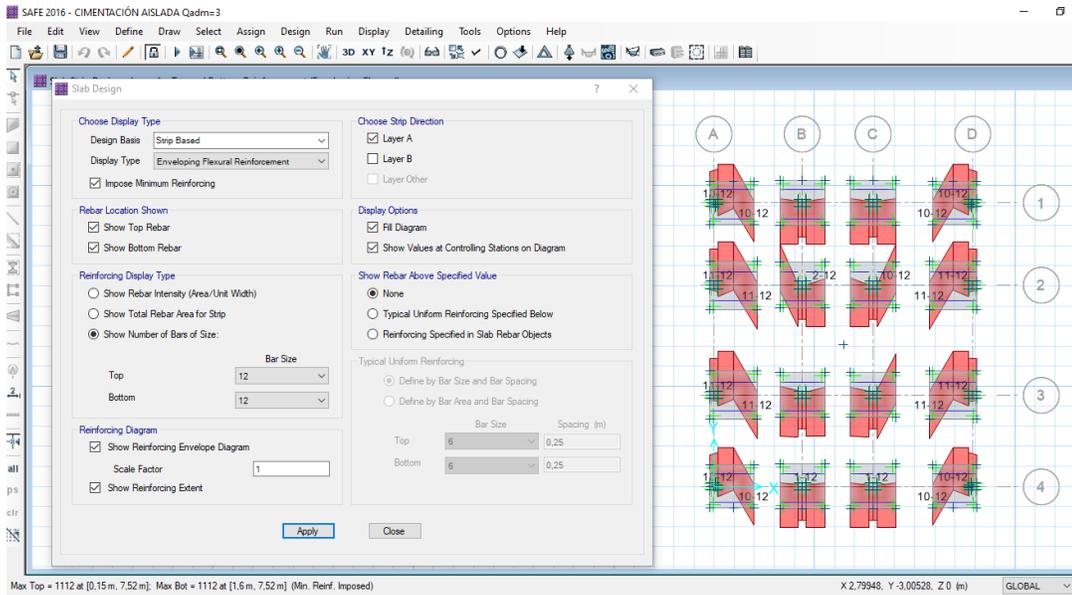


Nota. Óptimo diseño por cortante bidireccional para una losa de cimentación ya que refleja un valor máximo de 0.6442, el cual es menor a 1 y cumple con la verificación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.6.4 Armado de los elementos estructurales de la cimentación

Figura 65.

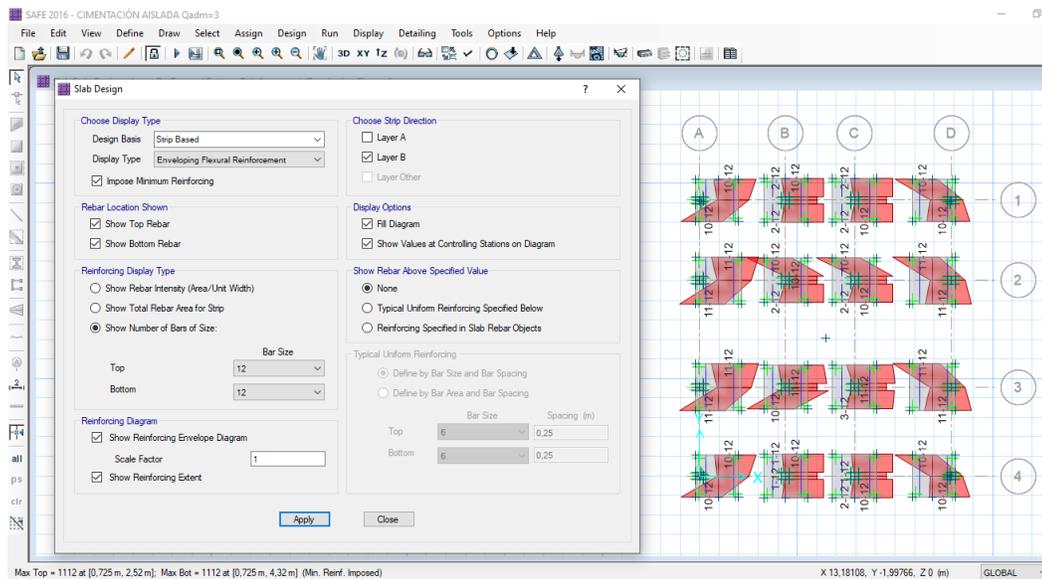
Armadura superior e inferior en el sentido “X”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “X”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 66.

Armadura superior e inferior en el sentido “Y”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “Y”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.6.5 Resumen del diseño de la losa de cimentación

La losa de cimentación cuenta con un diseño óptimo, considerando el factor económico con respecto a sus dimensiones y armados, además cumplen con las verificaciones de: esfuerzos admisibles y punzonamiento.

Para el diseño definitivo de la losa de cimentación se aplicó cargas sísmicas obteniendo una armadura inferior y superior en ambas direcciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15.

Resumen de armado de la losa de cimentación B1

Tipo	Dirección	Parrilla	Número	Diámetro	Espaciamiento	
Losa de cimentación E=50 CM	Sentido X	Superior	57	Ø 14	@ 15	
			57	Ø 12	@ 15	
		Inferior	10	Ø 14	@ 15	
			8	Ø 14	@ 15	
		Sentido Y	Superior	6	Ø 14	@ 15
				6	Ø 14	@ 15
	Inferior		69	Ø 14	@ 15	
			69	Ø 12	@ 15	
	8		Ø 14	@ 15		
	14		Ø 14	@ 15		
	8	Ø 14	@ 15			

Nota. Dirección, número, diámetro y espaciamiento de la losa de cimentación. Elaborado por:
Los autores a través de Excel.

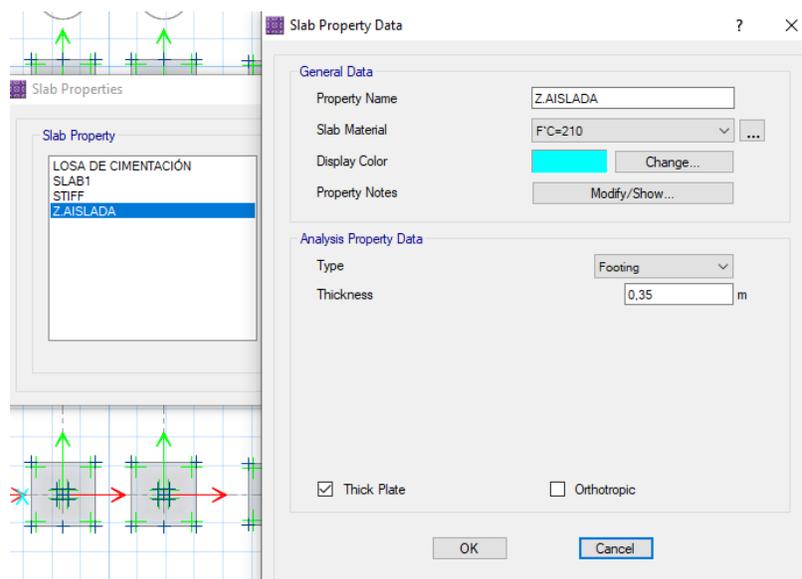
4.7 Chequeo del diseño de cimentaciones aisladas B2 ($q_a = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

Sistema de plintos aislados de cimentación. - El sistema resistente en la base consta de plintos aislados tal como se detallan más adelante.

4.7.1 Propiedades del suelo y dimensiones de las cimentaciones

Figura 67.

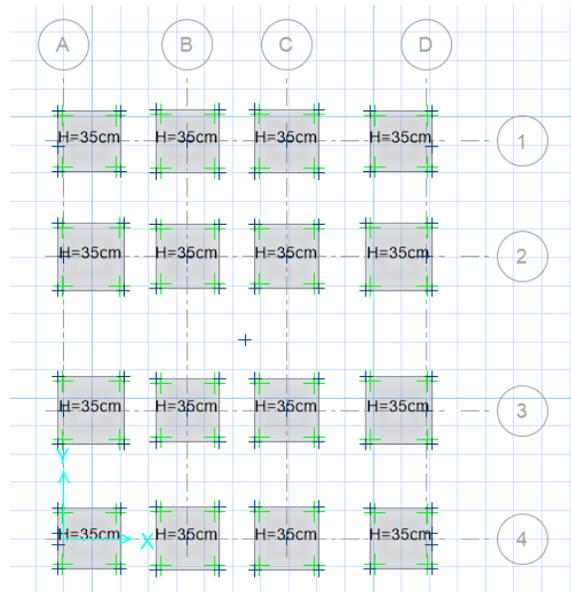
Altura de la zapata $H=35\text{cm}$



Nota. Tipo de propiedad y el espesor de la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 68.

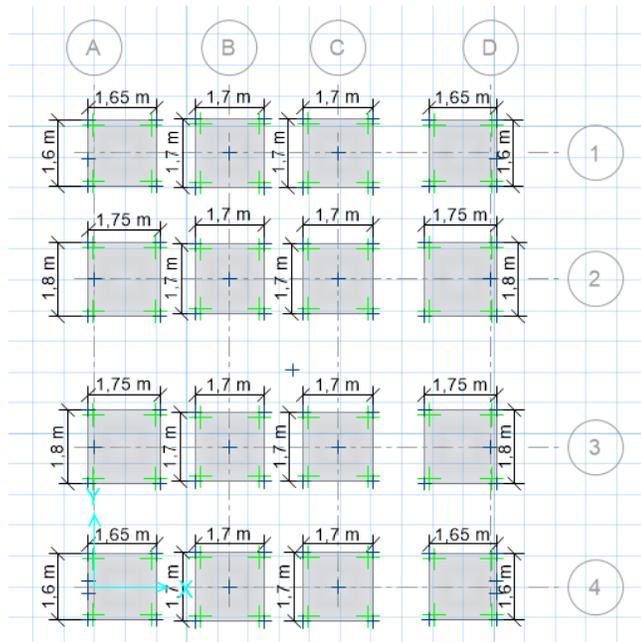
Distribución, identificación y altura de zapatas



Nota. Cimentaciones con su respectivo espesor. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 69.

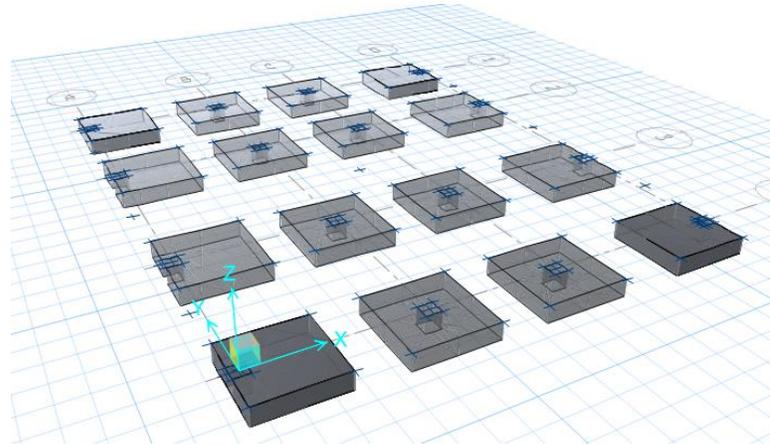
Dimensiones en planta de las cimentaciones



Nota. Ancho, longitud y tipo de cimentación empleada. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 70.

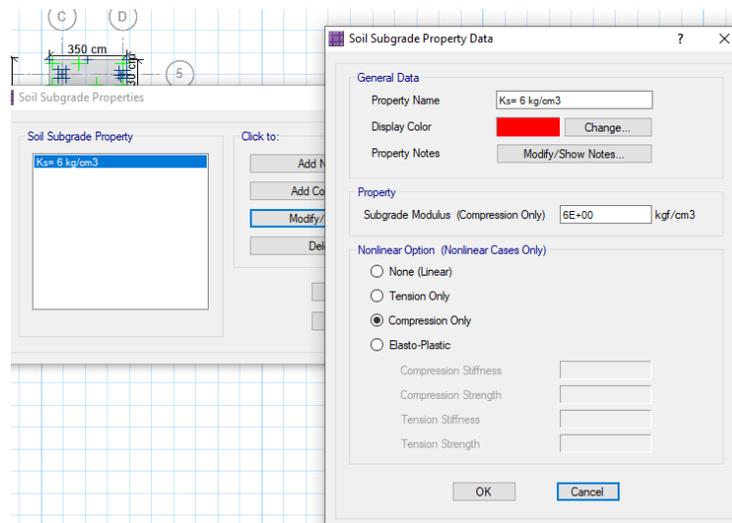
Vista tridimensional de la cimentación



Nota. Vista general en 3D de las cimentaciones. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 71.

Propiedades del suelo



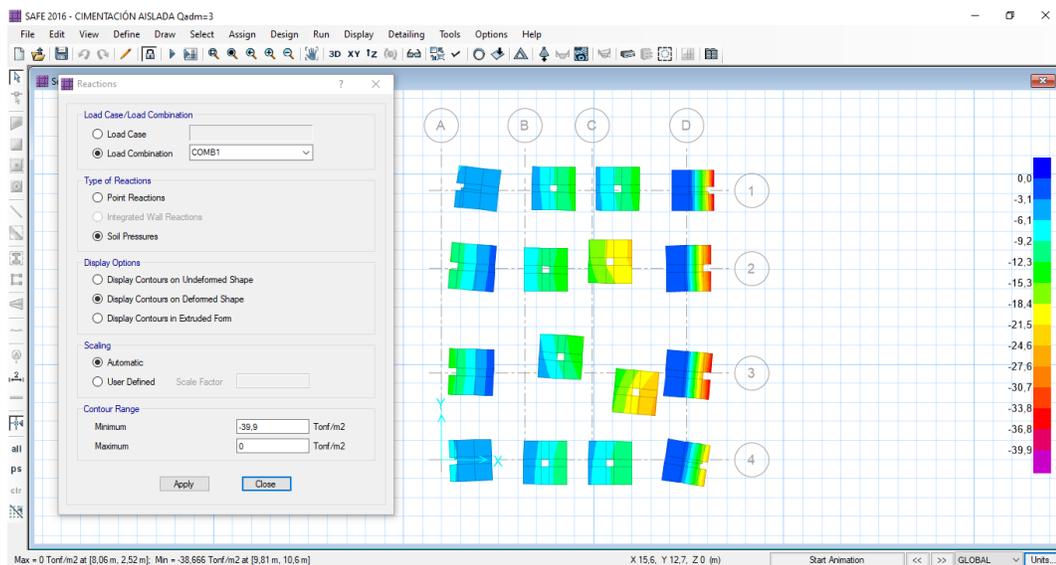
Nota. Coeficiente de balasto $K_s=6 \text{ kg/cm}^3$ equivalente a un suelo blando con un esfuerzo admisible $=3 \text{ kg/cm}^2$. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.7.2 Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo

En el caso de cimentaciones en que la excentricidad supera el valor crítico, se producirá una zona de la Zapata que no transmite tensiones, debido a la forma de la distribución de esfuerzos bajo el suelo. Para ejemplificar este comportamiento en el software SAFE, se usan los denominados casos no lineales, en los cuales a través de la definición de propiedades del suelo permite crear elementos que funcionen solo bajo cargas a compresión. Su uso para analizar cargas que produzcan tracciones bajo casos lineales es necesario para que el comportamiento sea similar al generado por el suelo, de lo contrario se estaría asumiendo que el suelo transmite también tracciones.

Figura 72.

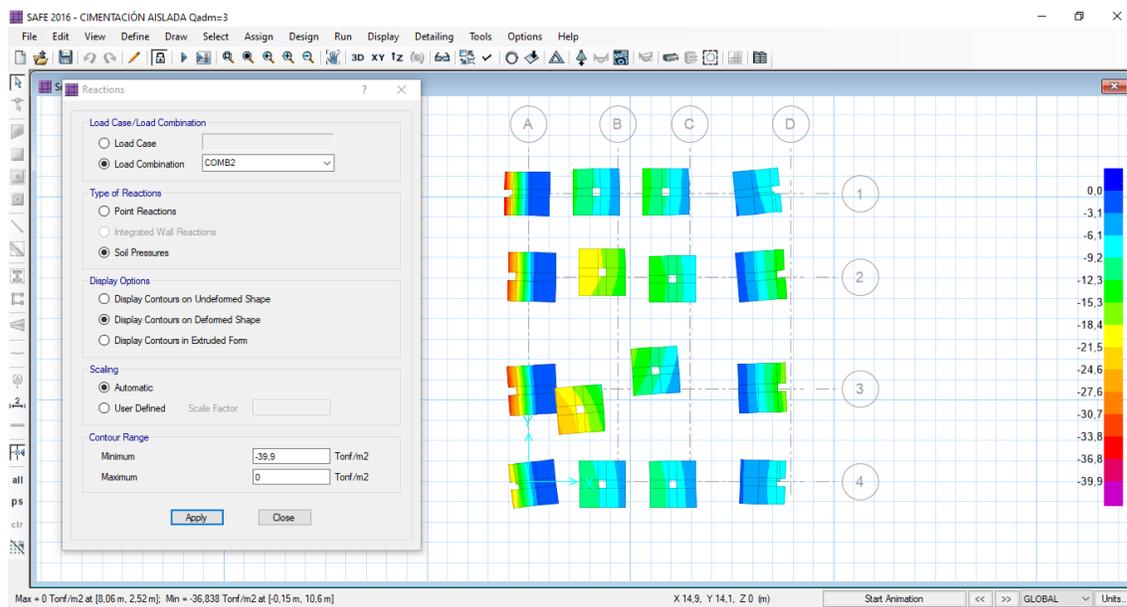
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 38.66 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9\text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 73.

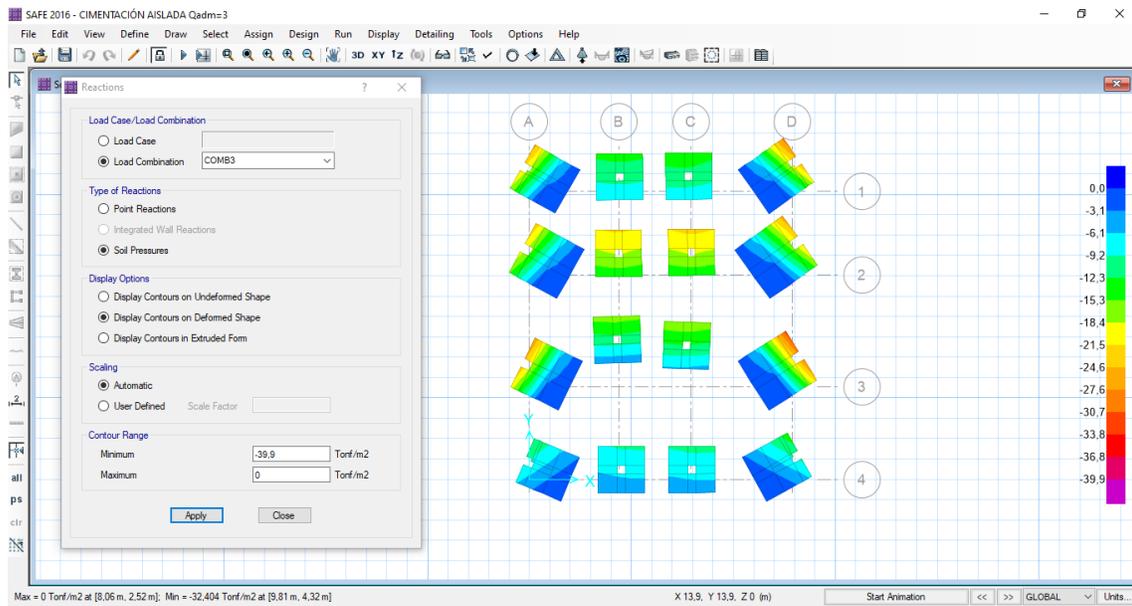
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 36.84 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9\text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 74.

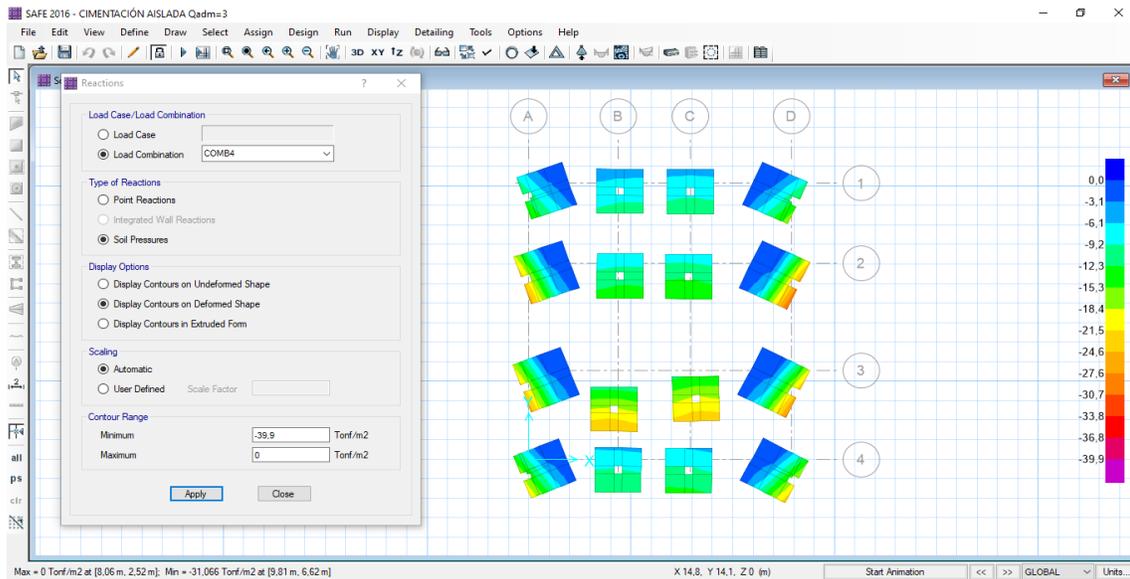
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 32.4 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 75.

Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.

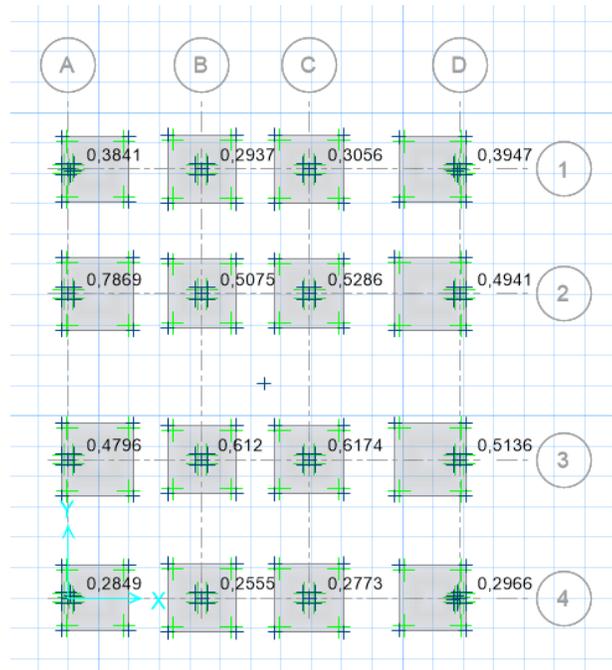


Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 31.06 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $30 * 1.33 = 39.9\text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.7.3 Verificación de las zapatas por punzonamiento

Figura 76.

Revisión por cortante bidireccional

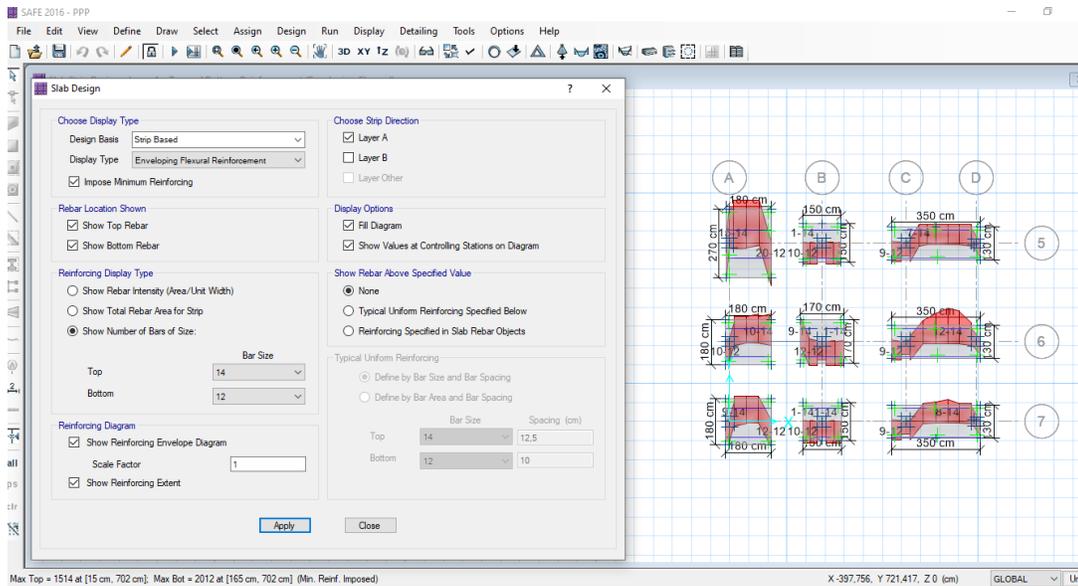


Nota. Óptimo diseño por cortante bidireccional para una losa de cimentación ya que refleja un valor máximo de 0.7869, el cual es menor a 1 y cumple con la verificación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.7.4 Armado de los elementos estructurales de la cimentación

Figura 77.

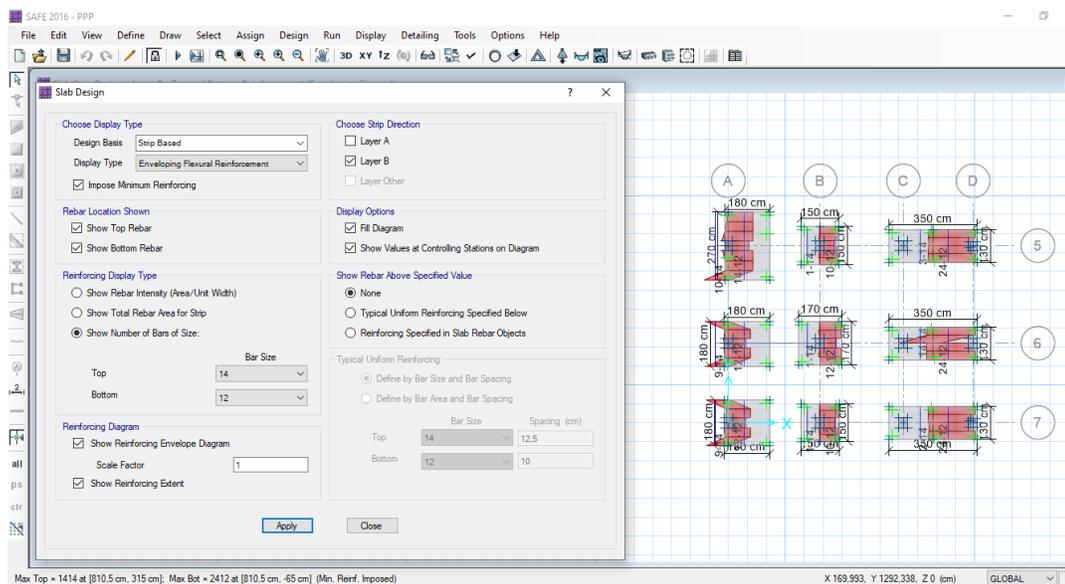
Armadura superior e inferior en el sentido “X”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “X”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 78.

Armadura superior e inferior en el sentido “Y”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “Y”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.7.5 Resumen del diseño de la cimentación

Todas las cimentaciones cuentan con un diseño óptimo, considerando el factor económico con respecto a sus dimensiones y armados, además cumplen con las verificaciones de: esfuerzos admisibles y punzonamiento.

Para el diseño definitivo de las cimentaciones se aplicó cargas sísmicas obteniendo una armadura inferior y superior en ambas direcciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16.

Resumen de armado de las cimentaciones aisladas B2

Tipo	Dirección	Parrilla	Número	Diámetro	Espaciamiento
Z1 - 165X160X35	Sentido x	Superior	10	Ø 12	@ 17
		Inferior	10	Ø 12	@ 17
	Sentido y	Superior	10	Ø 12	@ 16
		Inferior	10	Ø 12	@ 16
Z2 - 170X170X35	Sentido x	Superior	11	Ø 12	@ 16
		Inferior	11	Ø 12	@ 16
	Sentido y	Superior	11	Ø 12	@ 15
		Inferior	11	Ø 12	@ 15
Z3 - 170X170X40	Sentido x	Superior	11	Ø 12	@ 17
		Inferior	11	Ø 12	@ 17
	Sentido y	Superior	11	Ø 12	@ 16
		Inferior	11	Ø 12	@ 16

Nota. Dirección, número, diámetro y espaciamiento por cada tipo de cimentación. Elaborado por: Los autores a través de Excel.

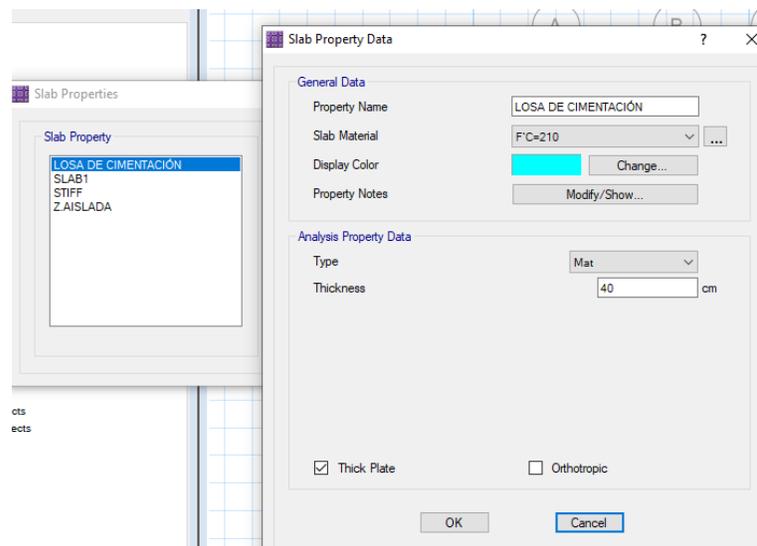
4.8 Chequeo del diseño de una losa de cimentación B2 ($q_a=3\text{kgf/cm}^2$)

El sistema resistente en la base consta de una losa de cimentación con espesor de 50 cm tal como se detallan más adelante.

4.8.1 Propiedades del suelo y dimensiones de la losa de cimentaciones

Figura 79.

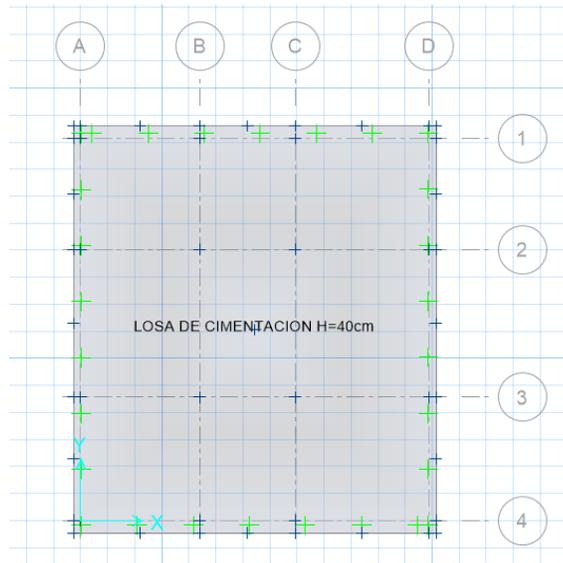
Altura de la losa de cimentación $H=40\text{cm}$



Nota. Tipo de propiedad y el espesor de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 80.

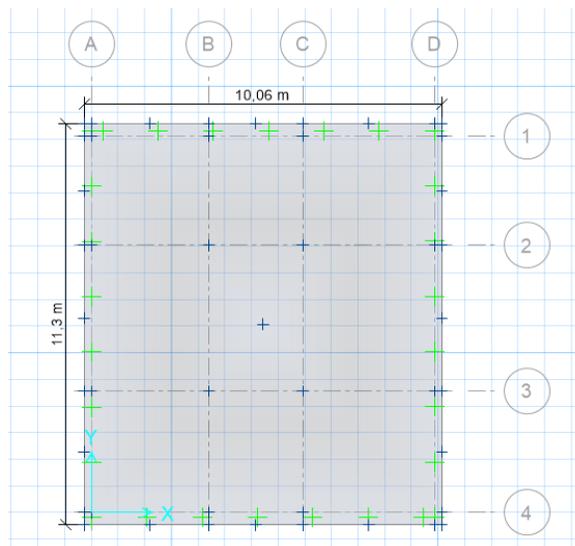
Distribución, identificación y altura de la losa de cimentación



Nota. Losa de cimentación con su respectivo espesor. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 81.

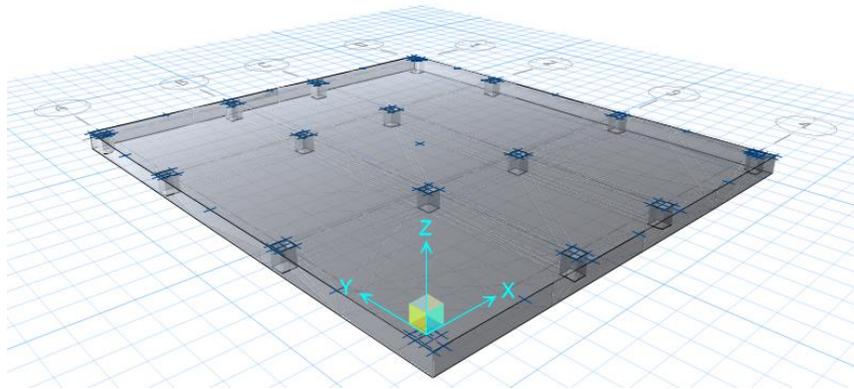
Dimensiones en planta de la losa de cimentación



Nota. Ancho y la longitud de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 82.

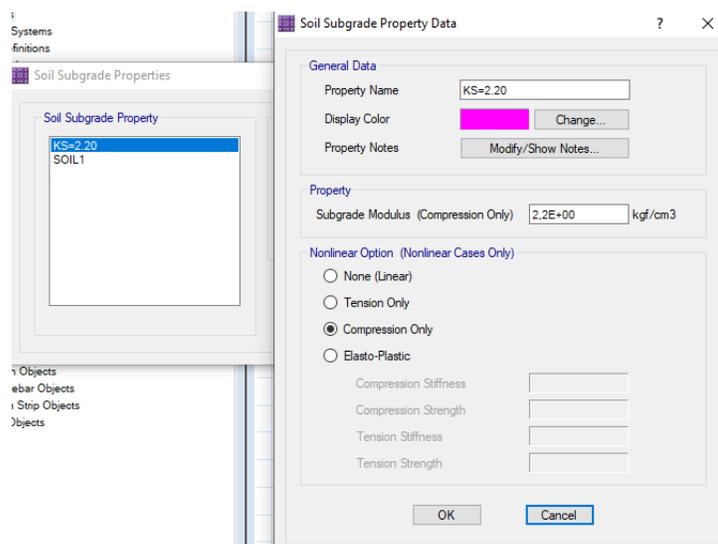
Vista tridimensional de la losa de cimentación



Nota. Vista general en 3D de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 83.

Propiedades del suelo



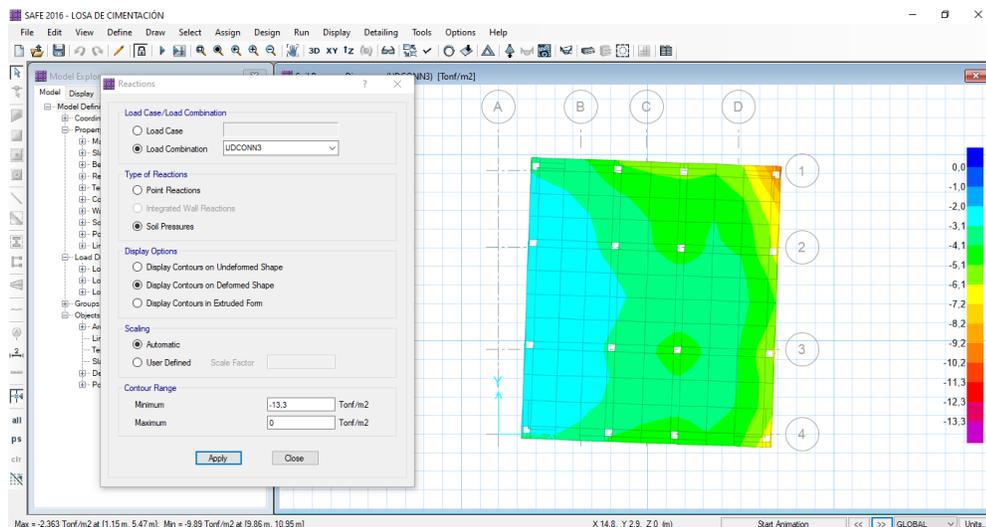
Nota. Coeficiente de balasto $K_s=2.2 \text{ kg/cm}^3$ equivalente a un suelo bueno con un esfuerzo admisible $=1 \text{ kg/cm}^2$. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.8.2 Chequeo de los esfuerzos transmitidos al suelo

En el caso de cimentaciones en que la excentricidad supera el valor crítico, se producirá una zona de la Zapata que no transmite tensiones, debido a la forma de la distribución de esfuerzos bajo el suelo. Para ejemplificar este comportamiento en el software SAFE, se usan los denominados casos no lineales, en los cuales a través de la definición de propiedades del suelo permite crear elementos que funcionen solo bajo cargas a compresión. Su uso para analizar cargas que produzcan tracciones bajo casos lineales es necesario para que el comportamiento sea similar al generado por el suelo, de lo contrario se estaría asumiendo que el suelo transmite también tracciones.

Figura 84.

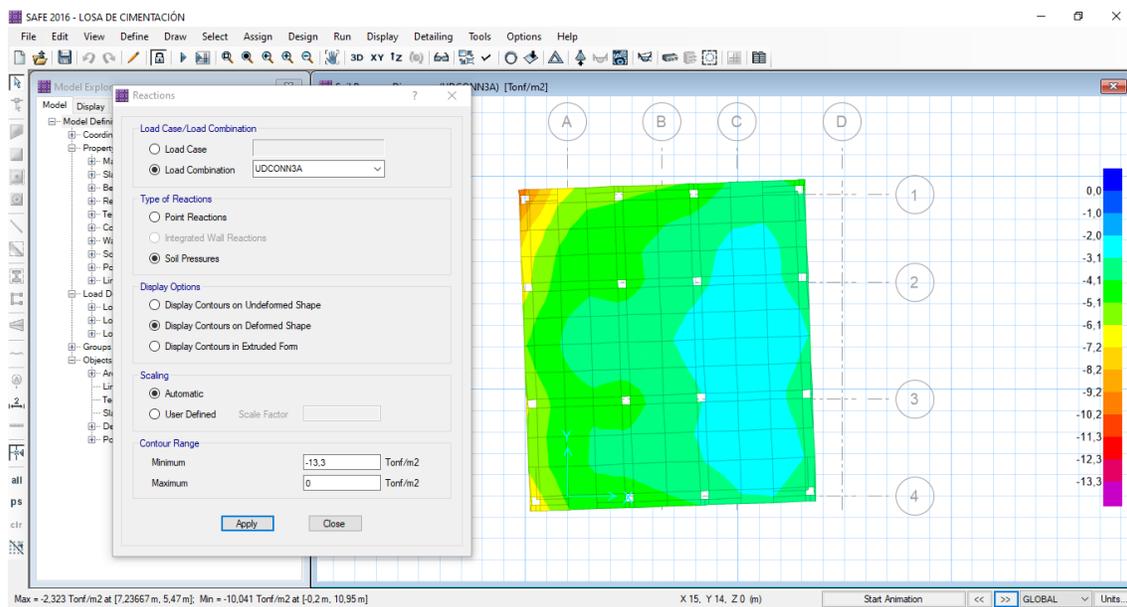
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 9.89 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3$ T/m² (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 85.

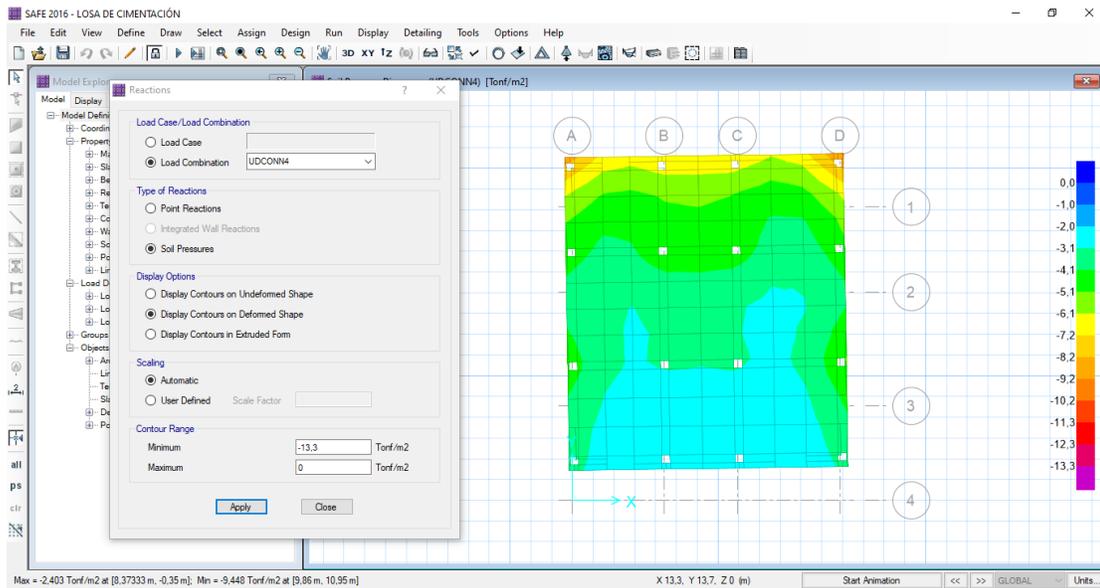
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (X) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 10.04 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3$ T/m² (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 86.

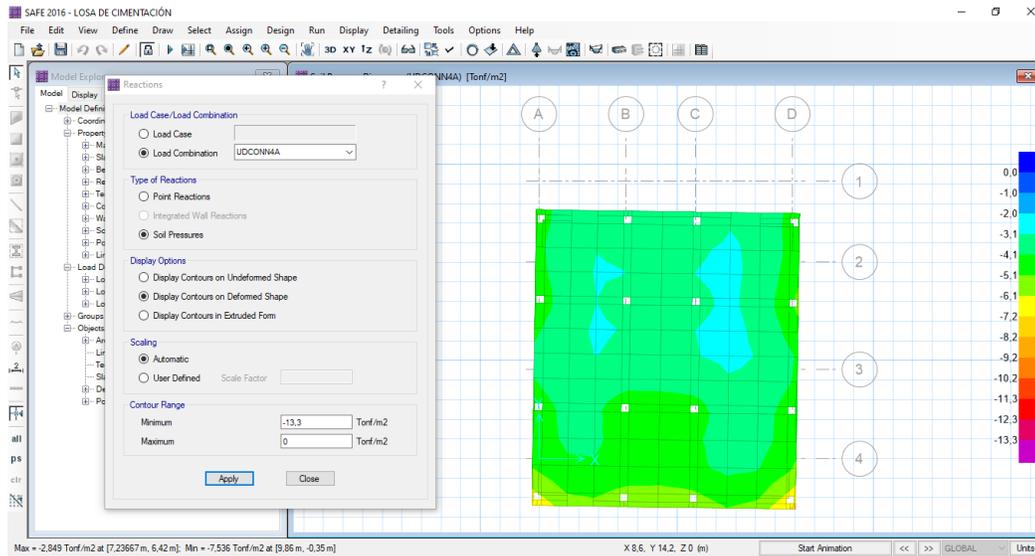
Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.



Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 9.45 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3\text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 87.

Chequeo del suelo empleando análisis no lineal por la combinación carga viva, muerta, sobrecarga, sismo (Y) negativo y peso del suelo aplicado sobre la cimentación.

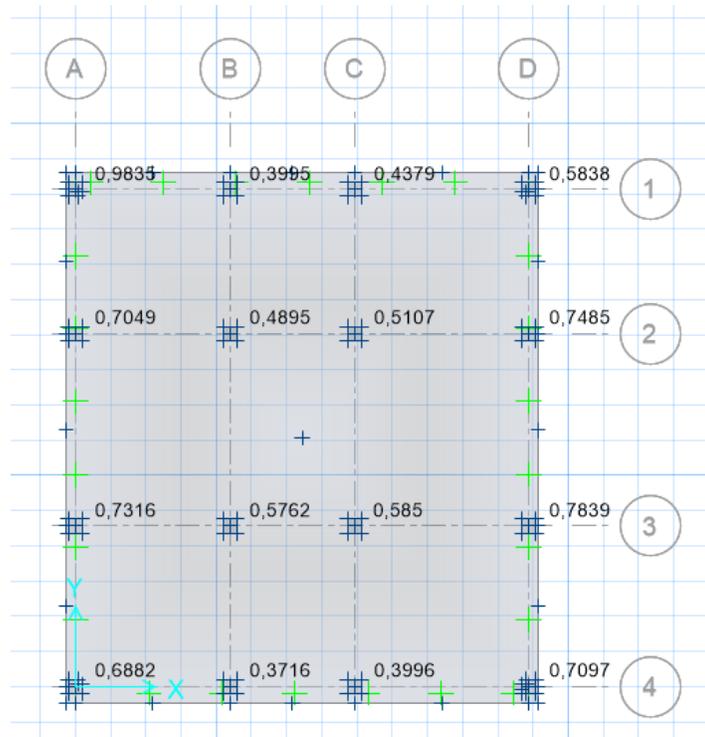


Nota. Esfuerzo máximo del suelo de 7.54 T/m² al aplicarse una combinación no lineal, con lo cual se verifica que no sobrepase el esfuerzo admisible de $10 * 1.33 = 13.3 \text{T/m}^2$ (mayorado un 33% por considerar efectos sísmicos en un campo de acción temporal). Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.8.3 Verificación de las zapatas por punzonamiento

Figura 88.

Revisión por cortante bidireccional

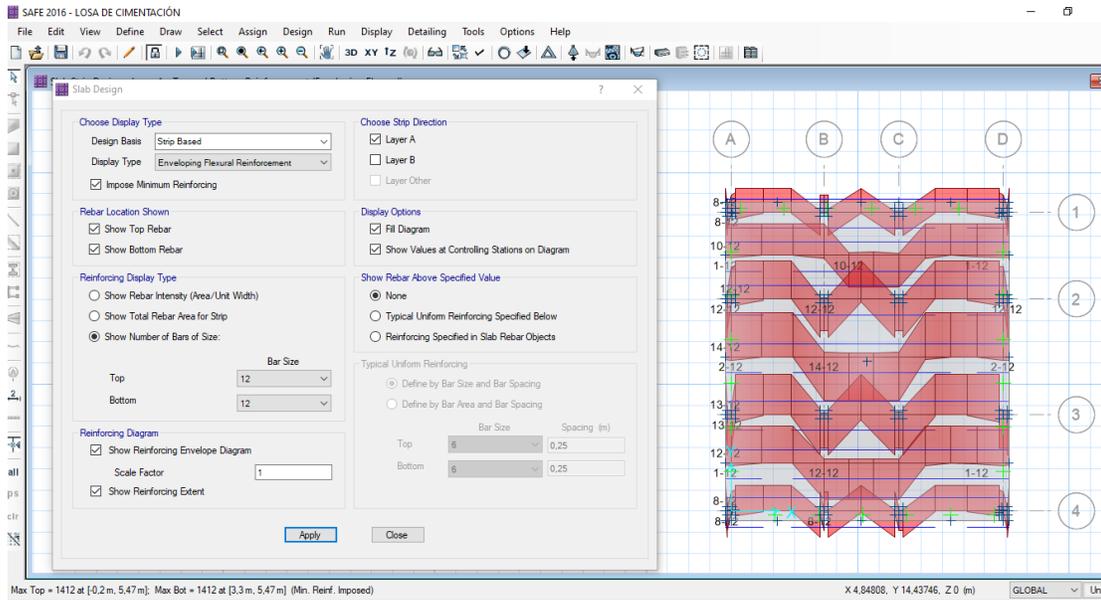


Nota. Óptimo diseño por cortante bidireccional para una losa de cimentación ya que refleja un valor máximo de 0,9835, el cual es menor a 1 y cumple con la verificación. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.8.4 Armado de los elementos estructurales de la cimentación

Figura 89.

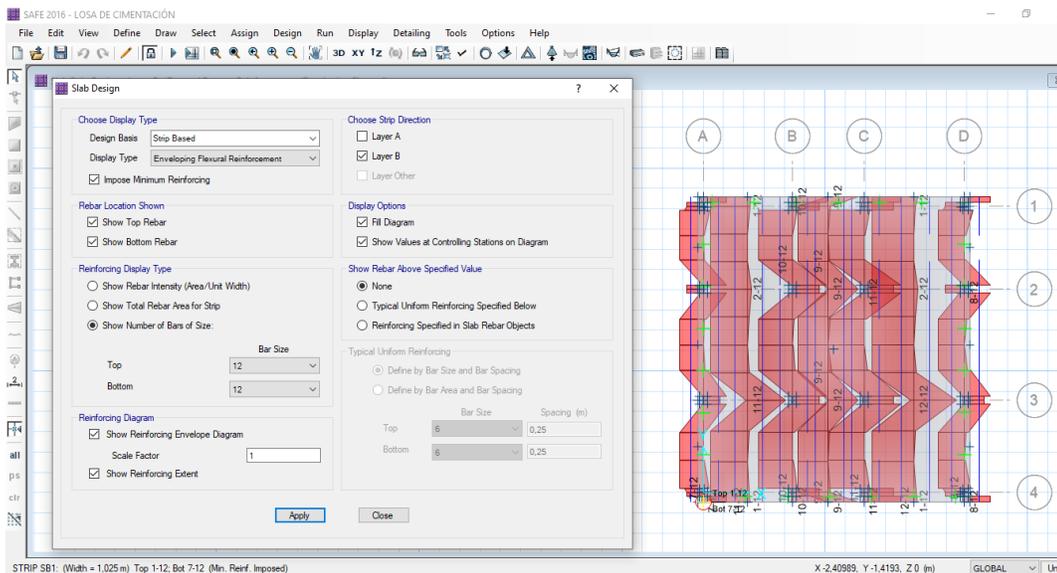
Armadura superior e inferior en el sentido “X”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “X”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

Figura 90.

Armadura superior e inferior en el sentido “Y”



Nota. Armadura teórica de las cimentaciones aisladas y combinadas en el sentido “Y”. Elaborado por: Los autores, a través de SAFE (2016).

4.8.5 Resumen del diseño de la losa de cimentación

La losa de cimentación cuenta con un diseño óptimo, considerando el factor económico con respecto a sus dimensiones y armados, además cumplen con las verificaciones de: esfuerzos admisibles y punzonamiento.

Para el diseño definitivo de la losa de cimentación se aplicó cargas sísmicas obteniendo una armadura inferior y superior en ambas direcciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 17.

Resumen de armado de la losa de cimentación B2

Tipo	Dirección	Parrilla	Número	Diámetro	Espaciamiento
Losa de cimentación n E=40 CM	Sentido X	Superior	55	Ø 14	@ 20
			55	Ø 12	@ 20
		Inferior	8	Ø 14	@ 20
			21	Ø 14	@ 20
	Sentido Y	Superior	8	Ø 14	@ 20
			51	Ø 14	@ 20
			51	Ø 12	@ 20
		Inferior	10	Ø 14	@ 20
			14	Ø 14	@ 20
			10	Ø 14	@ 20
			10	Ø 14	@ 20

Nota. Dirección, número, diámetro y espaciamiento de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores a través de Excel.

CAPÍTULO V

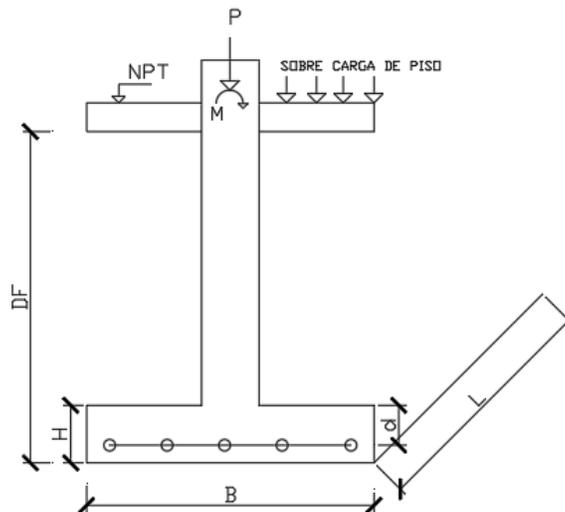
MÉTODOS RÍGIDO

5.1 Zapatas aisladas

5.1.1 Simbología y partes de una cimentación aislada

Figura 91.

Elevación de cimentación aislada



Nota. Vista en elevación de la cimentación aislada y acotado de sus partes con su simbología.

Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

Figura 92.

Definición y simbología de las partes de la cimentación

Simbología	Definición
B Y L	Dimensiones en planta de la zapata
b y h	Dimensiones de la columna
H	Peralte de la zapata
d	Peralte útil de la zapata
qadm	Esfuerzo admisible del suelo
P	Carga axial actuante
M	Momento flector actuante
γ	Peso específico promedio del relleno

Nota. Simbología de las partes que intervienen en una cimentación aislada con su respectiva definición. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.1.2 Determinación de las dimensiones en planta de la zapata aislada (B y L)

Para determinar las dimensiones de la zapata aislada se debe realizar el cálculo sin mayorar las cargas ni momentos. Además, se debe de considerar si se diseñará una cimentación cuadrada o rectangular. Por otra parte, es necesario calcular la excentricidad y obtener los datos de la base y la longitud de la zapata.

$$e_x = \frac{\sum M}{\sum P}$$

5.1.2.1 Cimentación cuadrada

Con los datos conocidos se obtiene el valor de la base (B) y longitud (L) para proceder a realizar los cálculos.

$$L = B$$

$$qa = \frac{P}{A}$$

$$L = \sqrt{\frac{P}{qa}}$$

5.1.2.2 Cimentación rectangular

Con los datos conocidos se obtiene el valor de la base (B) y longitud (L) para proceder a realizar los cálculos.

$$L = 1.2B$$

$$L = \sqrt{\frac{P}{qa}}$$

Tanto para cimentaciones cuadradas como rectangulares se deberá cumplir la siguiente relación:

$$\frac{Df}{B} \leq 4$$

5.1.3 Cálculo de las presiones en los extremos de la zapata

Al obtener las dimensiones de la zapata se calculará el valor de las presiones del suelo en los extremos de la cimentación. Además, se debe verificar la tracción y compresión que produce el suelo a la zapata considerando la excentricidad.

- $(e \leq B/6)$

$$q_{1-2} = \frac{P}{B * L} * \left(1 + \frac{6 * e_x}{L}\right)$$

$$q_{1-2} \leq qa \text{ compresión}$$

$$q_{1-2} > 0 \text{ Tracción}$$

- $(e > B/6)$

$$q_{1-2} = \frac{4P}{3L(B - 2e)}$$

$$q_{1-2} \leq qa \text{ compresión}$$

$$q_{1-2} > 0 \text{ Tracción}$$

5.1.4 Cálculo factor de mayoración

Luego de verificar las presiones del suelo se procede a realizar el cálculo del factor de mayoración, dividiendo las cargas mayoradas sobre las no mayoradas y teniendo en cuenta la combinación de carga que me genere la máxima presión del suelo.

$$FM = \frac{\text{Cargas mayoradas}}{\text{Cargas sin mayorar}}$$

5.1.5 Chequeo por punzonamiento bidireccional

5.1.5.1 Cortante resistente del concreto

Para realizar el cálculo del cortante resistente del concreto se debe tomar el valor mínimo de las tres ecuaciones que nos presenta la normativa ACI 318S-14 en la tabla 22.6.5.2.

Figura 93.

Cálculo del cortante en dos direcciones (V_c)

Tabla 22.6.5.2 Cálculo de v_c para cortante en dos direcciones.

Sistema SI Esfuerzos en MPA	Sistema mks esfuerzos en kgf/cm^2	Sistema de unidades
$V_c = 0.33\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 1.1\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 4\lambda\sqrt{f'_c}$
$V_c = 0.17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 0.53\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = \left(2 + \frac{4}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$
$V_c = 0.083\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 0.27\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$

Nota: β es la relación del lado largo al lado corto de la sección de la columna, carga concentrada o área de reacción, y α_s está dada en 22.6.5.3.

Nota. Ecuaciones para calcular el cortante en dos direcciones dependiendo del sistema de unidades especificado. Fuente: ACI318S-14.

5.1.5.2 Cortante último

Se calcula multiplicando la carga ascendente por un área crítica determinada a una distancia igual del peralte efectivo medido desde la cara de la columna.

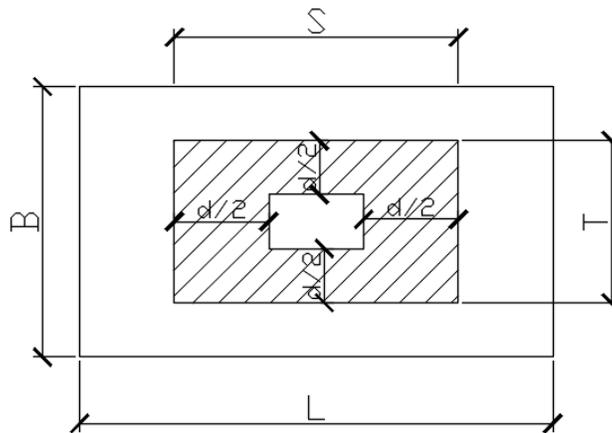
$$V_u = \bar{q} * \{B * L - [(b + d)(h + d)]\} * FM$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi * b_o * d}$$

$$v_u \leq V_c$$

Figura 94.

Área resistente para el corte en dos direcciones



Nota. En la zona rayada se representa el área de la sección crítica para analizar el corte bidireccional. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.1.6 Chequeo corte como viga (unidireccional)

5.1.6.1 Cortante resistente del concreto

Para realizar el cálculo del cortante resistente del concreto se utilizará la ecuación que nos presenta la normativa ACI 318s-14 en la tabla 22.5.5.1.

$$V_c = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}$$

El factor de modificación (λ) será igual a 1 según la tabla 19.2.4.2 del ACI 318s-14, ya que tiene un peso normal de concreto

5.1.6.2 Cortante último

Se calcula multiplicando la carga ascendente por un área crítica determinada a una distancia igual del peralte efectivo medido desde la cara de la columna.

$$Vu = \bar{q} * b * l1 * FM$$

$$vu = \frac{Vu}{\phi * bo * d}$$

$$vu \leq Vc$$

5.1.7 Cálculo del peralte de la zapata (H)

Para obtener el peralte se debe de realizar la suma del peralte útil de la zapata con la mitad del diámetro de la varilla y el recubrimiento como se muestra en la siguiente ecuación. Es recomendable considerar múltiplos de 5 cm con el fin de tener dimensiones constructivas.

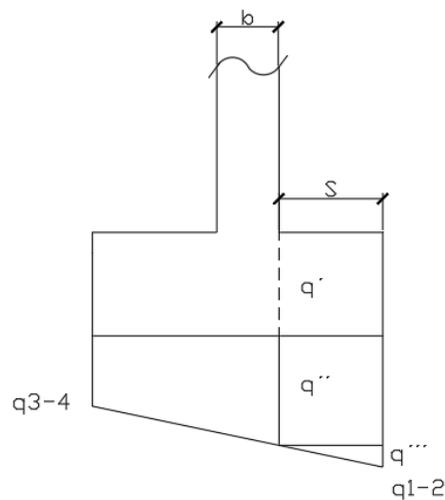
$$H = d + \frac{dv}{2} + \text{recubrimiento}$$

5.1.8 Refuerzo principal

En el diseño por flexión de la armadura longitudinal es necesario dividir las presiones del suelo en figuras geométricas conocidas y mediante relación de triángulos obtener los valores de cada sección como se presenta a continuación:

Figura 95.

Distribución de las presiones en el suelo



Nota. Dimensionamiento de la distribución de las presiones del suelo divididas en secciones.

Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

$$S = \frac{L - b}{2}$$

$$q' = q_{1-2} - q_{3-4}$$

$$q'' = \frac{q' * (L - S)}{L}$$

$$q''' = q_{1-2} - q_{3-4} - q''$$

5.1.8.1 Cálculo del momento último

Con los datos obtenidos anteriormente se procede a calcular el momento último mediante la siguiente expresión:

$$Mu = (q'' + q_{3-4}) * \frac{S * S}{2} + \frac{q'''}{2} * S * \frac{2}{3} * S$$

5.1.8.2 Acero mínimo y de diseño

Se calculará el área de acero considerando el momento último y se comparará con el acero mínimo, tomando como valor el máximo de los dos.

$$As = \frac{0.85 * F'c * b * d}{Fy} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{0.85 * \phi * F'c * b * d^2}} \right]$$

Para obtener el área de acero mínimo se trabajará con una franja unitaria como base (b=1).

$$As_{min} = \frac{14}{Fy} * b * d$$

Posteriormente se deberá multiplicar el área de acero adoptado por el ancho de la zapata para adquirir el área del acero longitudinal.

$$A_{s_{adop}} = \max (A_s, A_{s_{min}})$$

$$A_{s_{tot}} = A_{s_{adop}} * B$$

5.1.8.3 Número de varillas

Se calculará el número de varillas que se necesitará en la cimentación aislada para cumplir con el área de acero requerido.

$$\#varillas = \frac{A_{scal}}{A_{svar}}$$

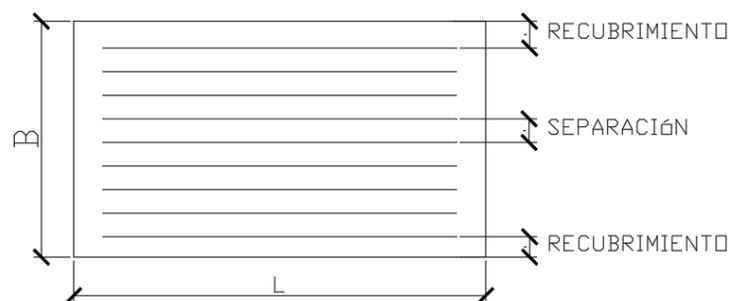
5.1.8.4 Separación entre varillas

Se calculará el espaciamiento entre varillas a lo largo de la cimentación.

$$Sep = \frac{B - 2 * rec - \#varillas * \emptyset}{\#varillas - 1}$$

Figura 96.

Armado del refuerzo principal de la zapata



Nota. Recubrimiento y separación del armado longitudinal Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

Para el caso de una cimentación cuadrada se tendrá el mismo armado longitudinal y transversal, mientras que en una cimentación rectangular el armado transversal se lo realizará de la siguiente manera.

5.1.9 Refuerzo transversal

Para obtener el armado transversal es necesario analizar la zapata en ambas direcciones, considerando la longitud, peralte útil, presión del suelo y división de franjas.

$$d' = d - \phi p$$

$$q_{prom} = \frac{q_{1-2} + q_{3-4}}{2}$$

$$l = \frac{(L - \frac{L}{2} - \frac{b}{2})}{2}$$

$$Mu = \frac{q_{prom} * l^2}{2} * FM$$

5.1.9.1 Acero mínimo y de diseño

Se calculará el área de acero considerando el momento último y se comparará con el acero mínimo, tomando como valor el máximo de los dos.

$$A_s = \frac{0.85 * F'c * b * d}{F_y} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0.85 * \phi * F'c * b * d^2}} \right]$$

Para obtener el área de acero mínimo se trabajará con una franja unitaria como base (b=1).

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{F_y} * b * d$$

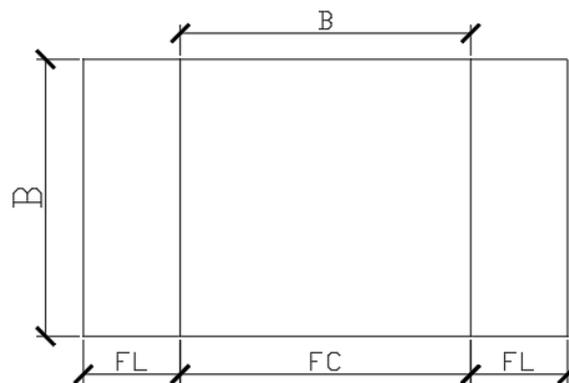
$$A_{s_{adop}} = \max (A_s, A_{s_{min}})$$

$$A_{s_{tot}} = A_{s_{adop}} * L$$

Para el armado es necesario dividir en 3 franjas de la siguiente manera: Dos franjas laterales y una de columna la cual tendrá la misma dimensión de la base de la zapata.

Figura 97.

Distribución de franjas en la cimentación



Nota. Franjas laterales y de columna donde se distribuirá el acero para los distintos armados.

Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2018).

5.1.9.2 Armado transversal en franja de columna

Se calculará el porcentaje del acero total correspondiente a la franja de columna y se cuantificará el número de varillas con su separación.

$$F_c(\%) = \frac{2}{\frac{L}{B} + 1} * 100$$

$$A_{sc} = A_{stot} * F_c\%$$

$$\#varillas = \frac{B}{separación} + 1$$

$$\emptyset_{tfc} = \frac{A_{sc}}{\#varillas}$$

5.1.9.3 Armado transversal en franja lateral

Se calculará el porcentaje del acero total correspondiente a la franja lateral y se cuantificará el número de varillas con su separación.

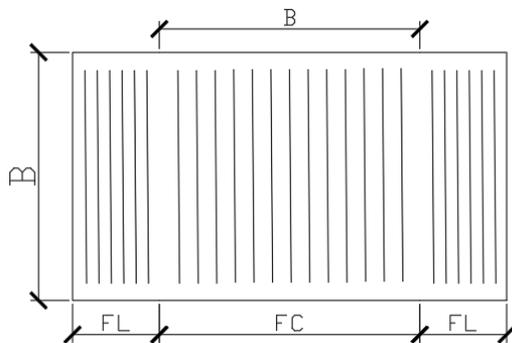
$$A_{sL} = \frac{A_{stot} - A_{sc}}{2}$$

$$\#varillas = \frac{b_{col} - recubrimiento}{separación} + 1$$

$$\emptyset_{tfl} = \frac{A_{sL}}{\#varillas}$$

Figura 98.

Armado del refuerzo transversal de la zapata



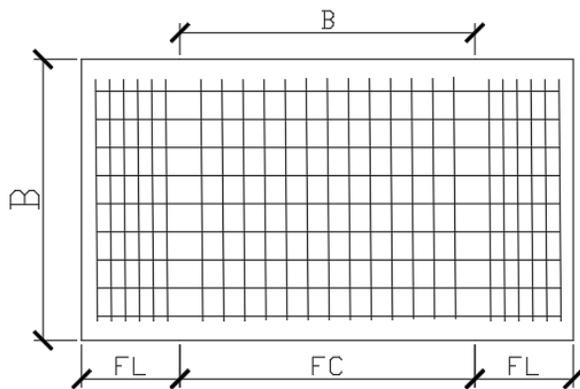
Nota. Distribución del armado en cada una de las franjas transversales de la zapata. Elaborado por:

Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.1.10 Armado teórico de la zapata

Figura 99.

Vista en planta del armado de la cimentación



Nota. Armado longitudinal y transversal de la zapata distribuido teóricamente en cada una de sus franjas con su respectiva separación y recubrimiento. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2018)

5.2 Zapata combinada

Una zapata combinada es un elemento capaz de soportar el peso de la estructura y garantizar la estabilidad frente algún acontecimiento que pueda provocar el colapso de la misma, se utilizan cuando las dimensiones entre ejes de columnas están condicionadas con espacios reducidos o cuando se tiene una baja capacidad portante del suelo.

5.2.1 Cálculo de cargas y área de la zapata combinada

Para obtener las cargas generadas por el peso aplicado sobre las columnas se extraerán los datos obtenidos en el programa ETABS, tomando en cuenta: carga viva, muerta, sobrecarga, sismo “x” y en “y”.

Las dimensiones de la zapata combinada se las determinará considerando los límites de área designados para la edificación, estos se encontrarán en los planos arquitectónicos, en el caso de no cumplir con las verificaciones de esfuerzos se planteará otro tipo de cimentación como: vigas o losa de cimentación.

5.2.1.1 Cálculo de la excentricidad y resultante

Se realiza la sumatoria de momentos en cualquier punto a lo largo del tramo para determinar la dimensión a la que se encuentra la resultante. Al determinar este valor se lo duplica con el fin de obtener una excentricidad igual a 0.

Figura 100.

Cargas aplicadas sobre la cimentación

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TABLE: Joint Reactions							
2	Story	Joint Label	Unique Name	Load Case/Combo	FZ	MX	MY	
3					tonf	tonf-m	tonf-m	
4	N-2.29	9	46	PESO PROPIO	9,9639	-0,0201	0,1854	
5	N-2.29	9	46	Live	3,799	-0,0168	0,1049	
6	N-2.29	9	46	CM SOBRE CARGA	5,1299	-0,0021	0,1484	
7	N-2.29	9	46	Sx	-4,1042	0,2017	-3,4017	
8	N-2.29	9	46	Sy	0,7857	3,2469	-0,1404	
9	N-2.29	5	44	PESO PROPIO	9,379	0,0792	0,1719	
0	N-2.29	5	44	Live	3,5241	0,0298	0,0961	
1	N-2.29	5	44	CM SOBRE CARGA	4,7393	0,0572	0,1347	
2	N-2.29	5	44	Sx	-4,3542	0,1279	-3,5695	
3	N-2.29	5	44	Sy	-1,3495	3,3135	0,0068	
4	N-2.29	1	43	PESO PROPIO	7,2645	0,0479	0,1138	
5	N-2.29	1	43	Live	1,8327	0,0349	0,0408	
6	N-2.29	1	43	CM SOBRE CARGA	2,5084	0,0637	0,0635	
7	N-2.29	1	43	Sx	-5,3806	0,1526	-3,5268	
8	N-2.29	1	43	Sy	3,4038	2,5465	0,1725	
9	N-2.29	13	48	PESO PROPIO	5,2407	-0,0839	0,0936	
0	N-2.29	13	48	Live	1,5333	-0,0445	0,0456	
1	N-2.29	13	48	CM SOBRE CARGA	2,067	-0,046	0,0696	
2	N-2.29	13	48	Sx	-2,9163	0,1579	-2,6933	
3	N-2.29	13	48	Sy	-2,8038	2,4873	-0,2895	
4	N-2.29	10	34	PESO PROPIO	16,453	-0,0956	0,1458	
5	N-2.29	10	34	Live	7,2122	-0,0489	0,0707	
6	N-2.29	10	34	CM SOBRE CARGA	10,2615	-0,0381	0,0754	
7	N-2.29	10	34	Sx	-13,1734	1,7403	-5,2412	
8	N-2.29	10	34	Sy	-10,9593	6,7374	-0,1601	

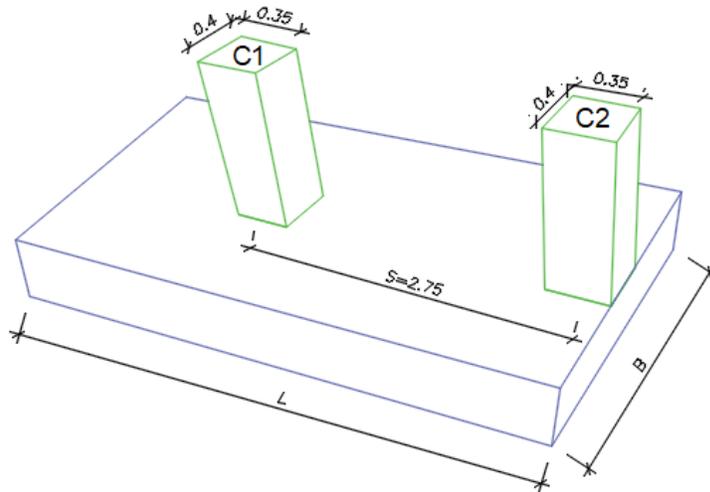
Nota. Cargas de: peso propio, carga viva, sobrecarga, sismo en “X” y en “Y” aplicadas en cada nodo. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

El área de la zapata combinada se calculará mediante la división de la carga total sobre el esfuerzo admisible. Al obtener los datos del área y de la longitud se procederá a calcular la base de la zapata combinada.

$$A = \frac{P}{qa}$$

Figura 101.

Vista tridimensional de la zapata combinada



Nota. Acotado de los elementos de la zapata combinada. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.2.2 Determinación de las presiones del suelo

Para determinar la presión del suelo se debe dividir el valor de la resultante sobre el área de la zapata combinada, de tal manera de verificar que este sea menor al esfuerzo admisible del suelo, de lo contrario, se deberá aumentar las dimensiones.

$$q = \frac{R}{B * L} \leq qa$$

Es importante realizar el cálculo con cada combinación de carga, para obtener un valor de presión del suelo crítico, posteriormente los cálculos serán realizados mediante este tipo de combinación de carga.

5.2.3 Cálculo del factor de mayoración

Luego de verificar las presiones del suelo se procede a realizar el cálculo del factor de mayoración, dividiendo las cargas mayoradas sobre las no mayoradas y teniendo en cuenta la combinación de carga que me genere la máxima presión del suelo.

$$FM = \frac{\text{Cargas mayoradas}}{\text{Cargas no mayoradas}}$$

5.2.4 Cálculo de cortantes y momentos

5.2.4.1 Cargas actuantes

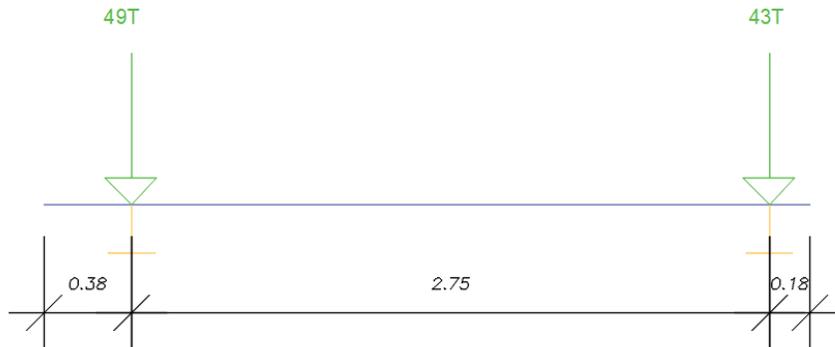
a) Puntual

Se debe realizar la multiplicación de las cargas aplicadas sobre las columnas por el factor de mayoración calculado en el anterior paso, luego realizar un esquema para ubicar las cargas puntuales a lo largo de la zapata combinada.

$$Pu = P * FM$$

Figura 102.

Esquema de cargas puntuales



Nota. Diagrama de las cargas de columna mayoradas aplicadas sobre la cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

b) Distribuida

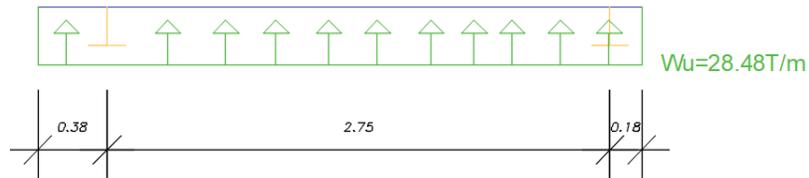
Se debe realizar la multiplicación de las cargas aplicadas sobre las columnas por el factor de mayoración calculado en el anterior paso, luego realizar un esquema para ubicar las cargas puntuales a lo largo de la zapata combinada.

Se debe realizar la multiplicación de la presión del suelo, la base y el factor de mayoración.

$$Wu = q * B * FM$$

Figura 103.

Esquema de carga distribuida



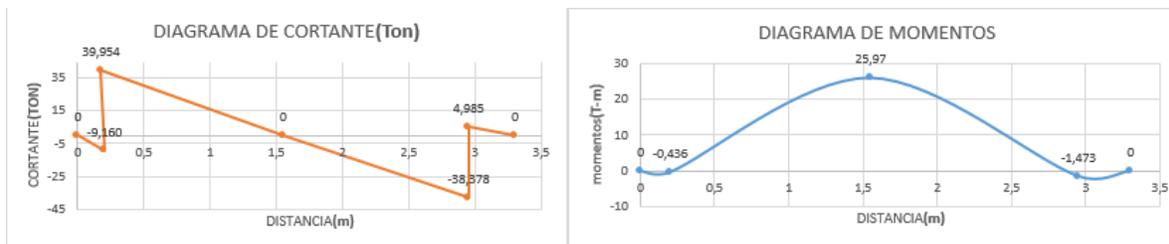
Nota. Diagrama de cargas distribuidas mayoradas de la presión del suelo. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.2.5 Diagrama de cortante y momento

Se calcula los cortantes aplicados en los apoyos debido a las cargas puntuales y distribuida, mediante un sistema de ecuaciones a lo largo de toda la zapata combinada, posteriormente se integrará las ecuaciones y se obtendrá los valores de momentos en los apoyos y en la mitad de los tramos.

Figura 104.

Diagrama de corte y momento



Nota. Valores máximos y mínimos de corte y momento a lo largo de la cimentación combinada

Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.2.6 Chequeo por punzonamiento bidireccional

5.2.6.1 Cortante resistente del concreto

Para realizar el cálculo del cortante resistente del concreto se debe tomar el valor mínimo de las tres ecuaciones que nos presenta la normativa ACI 318S-14 en la tabla 22.6.5.2.

Figura 105.

Cálculo del cortante en dos direcciones (V_c)

Tabla 22.6.5.2 Cálculo de v_c para cortante en dos direcciones.

Sistema SI Esfuerzos en MPA	Sistema mks esfuerzos en kgf/cm^2	Sistema de unidades
$V_c = 0.33\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 1.1\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 4\lambda\sqrt{f'_c}$
$V_c = 0.17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 0.53\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = \left(2 + \frac{4}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$
$V_c = 0.083\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = 0.27\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$

Nota: β es la relación del lado largo al lado corto de la sección de la columna, carga concentrada o área de reacción, y α_s está dada en 22.6.5.3.

Nota. Ecuaciones para calcular el cortante en dos direcciones dependiendo del sistema de unidades especificado. Fuente: ACI 318S-14.

5.2.6.2 Cortante último

Se calcula multiplicando la carga ascendente por un área crítica determinada a una distancia igual del peralte efectivo medido desde la cara de la columna.

$$Vu = P * FM - \{q * [(b + d)(h + d)]\} * FM$$

$$vu = \frac{Vu}{\phi * bo * d}$$

$$vu \leq Vc$$

5.2.7 Chequeo corte como viga (unidireccional)

5.2.7.1 Cortante resistente del concreto

Para realizar el cálculo del cortante resistente del concreto se utilizará la ecuación que nos presenta la normativa ACI 318s-14 en la tabla 22.5.5.1.

$$Vc = 0.53\lambda\sqrt{f'c}$$

El factor de modificación (λ) será igual a 1 según la tabla 19.2.4.2 del ACI 318s-14, ya que tiene un peso normal de concreto.

5.2.7.2 Cortante último

Se lo calcula a una distancia del peralte efectivo tomado en cuenta desde la cara de la columna y multiplicado por la carga ascendente, se debe de ocupar el valor máximo del diagrama de cortante

$$Vu = Vmax - qu * (d + 0.5b)$$

$$vu = \frac{Vu}{\phi * bo * d}$$

$$v_u \leq V_c$$

5.2.8 Cálculo del peralte de la zapata

Para obtener el peralte se debe de realizar la suma del peralte útil de la zapa con la mitad del diámetro de la varilla y el recubrimiento como se muestra en la siguiente ecuación. Es recomendable considerar múltiplos de 5 cm con el fin de tener dimensiones constructivas.

$$H = d + \frac{dv}{2} + \text{recubrimiento}$$

5.2.9 Armado longitudinal

5.2.9.1 Acero mínimo y de diseño

Se calculará el área de acero considerando los momentos últimos desarrollados a lo largo la zapata combinada y se comparará con el acero mínimo, tomando como valor el máximo de los dos para el armado superior e inferior.

$$A_s = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{F_y} * \left[1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 * M_u}{0.85 * \emptyset * f'_c * b * d^2}} \right) \right]$$

$$A_{smin} = \frac{14}{F_y} * b * d$$

5.2.9.2 Número de varillas

Se calculará el número de varillas que se necesitará en la cimentación combinada para cumplir con el área de acero requerido.

$$\#varillas = \frac{A_{scal}}{A_{svar}}$$

5.2.9.3 Separación

Se calculará el espaciamiento entre varillas a lo largo de la cimentación combinada.

$$Sep = \frac{B - 2 * rec - \#varillas * \emptyset}{\#varillas - 1}$$

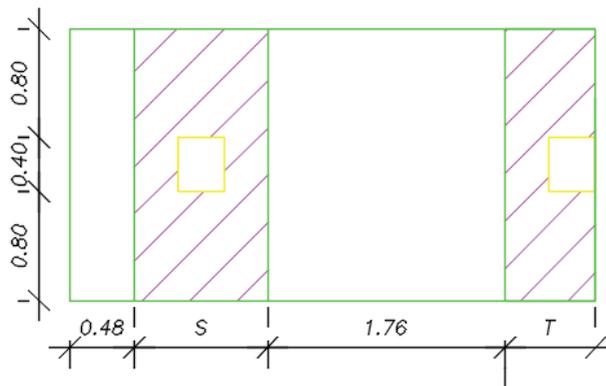
5.2.10 Armado transversal

5.2.10.1 División de las secciones

Se divide la cimentación combinada en tramos ubicados al 75 % del peralte efectivo desde la cara de la columna.

Figura 106.

División de tramos para acero transversal



Nota. Distribución del 75% del peralte efectivo a lo largo de la cimentación combinada desde la cara de la columna. Elaborado por: Los autores a través de (AutoCAD 2022).

$$S = 1.5d + b$$

$$T = 0.75d + b$$

Al tener determinada las franjas se procede a calcular la carga y momento último de cada tramo.

$$qu = \frac{P * FM}{S * B}$$

$$Mu = \frac{qu * l^2}{2}$$

5.2.10.2 Acero mínimo y de diseño

Se calculará el área de acero considerando los momentos últimos desarrollados a lo largo la zapata combinada y se comparará con el acero mínimo, tomando como valor el máximo de los dos para el armado superior e inferior.

$$As = \frac{0.85 * f'c * b * d}{Fy} * \left[1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 * Mu}{0.85 * \emptyset * f'c * b * d^2}} \right) \right]$$

$$Asmin = \frac{14}{Fy} * b * d$$

5.2.10.3 Número de varillas

Se calculará el número de varillas que se necesitará en la cimentación combinada para cumplir con el área de acero.

$$\#varillas = \frac{A_{scal}}{A_{svar}}$$

5.2.10.4 Separación

Se calculará el espaciamiento entre varillas a lo largo de la cimentación combinada

$$Sep = \frac{B - 2 * rec - \#varillas * \emptyset}{\#varillas - 1}$$

5.2.11 Acero por temperatura

Distribución del acero por temperatura en el ancho de la cimentación combinada, tanto en la parte superior como inferior.

5.2.11.1 Cálculo del acero por temperatura

El área de acero por temperatura se calculará en el ancho de la cimentación mediante la siguiente.

$$A_{stem} = 0.002 * B * d$$

5.2.11.2 Número de varillas

Se calculará el número de varillas que se necesitará en la cimentación combinada para cumplir con el área de acero por temperatura.

$$\#varillas = \frac{A_{scal}}{A_{stemp}}$$

5.2.11.3 Separación

Se distribuye el número de varillas en los tramos que sean necesarios tanto en la parte superior como inferior, tomando en cuenta que no choquen con las varillas distribuidas en las franjas de las columnas.

5.3 Losa de cimentación

Una losa de cimentación es un elemento capaz de soportar el peso de la estructura y garantizar la estabilidad frente algún acontecimiento que pueda provocar el colapso de la misma, se utilizan cuando se tiene cargas muy grandes y una baja capacidad portante del suelo.

5.3.1 Cálculo de cargas y área de la losa de cimentación

Para obtener las cargas generadas por el peso aplicado sobre las columnas se extraerán los datos obtenidos en el programa ETABS, tomando en cuenta: carga viva, muerta, sobrecarga, sismo “x” y en “y”.

Las dimensiones de la losa de cimentación se las determinará considerando los límites de área designados para la edificación, estos se encontrarán en los planos arquitectónicos, en el caso de no cumplir con las verificaciones de esfuerzos se planteará otro tipo de cimentación como el uso de pilotes.

Figura 107.

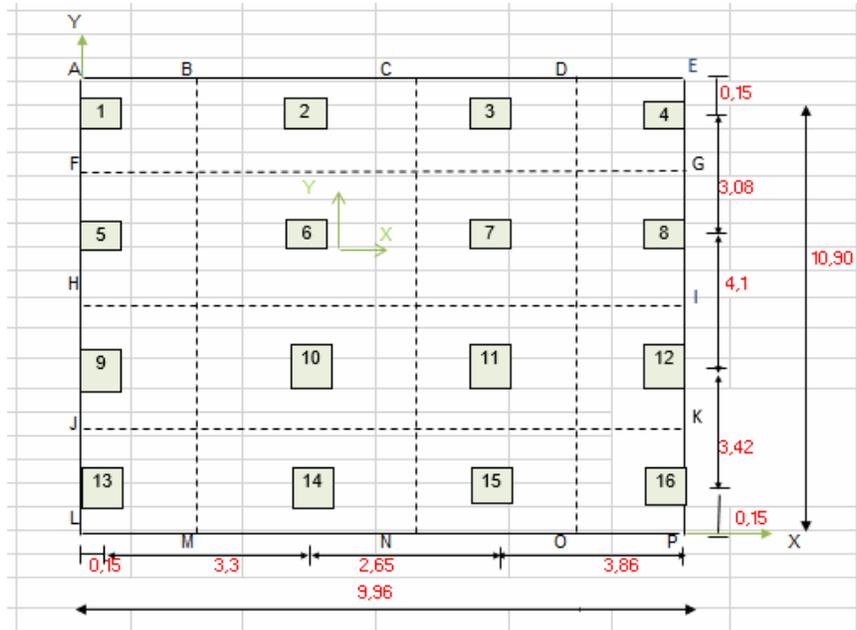
Cargas aplicadas sobre la cimentación

TABLE: Joint Reactions	Story	Joint Label	Unique Name	Load Case/Combo	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m
4	N-2,29	9	46	PESO PROPIO	9,9639	-0,0201	0,1854
5	N-2,29	9	46	Live	3,799	-0,0168	0,1049
5	N-2,29	9	46	CM SOBRE CARGA	5,1299	-0,0021	0,1484
7	N-2,29	9	46	Sx	-4,1042	0,2017	-3,4017
3	N-2,29	9	46	Sy	0,7857	3,2469	-0,1404
3	N-2,29	5	44	PESO PROPIO	9,379	0,0792	0,1719
0	N-2,29	5	44	Live	3,5241	0,0298	0,0961
1	N-2,29	5	44	CM SOBRE CARGA	4,7393	0,0572	0,1347
2	N-2,29	5	44	Sx	-4,3542	0,1279	-3,5695
3	N-2,29	5	44	Sy	-1,3495	3,3135	0,0068
4	N-2,29	1	43	PESO PROPIO	7,2645	0,0479	0,1138
5	N-2,29	1	43	Live	1,8327	0,0349	0,0408
6	N-2,29	1	43	CM SOBRE CARGA	2,5084	0,0637	0,0635
7	N-2,29	1	43	Sx	-5,3806	0,1526	-3,5268
8	N-2,29	1	43	Sy	3,4038	2,5465	0,1725
9	N-2,29	13	48	PESO PROPIO	5,2407	-0,0839	0,0936
0	N-2,29	13	48	Live	1,5333	-0,0445	0,0456
1	N-2,29	13	48	CM SOBRE CARGA	2,067	-0,046	0,0696
2	N-2,29	13	48	Sx	-2,9163	0,1579	-2,6933
3	N-2,29	13	48	Sy	-2,8038	2,4873	-0,2895
4	N-2,29	10	34	PESO PROPIO	16,453	-0,0956	0,1458
5	N-2,29	10	34	Live	7,2122	-0,0489	0,0707
6	N-2,29	10	34	CM SOBRE CARGA	10,2615	-0,0381	0,0754
7	N-2,29	10	34	Sx	-13,1734	1,7403	-5,2412
8	N-2,29	10	34	Sy	-10,9593	6,7374	-0,1601

Nota. Cargas de: peso propio, carga viva, sobrecarga, sismo en “X” y en “Y” aplicadas en cada nodo. Elaborado por: Los autores, a través de ETABS (2016).

Figura 108.

Vista en planta de la losa de cimentación



Nota. Numeración de las columnas, acotado y dimensiones de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

5.3.2 Determinación de las presiones del suelo

5.3.2.1 Cálculo de las resultantes y excentricidades

Para determinar la magnitud de las resultantes es necesario multiplicar las cargas por su brazo de palanca y dividir para la sumatoria total de las cargas en ambos sentidos “x” y “y”.

$$\bar{X} = \frac{\sum(P_i * x_i)}{\sum P_i} \quad \bar{Y} = \frac{\sum(P_i * y_i)}{\sum P_i}$$

Posteriormente se calculará de las excentricidades por medio de la diferencia entre la resultante y la mitad de la longitud del eje que se está calculando “x” o “y”.

$$ex = \bar{x} - \frac{B}{2} \qquad ey = \bar{y} - \frac{L}{2}$$

5.3.2.2 Cálculo de momentos e inercias

El cálculo de la inercia se realizará igual a la inercia de un rectángulo y para obtener los momentos se mayorará las cargas dependiendo de la combinación que se vaya a ocupar, luego se multiplicará por la excentricidad en “x” y “y”.

$$Ix = \frac{b * h^3}{12} \qquad Mx = Pu * ex$$

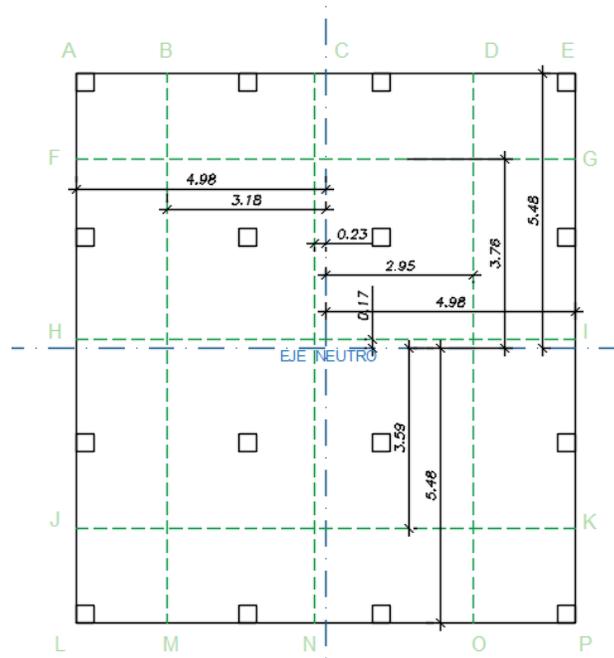
$$Iy = \frac{h * b^3}{12} \qquad My = Pu * ey$$

5.3.2.3 Determinación de longitudes por franjas

Se divide a la losa de cimentación en franjas intermedias entre los ejes de las columnas, posteriormente se debe ubicar el eje neutro para calcular las distancias que se tiene hacia cada uno de los puntos de las franjas. Esto se debe realizar en ambos sentidos.

Figura 109.

Distribución de franjas entre columnas



Nota. Acotado desde el eje neutro hacia cada uno de los puntos de las franjas de la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.3.2.4 Verificación de las presiones del suelo

Con los datos obtenidos anteriormente se calculará y verificará que las presiones obtenidas en las franjas sean menor o igual al valor de la carga admisibles, caso contrario es necesario aumentar las dimensiones de la losa de cimentación hasta cumplir con el chequeo de las presiones.

$$q = \frac{Q}{A} + \frac{My * x}{Iy} \pm \frac{Mx * y}{Ix}$$

Es importante realizar el cálculo con cada combinación de carga, para obtener un valor de presión del suelo crítico, posteriormente los cálculos serán realizados mediante este tipo de combinación de carga.

5.3.3 Cálculo del peralte efectivo de la losa a partir del corte por punzonamiento

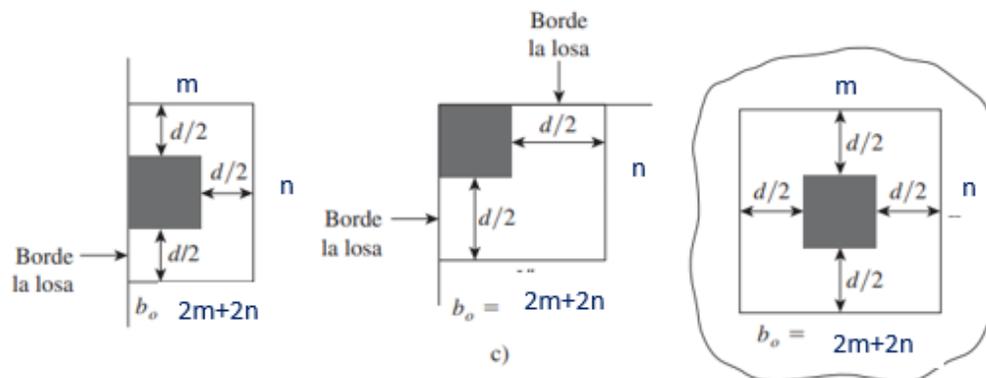
Se realizará un sistema de ecuaciones en el cual la variable a encontrar será el peralte efectivo, para obtener esto se debe cumplir la condición del cortante por punzonamiento: La fuerza al cortante último debe ser menor o igual a la resistencia del concreto al corte.

$$V_u \leq \phi V_c$$

Según la normativa ACI 318S-14 en el apartado 7.4.3.2, plantea que se debe tomar una sección crítica ubicada a una distancia mínima igual al peralte efectivo entre dos, medida desde la cara de la columna. Se debe de considerar la ubicación en la que se encuentra la columna como se representa a continuación.

Figura 110.

Ubicación de la sección crítica



Nota. Distintas formas de cálculo de la sección crítica dependiendo de la ubicación de la columna.

Elaborado por los autores Fuente: Braja Das (2012).

$$Vu = Pu - qa * m * n \quad Ec (1)$$

$$\phi Vc = \phi * 1.1 * x \sqrt{f'c} * bo * d \quad Ec (2)$$

El análisis se debe realizar para una columna de borde, central y perimetral, para obtener un valor de peralte efectivo máximo.

5.3.4 Cálculo del factor de modificación de carga “F”

5.3.4.1 Cálculo de la presión del suelo promedio (q prom)

Se obtendrá el promedio de las presiones del suelo existentes en la franja. Este proceso se lo debe realizar de manera individual en cada una de las franjas.

$$q_{prom} = \frac{\sum qi}{n}$$

5.3.4.2 Cálculo de la carga promedio (CP)

Según Braja Das (2012) plantea en la fórmula 6.29 realizar el cálculo de la carga promedio mediante la sumatoria de todas las cargas aplicadas en las columnas de la franja de estudio, más la multiplicación entre: el suelo promedio y el área de la losa. El resultado de la operación dividirla para dos, como se indica a continuación.

$$CP = \frac{q_{prom} * B * L + \sum(Q1 + Q2 + Q3 + \dots)}{2}$$

5.3.4.3 Cálculo factor "F"

Realizar la división entre la sumatoria de todas las cargas aplicadas en las columnas y la carga promedio. Si el resultado es menor que 1 se debe tomar un valor unitario, mientras que si da mayor se tomara el valor calculado.

$$F = \frac{\sum Q1 + Q2 + Q3 + \dots \dots Q}{CP}$$

5.3.5 Diseño de losa

5.3.5.1 Cargas actuantes

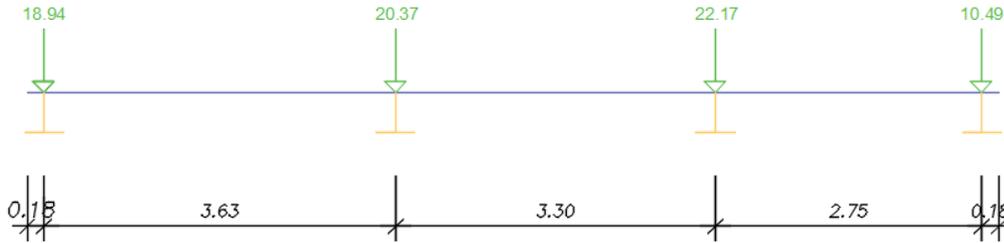
c) Puntual

Se debe realizar la multiplicación de las cargas aplicadas sobre las columnas por el factor de modificación calculado en el anterior paso, luego realizar un esquema para ubicar las cargas puntuales a lo largo del tramo de la franja en análisis.

$$Pu = P * F$$

Figura 111.

Esquema de cargas puntuales



Nota. Diagrama de las cargas de columna últimas aplicadas sobre la losa de cimentación. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

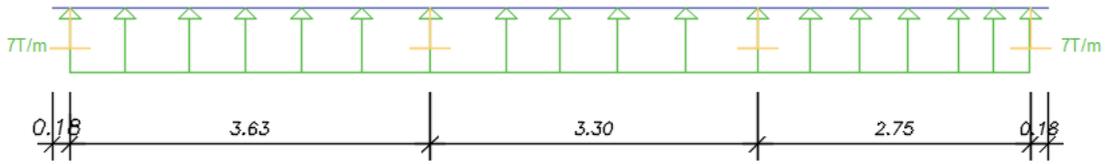
d) Distribuida

Se debe realizar la multiplicación de las cargas aplicadas sobre las columnas por el factor de mayoración calculado en el anterior paso, luego realizar un esquema para ubicar las cargas puntuales a lo largo de la zapata combinada.

Se debe tomar las presiones del suelo generadas en las esquinas de la franja que se está analizando, para obtener un promedio de las presiones en el lado izquierdo y en el derecho, posteriormente se los multiplicará por el ancho de la franja. Además, se debe calcular el promedio de los dos resultados obtenidos.

Figura 112.

Esquema de carga distribuida



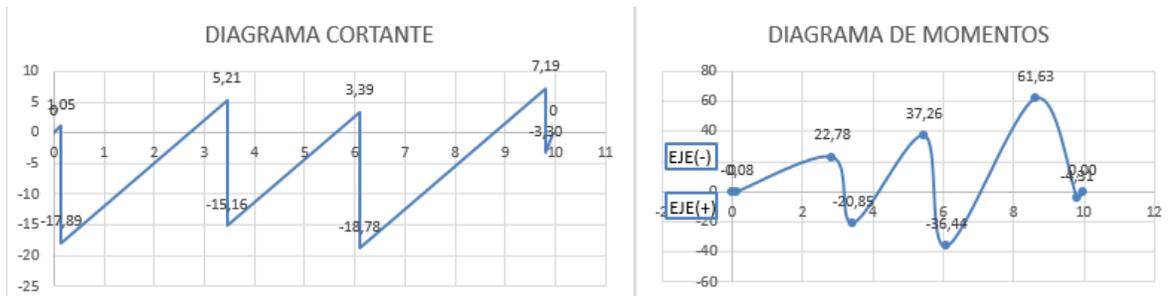
Nota. Diagrama de cargas distribuidas últimas de la presión del suelo. Elaborado por: Los autores, a través de Autodesk AutoCAD (2022).

5.3.5.2 Diagrama de cortante y momento

Se calcula los cortantes aplicados en los apoyos debido a las cargas puntuales y distribuida, mediante un sistema de ecuaciones a lo largo de toda la franja de estudio, posteriormente se integrará las ecuaciones y se obtendrá los valores de momentos en los apoyos y en la mitad de los tramos.

Figura 113.

Diagrama de corte y momento



Nota. Valores máximos y mínimos de corte y momento a lo largo de la losa de cimentación.

Elaborado por: Los autores, a través de Excel.

5.3.6 Verificación del cortante

Se comprobará el corte por punzonamiento verificando que la fuerza al cortante último sea menor o igual a la resistencia del concreto al corte, para lo cual se va a tomar el valor más alto del diagrama de cortante y se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$Vu = Vmax - w * (L + d)$$

$$Vc = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vu \leq \phi Vc$$

5.3.7 Cálculo del peralte de la zapata

Para obtener el peralte se debe de realizar la suma del peralte útil de la losa de cimentación con la mitad del diámetro de la varilla y el recubrimiento como se muestra en la siguiente ecuación. Es recomendable considerar múltiplos de 5 cm con el fin de tener dimensiones constructivas.

$$H = d + \frac{dv}{2} + \text{recubrimiento}$$

5.3.8 Armado longitudinal y transversal

Los siguientes cálculos se realizarán para cada una de las franjas de la losa de cimentación.

5.3.8.1 Acero mínimo y de diseño

Se calculará el área de acero considerando los momentos últimos desarrollados a lo largo la zapata combinada y se comparará con el acero mínimo, tomando como valor el máximo de los dos para el armado superior e inferior.

$$A_s = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{F_y} * \left[1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 * M_u}{0.85 * \emptyset * f'_c * b * d^2}} \right) \right]$$

$$A_{smin} = 0.0018 * b * t$$

5.3.8.2 Número de varillas

Se calculará el número de varillas que se necesitará en la cimentación combinada para cumplir con el área de acero requerido.

$$\#varillas = \frac{A_{scal}}{A_{svar}}$$

5.3.8.3 Separación

Se calculará el espaciamiento entre varillas a lo largo de la cimentación combinada.

$$Sep = \frac{B - 2 * rec - \#varillas * \emptyset}{\#varillas - 1}$$

CONCLUSIONES

En el análisis se observó, que las cimentaciones aisladas y losas de cimentación en el programa SAFE presentaron ciertas tracciones de las presiones en el suelo, esto se debe a que la excentricidad supera el valor crítico ($e \leq B/6$), produciendo una zona en la zapata que no transmite tensiones, debido a la distribución de esfuerzos bajo el suelo, para solventar este comportamiento se usan los denominados casos no lineales, en los cuales, a través de la definición de las propiedades del suelo se logra crear elementos que solo funcionan bajo cargas a compresión, logrando un comportamiento similar al del suelo, en caso contrario se asumiría que el suelo también transmite tracciones.

En el diseño de las cimentaciones por el método rígido y elástico se utilizan únicamente cargas de servicio más los efectos de sismo ya que estas son las que mayores solicitaciones nos presentan.

Se debe tener en cuenta que el programa SAFE toma en consideración la rigidez del suelo, mientras que el método rígido supone que la distribución de esfuerzos es constante, lo que vendría a ser un modelo simplificado.

También se determinó un presupuesto para la cimentación aislada y losa de cimentación de los respectivos bloques 1 y 2, de donde se concluye que la cimentación aislada tiene un incremento del 7.73% y 2.20% sobre el método elástico de los bloques 1 y 2 respectivamente.

En el análisis de las losas de cimentación se observa un incremento del 13.27% y 18.44% del método rígido sobre el método elástico de los bloques 1 y 2 respectivamente.

En referencia a los volúmenes de hormigón se determinó que para el método rígido se requiere un 8.56% y 3.42% más que el método elástico tanto en el bloque 1 y 2 respectivamente.

En el análisis de las cimentaciones aisladas se observa un mayor volumen de hormigón por el método rígido, presentando una variación de cantidad de hormigón del 8.56% y 3.42% de los bloques 1 y 2 respectivamente, en comparación al método elástico.

En el diseño de las cimentaciones aisladas por el método rígido del bloque 1 se observa un incremento de cuantía de acero del 13.14% frente al método elástico, mientras que en el bloque 2 se obtuvo incremento del 3.40% del método elástico frente al método rígido, diferencia que se debe al acero superior que cubre las tracciones de la cimentación.

En el diseño de las losas de cimentación se determinó que existe un incremento en la cuantía de acero del 30.31% y 34.52% de los bloques 1 y 2 respectivamente, del método rígido frente al método elástico.

Al emplear el método rígido en el diseño de cimentaciones se obtiene mayores volúmenes de hormigón y acero lo que demandará de mayores tareas complementarias como son: áreas de excavación y rellenos, en consecuencia, requiere de un incremento de mano de obra frente a las cimentaciones por el método elástico.

La construcción de las cimentaciones aisladas del bloque 1 por el método rígido tomará 34 días calendarios mientras que por el método elástico tomará 31 días calendario, de la misma manera se analizó para el bloque 2 presentando 42 días calendario para el método elástico mientras que para el método rígido se tendrá 43 días calendario.

La construcción de la losa de cimentación del bloque 1 por el método rígido tomará 37 días calendarios mientras que por el método elástico tomará 31 días calendario, de la misma manera se analizó para el bloque 2 presentando 31 días calendario para el método elástico mientras que para el método rígido se tendrá 40 días calendario.

Mirando todas estas variaciones, podemos concluir también que tanto como costos y tiempos de ejecución es mayor el método rígido en comparación al elástico.

Las deformaciones horizontales por efecto de sismo no influyen en el análisis estructural de la cimentación debido a que la superestructura es analizada independientemente.

En el análisis de las losas de cimentación se observa un mayor volumen de hormigón por el método rígido, presentando una variación de cantidad de hormigón del 4.23% y 10% de los bloques 1 y 2 respectivamente, en comparación del método elástico.

RECOMENDACIONES

Previo al análisis estructural de cimentaciones se debe contar con todas las características mecánicas del suelo, las mismas que deberían solicitarse en el estudio de suelos.

Incluir siempre el análisis por todas las combinaciones de carga de servicio más el efecto de sismo, teniendo en cuenta que las cimentaciones se deben analizar por cargas en estado de servicio.

Un punto complementario a esta tesis sería el análisis de los asentamientos de las metodologías aplicadas en las cimentaciones.

Observando las diferencias de los dos métodos, se sugiere implementar en los programas analíticos de las carreras de ingeniería de las universidades el diseño de cimentaciones utilizando el método elástico.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Carga admisible: Máxima presión que puede soportar el terreno al nivel de desplante de la cimentación.

Resorte Elástico: Vínculo en el terreno que genera una reacción distribuida, depende de la rigidez de la cimentación y distribución de la carga.

Punzonamiento: Es un efecto de tensión que produce excesivas fisuras debido a la transmisión de esfuerzos en la superficie de contacto entre elementos.

Consolidación: Proceso de reducción del volumen de poros generada por la aplicación de la carga en el suelo.

Licuefacción: Es el proceso mediante el cual se pierde tanto la firmeza como la resistencia del suelo, debido al incremento de presión de poros en arenas saturadas por eventos dinámicos como sismos.

LISTA DE REFERENCIA

- Alva Hurtado, J. (2010). *Diseño de cimentaciones*. Instituto de la construcción y gerencia (ICG).
Retrieved from <http://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (Fifth ed.). The McGraw Hill Companies, Inc.
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). Cengage Learning.
- Dunham, C. (1968). *Cimentaciones de estructuras* (Segunda ed.). Mc Graw-Hill Book Company.
Retrieved from <https://es.scribd.com/document/362068227/Clarence-w-Dunham-Cimentaciones-de-Estructuras>
- Freire León, J. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CONSIDERANDO EL SISTEMA DE BASE RÍGIDA VERSUS LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA*. [Tesis de pregrado de ingeniería civil, Universidad Central del Ecuador] Repositorio digital de la Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6598>
- Guerra Avendaño, M. (2013). *Cimentaciones sismo resistentes utilizando SAFE*. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/297452646/Cimentaciones-Safe-Marcelo-Guerra>
- Little, A. (1965). *CIMENTACIONES*. Compañía Editorial Continental, S.A. . Retrieved from <https://www.freelibros.me/ingenieria/cimentaciones-a-l-little>
- McCormac, J., & Brown, R. (2011, 7). *Diseño de concreto reforzado* (Octava ed.). Alfaomega.
Retrieved from <https://www.u->

cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/DiseA_o_de_Concret
o_Reforzado_8_edicion_-.pdf

NEC. (2015). *GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
Retrieved from [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-
content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-GC-Geot%C3%A9cnia-y-
Cimentaciones.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-GC-Geot%C3%A9cnia-y-Cimentaciones.pdf)

NEC. (2016, 10). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de
cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*.
Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Retrieved from
[https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-6-
GEOTECNICA.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-6-GEOTECNICA.pdf)

Oscar, C. M. (2017). *Los 15 tipos de investigación (y características)*. Retrieved from
<https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>

Paúl, O. C. (2013). *“IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA EL
CÁLCULO Y DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES APLICACIÓN AL
CÁLCULO DE EDIFICIOS”*. [Tesis de pregrado de ingeniería civil, Universidad Central
del Ecuador] Repositorio digital de la Universidad Central del Ecuador. Retrieved from
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1280>

Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1984). *Foundation Engineering* (2nd ed.). (J.
Wiley & Sons, Ed.) New York.

Sera, M. d. (2017). *HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE
CIMENTACIONES SUPERFICIALES AISLADAS RECTANGULARES DE HORMIGÓN*

ARMADO. Retrieved from

<https://repositorio.uho.edu.cu/xmlui/bitstream/handle/uho/5380/Mar%C3%ADa%20de%20los%20Angeles%20Gonz%C3%A1lez%20Sera.pdf?sequence=1>

Serrano Moreta, P. (2017). *Desarrollo de una aplicación basada en matlab para el cálculo de cimentaciones superficiales aisladas*. [Tesis de pregrado de ingeniería civil, Universidad Técnica de Ambato] Repositorio digital de la Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26396/1/Tesis%201158%20-%20Serrano%20Moreta%20Paola%20Carolina.pdf>

Sowers, G., & Sowers, G. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*.

Limusa-Wiley, S.A. Retrieved from <https://www.freelibros.me/ingenieria/introduccion-a-la-mecanica-de-suelos-y-cimentaciones-george-b-sowers-y-george-f-sowers>

Valencia, G. C. (2014, 9 18). *ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO Y SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE 7 PISOS DE HORMIGÓN ARMADO EN LA PARROQUIA LA MATRIZ, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA* . Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8313>

