

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Análisis del impacto del cambio de deriva y espectro de aceleraciones haciendo uso de la NEC15 y el borrador de la NEC23 para tipologías de edificaciones con distinta altura en la ciudad de Quito.

John Mario Bonilla Tapia

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 16 de Mayo de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis del impacto del cambio de deriva y espectro de aceleraciones
haciendo uso de la NEC15 y el borrador de la NEC23 para tipologías de
edificaciones con distinta altura en la ciudad de Quito.**

John Mario Bonilla Tapia

Nombre del profesor, Título académico

Adrián Tola Tola, PhD

Quito, 16 de Mayo de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: John Mario Bonilla Tapia

Código: 00214112

Cédula de identidad: 1727038109

Lugar y fecha: Quito, 16 de Mayo de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Partiendo de la necesidad de comprender los efectos y cambios suscitados en el borrador de NEC23, se realizó el diseño sísmo resistente para diversas tipologías de edificios con el objetivo de identificar el cambio en las variables económicas del mismo. Para ello se siguió el procedimiento establecido en la normativa NEC15 y NEC23 obteniéndose los desplazamientos generados por la aplicación de una fuerza sísmica la cual está programada para replicar las aceleraciones espectrales de un sismo en el sector de la carolina en Quito, Ecuador. Los desplazamientos por piso son procesados para obtener la deriva inelástica máxima de cada uno de los edificios. Con estos resultados, es posible identificar cual es la tipología de vigas, columnas y muros que satisface las condiciones de deriva máxima de cada norma así como también, otros requisitos adicionales como lo son el periodo de vibración máximo para la NEC15. Los resultados obtenidos nos indican que el diseño realizado con el borrador de la normativa NEC23 generan un ahorro en el costo de construcción de la estructura. Esta reducción es más evidente en edificios con muros estructurales donde los factores utilizados para calcular el periodo cambian. De igual manera, los resultados permitieron identificar que el aumento del peso sísmico por un factor agregado de la carga viva no tiene un efecto mayor y por lo tanto, podría ser omitido.

Palabras clave: NEC 15, Borrador NEC 23, Aceleración espectral, Deriva, Periodo limite.

ABSTRACT

Starting from the need to understand the effects and changes raised in the draft of NEC23, the earthquake resistant design was carried out for various building typologies with the objective of identifying the change in the economic variables of the building. To do this, the procedure established in the NEC15 and NEC23 regulations was followed, obtaining the displacements generated by the application of a seismic force which is programmed to replicate the spectral accelerations of an earthquake in the Carolina sector in Quito, Ecuador. The displacements per floor are processed to obtain the maximum inelastic drift of each of the buildings. With these results, it is possible to identify which type of beams, columns and walls satisfies the maximum drift conditions of each standard as well as other additional requirements such as the maximum vibration period for the NEC15. The results obtained indicate that the design carried out with the draft of the NEC23 regulations generates savings in the construction cost of the structure. This reduction is more evident in buildings with structural walls where the factors used to calculate the period change. Likewise, the results allowed us to identify that the increase in seismic weight due to an added live load factor does not have a major effect and, therefore, could be omitted.

Key words: NEC 15, Draft NEC 23, Spectral acceleration, Drift, Limit period.

TABLA DE CONTENIDO

LIMITACIONES DEL ESTUDIO	11
INTRODUCCIÓN.....	11
DESARROLLO DEL TEMA.....	13
1. Metodología.....	13
1.1 Diseño Sismo-resistente NEC 15	13
1.2 Diseño Sismo-resistente NEC 23	21
1.3 Diseño Sismo-resistente NEC 23 con Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico	28
1.4 Costos	29
2. Resultados	33
2.1 Edificio 4 Pisos.....	33
2.1.1 Diseño Sismo-resistente NEC 15	33
2.1.2 Diseño Sismo-resistente NEC 23	38
2.2 Edificio 8 Pisos.....	43
2.2.1 Diseño Sismo-resistente NEC 15	43
2.2.2 Diseño Sismo-resistente NEC 23	48
2.3 Edificio 12 Pisos.....	54
2.3.1 Diseño Sismo-resistente NEC 15	54
2.3.2 Diseño Sismo-resistente NEC 23	59
2.4 Edificio 4 y 8 Pisos con Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico	65
2.4.1 Edificio 4 Pisos	65
2.4.2 Edificio 8 Pisos	69
2.5 Costos.....	72
2.5.1 Edificio 4 Pisos	72
2.5.1.1 NEC15	72
2.5.1.2 NEC23	75
2.5.2 Edificio 8 Pisos	77
2.5.2.1 NEC15	77
2.5.2.2 NEC23	79
2.5.3 Edificio 12 Pisos	82
2.5.3.1 NEC15	82
2.5.3.2 NEC23	84
CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXO A: COMPROBACION PESOS.....	90
ANEXO B: ALTURA LOSA	90
ANEXO C: CRITERIO DE CARGA	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor k NEC15	18
Tabla 2. Periodo de vibración cortante basal y derivas	24
Tabla 3. Factor k NEC23	26
Tabla 4. Periodo de vibración aproximado Edf. 4 pisos NEC15.....	33
Tabla 5. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC15	34
Tabla 6. Coeficiente Cs Edf. 4 pisos NEC15.....	34
Tabla 7. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC15	36
Tabla 8. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC15.....	36
Tabla 9. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC15	36
Tabla 10. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC15.....	37
Tabla 11. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC15	37
Tabla 12. Periodo de vibración aproximado Edf. 4 pisos NEC23	38
Tabla 13. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23.....	38
Tabla 14. Periodo de vibración Edf. 4 pisos NEC23.....	38
Tabla 15. Aceleración Espectral Edf. 4 pisos NEC23	39
Tabla 16. Coeficiente Cs Edf. 4 pisos NEC23	39
Tabla 17. Coeficiente k Edf. 4 pisos NEC23	39
Tabla 18. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC23	40
Tabla 19. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC23	41
Tabla 20. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC23	42
Tabla 21. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC23.....	42
Tabla 22. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC23	42
Tabla 23. Periodo de vibración aproximado Edf. 8 pisos NEC15	43
Tabla 24. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC15	44
Tabla 25. Coeficiente Cs Edf. 8 pisos NEC15.....	44
Tabla 26. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC15	46
Tabla 27. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC15.....	46
Tabla 28. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC15.....	46
Tabla 29. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC15.....	47
Tabla 30. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC15	47
Tabla 31. Periodo de vibración aproximado Edf. 8 pisos NEC23	48
Tabla 32. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23.....	49
Tabla 33. Periodo de vibración Edf. 8 pisos NEC23.....	49
Tabla 34. Aceleración Espectral Edf. 8 pisos NEC23	49
Tabla 35. Coeficiente Cs Edf. 8 pisos NEC23	50
Tabla 36. Coeficiente k Edf. 8 pisos NEC23	50
Tabla 37. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC23	50
Tabla 38. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC23	52
Tabla 39. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC23	52
Tabla 40. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC23.....	53
Tabla 41. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC23	53
Tabla 42. Periodo de vibración aproximado Edf. 12 pisos NEC15	54
Tabla 43. Aceleración espectral Edf. 12 pisos NEC15.....	55
Tabla 44. Coeficiente Cs Edf. 12 pisos NEC15	55
Tabla 45. Deriva elástica e inelástica Edf. 12 pisos NEC15	57
Tabla 46. Deriva inelástica Edf. 12 pisos NEC15	57
Tabla 47. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC15	57
Tabla 48. Cortante basal Edf. 12 pisos NEC15.....	58
Tabla 49. Fuerzas Laterales Edf. 12 pisos NEC15.....	58
Tabla 50. Periodo de vibración aproximado Edf. 12 pisos NEC23	59
Tabla 51. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC23	60
Tabla 52. Periodo de vibración Edf. 12 pisos NEC23.....	60
Tabla 53. Aceleración Espectral Edf. 12 pisos NEC23	60
Tabla 54. Coeficiente Cs Edf. 12 pisos NEC23	61
Tabla 55. Coeficiente k Edf. 12 pisos NEC23	61
Tabla 56. Aceleración espectral Edf. 12 pisos NEC23	61
Tabla 57. Deriva elástica e inelástica Edf. 12 pisos NEC23	63
Tabla 58. Deriva inelástica Edf. 12 pisos NEC23	64
Tabla 59. Cortante basal Edf. 12 pisos NEC23	64
Tabla 60. Fuerzas Laterales Edf. 12 pisos NEC23.....	65

Tabla 61. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	66
Tabla 62. Periodo de vibración Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	66
Tabla 63. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	67
Tabla 64. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	68
Tabla 65. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	68
Tabla 66. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	68
Tabla 67. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	69
Tabla 68. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	69
Tabla 69. Periodo de vibración Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	69
Tabla 70. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	70
Tabla 71. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	71
Tabla 72. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	71
Tabla 73. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	72
Tabla 74. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica	72
Tabla 75. Hormigón columnas 4 Pisos NEC15	73
Tabla 76. Hormigón vigas 4 Pisos NEC15	73
Tabla 77. Hormigón losas 4 Pisos NEC15	73
Tabla 78. Costo Hormigón Total 4 Pisos NEC15	73
Tabla 79. Acero columnas 4 Pisos NEC15	74
Tabla 80. Acero vigas 4 Pisos NEC15	74
Tabla 81. Costo Acero Total 4 Pisos NEC15	74
Tabla 82. Costo Total Edificio 4 Pisos NEC15	75
Tabla 83. Hormigón columnas 4 Pisos NEC23	75
Tabla 84. Hormigón vigas 4 Pisos NEC23	75
Tabla 85. Hormigón losas 4 Pisos NEC23	75
Tabla 86. Costo Hormigón Total 4 Pisos NEC23	76
Tabla 87. Acero columnas 4 Pisos NEC23	76
Tabla 88. Acero vigas 4 Pisos NEC23	76
Tabla 89. Costo Acero Total 4 Pisos NEC23	77
Tabla 90. Costo Total Edificio 4 Pisos NEC23	77
Tabla 91. Hormigón columnas 8 Pisos NEC15	77
Tabla 92. Hormigón vigas 8 Pisos NEC15	77
Tabla 93. Hormigón losas 8 Pisos NEC15	78
Tabla 94. Costo Hormigón Total 8 Pisos NEC15	78
Tabla 95. Acero columnas 8 Pisos NEC15	78
Tabla 96. Acero vigas 8 Pisos NEC15	79
Tabla 97. Costo Acero Total 8 Pisos NEC15	79
Tabla 98. Costo Total Edificio 8 Pisos NEC15	79
Tabla 99. Hormigón columnas 8 Pisos NEC23	80
Tabla 100. Hormigón vigas 8 Pisos NEC23	80
Tabla 101. Hormigón losas 8 Pisos NEC23	80
Tabla 102. Costo Hormigón Total 8 Pisos NEC23	80
Tabla 103. Acero columnas 8 Pisos NEC23	81
Tabla 104. Acero vigas 8 Pisos NEC23	81
Tabla 105. Costo Acero Total 8 Pisos NEC23	82
Tabla 106. Costo Total Edificio 8 Pisos NEC23	82
Tabla 107. Hormigón columnas 12 Pisos NEC15	82
Tabla 108. Hormigón vigas 12 Pisos NEC15	82
Tabla 109. Hormigón losas 12 Pisos NEC15	83
Tabla 110. Hormigón muro 12 Pisos NEC15	83
Tabla 111. Costo Hormigón Total 12 Pisos NEC15	83
Tabla 112. Acero columnas 12 Pisos NEC15	83
Tabla 113. Acero vigas 12 Pisos NEC15	84
Tabla 114. Costo Acero Total 12 Pisos NEC15	84
Tabla 115. Costo Total Edificio 12 Pisos NEC15	84
Tabla 116. Hormigón columnas 12 Pisos NEC23	85
Tabla 117. Hormigón vigas 12 Pisos NEC23	85
Tabla 118. Hormigón losas 12 Pisos NEC23	85
Tabla 119. Hormigón muro 12 Pisos NEC23	85
Tabla 120. Costo Hormigón Total 12 Pisos NEC23	86
Tabla 121. Acero columnas 12 Pisos NEC23	86
Tabla 122. Acero vigas 12 Pisos NEC23	86
Tabla 123. Costo Acero Total 12 Pisos NEC23	87
Tabla 124. Costo Total Edificio 12 Pisos NEC23	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secciones de inercia agrietada NEC15.....	13
Figura 2. Modificadores de propiedades en losas NEC15	14
Figura 3. Modificadores de propiedades en muros NEC15	15
Figura 4. Masa sísmica NEC15	15
Figura 5. Formulas y grafico de espectro de diseño NEC15	17
Figura 6. Espectro de diseño NEC15.....	17
Figura 7. Factores Fa, Fd y Fs NEC15	18
Figura 8. Definición de coeficiente Cs y k en modelo ETABS.....	19
Figura 9. Secciones de inercia agrietada NEC23.....	21
Figura 10. Modificadores de propiedades en losas NEC23	22
Figura 11. Modificadores de propiedades en muros NEC23.....	23
Figura 12. Masa sísmica NEC23	23
Figura 13. Formulas y grafico de espectro de diseño NEC23	25
Figura 14. Espectro de diseño NEC23.....	25
Figura 15. Definición de coeficiente Cs y k en modelo ETABS	27
Figura 16. Fracción carga sísmica Edf. 4 pisos NEC23	29
Figura 17. Combinación de cargas	30
Figura 18. Asignación combinación de cargas	30
Figura 19. Resultados diseño refuerzo de acero	31
Figura 20. Rubros piso planta baja.....	31
Figura 21. Distribución departamentos por planta.....	32
Figura 22. Rubros piso planta alta.....	32
Figura 23. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC15	34
Figura 24. Desplazamiento por piso Edf. 4 pisos NEC15.....	35
Figura 25. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC15	35
Figura 26. % Derivas Edf. 4 pisos NEC15.....	37
Figura 27. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC23	40
Figura 28. Desplazamiento por piso Edf. 4 pisos NEC23	41
Figura 29. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23	41
Figura 30. % Derivas Edf. 4 pisos NEC23.....	43
Figura 31. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC15	44
Figura 32. Desplazamiento por piso Edf. 8 pisos NEC15	45
Figura 33. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC15.....	45
Figura 34. % Derivas Edf. 8 pisos NEC15.....	48
Figura 35. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC23	51
Figura 36. Desplazamiento por piso Edf. 8 pisos NEC23	51
Figura 37. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23	52
Figura 38. % Derivas Edf. 8 pisos NEC23.....	54
Figura 39. Espectro de diseño Edf. 12 pisos NEC15.....	55
Figura 40. Desplazamiento por piso Edf. 12 pisos NEC15	56
Figura 41. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC15	56
Figura 42. % Derivas Edf. 12 pisos NEC15	59
Figura 43. Espectro de diseño Edf. 12 pisos NEC23.....	62
Figura 44. Desplazamiento por piso Edf. 12 pisos NEC23	62
Figura 45. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC23	63
Figura 46. % Derivas Edf. 12 pisos NEC23	65
Figura 47. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica.....	67
Figura 48. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica.....	70
Figura 49. Peso estructura	90
Figura 50. Comprobación peso estructura	90
Figura 51. Calculo α_m	91
Figura 52. Calculo altura losa	91
Figura 53. Calculo losa equivalente.....	92
Figura 54. Calculo altura equivalente.....	92
Figura 55. Calculo pesos estructura	92
Figura 56. Criterio de carga	93

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Tomando en consideración el objetivo de esta tesis, el cálculo de costos de las edificaciones de 4, 8 y 12 pisos se limita a calcular el volumen de hormigón para vigas, columnas y muros así como también, el peso de acero de refuerzo requerido. Dado que el software utilizado no reporta la cantidad necesaria de acero de refuerzo para muros, este valor no fue considerado en el cálculo de costos de estructura y costo total del edificio de 12 pisos. Es importante recalcar que si bien este valor no se considera en el cálculo, los resultados no se ven afectados ya que tanto los costos para el edificio de 12 pisos en NEC 15 como en el borrador de la NEC23 están calculados bajo la misma metodología. Tomando en consideración que esta tesis es un estudio preliminar del impacto en las modificaciones del borrador de la NEC23, en futuros estudios se podrá tomar en cuenta este valor para obtener estimaciones de costo más exactas.

INTRODUCCIÓN

Para la construcción y diseño de los diferentes tipos de estructuras y edificaciones, es esencial seguir el procedimiento y recomendaciones establecidos en las normativas de construcción de manera que se garantice la seguridad y serviciabilidad de la estructura. Para el diseño estructural de las edificaciones, es necesario realizar un análisis sismo resistente basado en las características del terreno y ubicación de la edificación de manera que la misma sea capaz de resistir a las aceleraciones producidas por el sismo de diseño. En el Ecuador, la normativa NEC15 establece los espectros de aceleración basados en diversos parámetros como lo son el

tipo de suelo, importancia de la estructura o irregularidades en elevación y en planta. Estos parámetros a su vez se ven influenciados por diversos parámetros como lo son el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó, coeficiente de amplificación de suelo y coeficiente de amplificación de suelo para comportamiento no lineal. Haciendo uso de estos parámetros y de las condiciones establecidas para las condiciones de derivas máximas de piso, es posible establecer una tipología de elementos estructurales que satisfaga los requerimientos sísmicos de la estructura. Si bien la normativa actual muestra un procedimiento adecuado y satisfactorio para el diseño sismo resistente de edificaciones, los cambios tecnológicos e investigaciones en materiales, estructuras y suelos han permitido reducir o aumentar los valores de estos coeficientes con el afán de hacer más seguras las estructuras que utilizamos en nuestro día a día. Por esta razón, el borrador de la NEC23 presenta ciertos cambios en el procedimiento para la obtención de derivas de piso así como también, en el espectro de diseño y periodos de vibración. El objetivo de esta tesis es identificar el impacto del cambio de normativa en términos de costo y utilidad de los nuevos factores y procedimientos añadidos de manera que se pueda tomar decisiones con respecto a los cambios realizados al igual que, identificar los beneficios económicos de la nueva normativa.

DESARROLLO DEL TEMA

1. Metodología

1.1. Diseño Sismo-resistente NEC 15

Para realizar el diseño sismo-resistente siguiendo lo establecido en la normativa NEC15, primeramente se deberá modelar en el software ETABS la edificación deseada. Para ello, es necesario colocar la altura de piso, longitud de los vanos, empotramientos, losas y secciones de vigas y columnas a utilizarse.

Para nuestro caso en específico, la tipología de edificio a utilizarse tiene 4 vanos de 6m cada uno en cada dirección y una altura de entrepiso de 3.25m. Todas las columnas se encuentran empotradas.

Para realizar el análisis sísmico es necesario colocar inercias agrietadas para vigas, columnas y muros. En este caso, según lo indicado en la norma “ACI318-19” se toma valores de reducción de inercia del 70% para columnas, 35% para vigas y de ser el caso 50% para muros tal como se muestra en la figura a continuación.

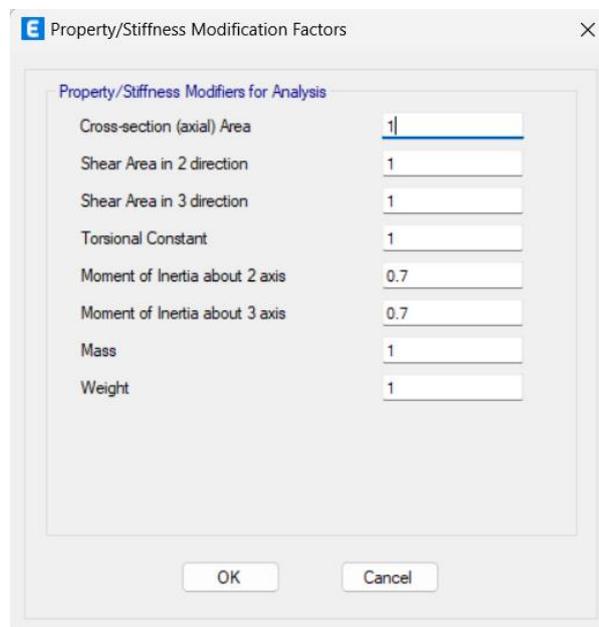


Figura 1. Secciones de inercia agrietada NEC15

Se deberá ajustar las propiedades de la losa colocando un modelo tipo “Shell Thin” y modificar los factores de momento flector con el objetivo de evitar la transferencia de momentos de la losa a las vigas. Tomando en consideración las características planteadas para las tipologías de edificios a diseñar, la altura de losa a utilizarse se calculó siguiendo el procedimiento establecido en la norma “ACI318-19”.

Una vez realizado los cálculos, se obtiene como resultado un espesor de losa mínimo de 13.44cm. Si bien el valor obtenido sugiere que se podría utilizar una losa alivianada de 20cm, tomando en consideración ejemplos prácticos de edificios con tipologías similares se decidió utilizar una losa alivianada de 25cm para los edificios a diseñarse. Este valor corresponde a una altura equivalente en losa maciza de 12.2cm. En la siguiente figura se muestra los valores de modificadores de propiedades y espesor de la losa.

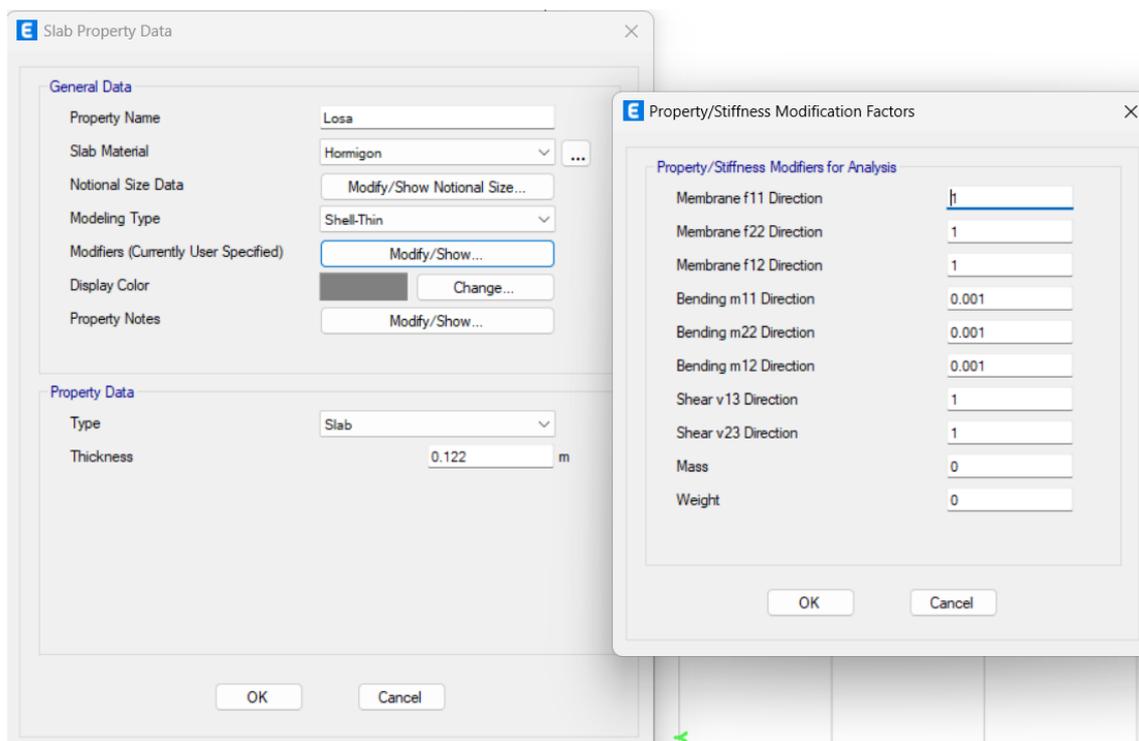


Figura 2. Modificadores de propiedades en losas NEC15

De igual manera, en caso de que la edificación contenga muros, se deberá modelar el elemento como tipo “Shell Thin” y modificar los factores de momento flector para inercias agrietadas.

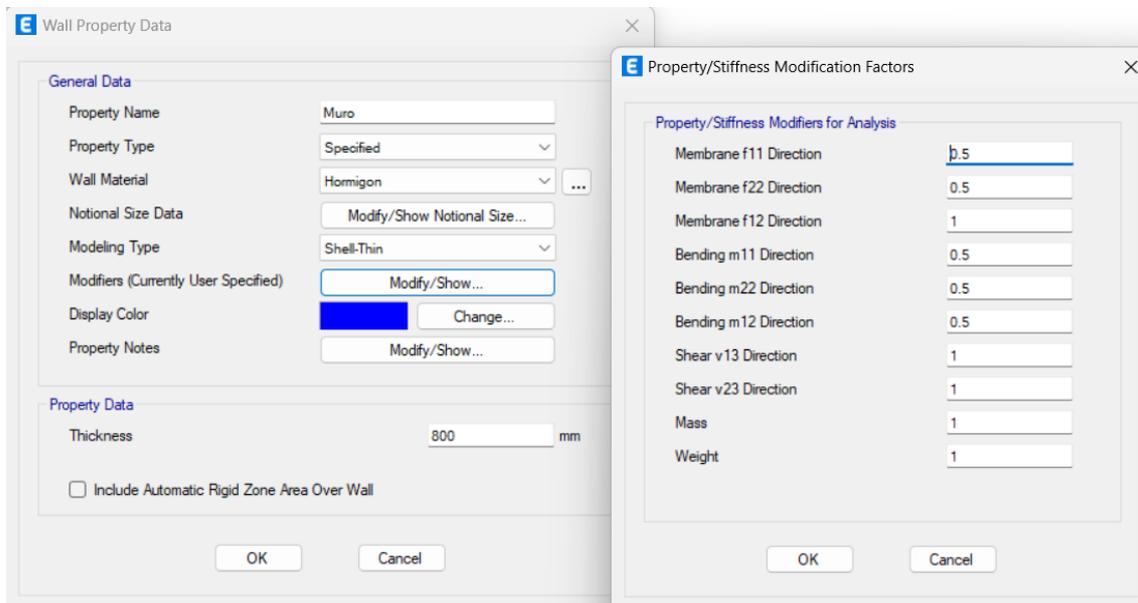


Figura 3. Modificadores de propiedades en muros NEC15

También, se deberá establecer la fuente de masa sísmica de manera que el software realice los cálculos utilizando solamente el peso propio de la estructura. En nuestro caso, se asigna un valor de uno a la carga muerta “D” de la estructura.

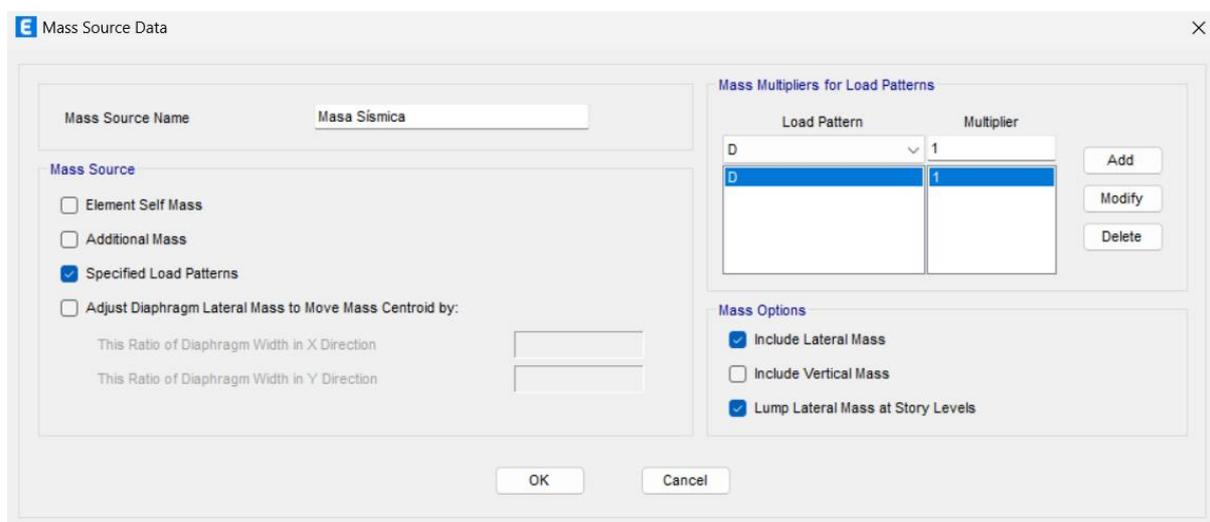


Figura 4. Masa sísmica NEC15

Una vez establecida todas las propiedades del modelo, se comienza con el análisis sísmico acorde a lo establecido en la NEC15. El periodo aproximado de la estructura haciendo uso de la siguiente formula.

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde C_t corresponde al factor asignado al tipo de edificio y h_n a la altura total de la edificación medida desde la base. Estos valores fueron obtenidos según lo indicado en la norma "ACI318-19".

Siguiendo con el proceso de diseño, una vez calculado el periodo aproximado de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC15 para obtener la aceleración espectral.

Los espectros de diseño de la norma NEC se encuentran detallados en la sección de peligro sísmico para diseño sismo resistente. Aquí se puede encontrar detalladas las fórmulas a utilizarse para obtener la aceleración espectral para diferentes periodos. Con el fin de facilitar el cálculo de derivas y cortante basal de las edificaciones a diseñarse, se replicó los espectros de diseño tomando en consideración las características de suelo e irregularidades de nuestros edificios.

En el caso de la NEC 15, se estableció factores de irregularidad en planta y elevación de 1 así como también, se estableció un suelo tipo D considerando que las edificaciones a diseñarse se encuentran ubicadas en el sector de la carolina en la ciudad de Quito, donde se tiene un suelo con buena calidad. Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la aceleración espectral en los diferentes valores del periodo de vibración son las siguientes.

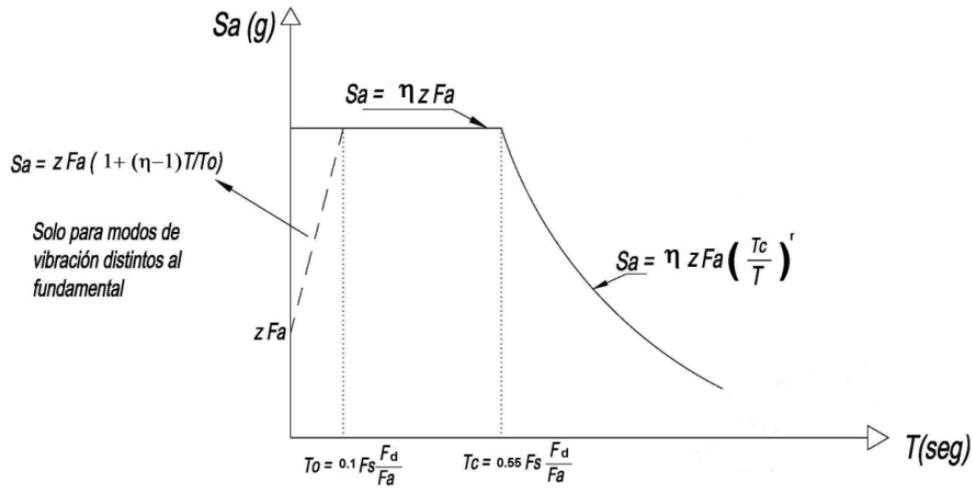


Figura 5. Formulas y grafico de espectro de diseño NEC15

Reemplazando los datos para la estructura con las características mencionadas previamente, se obtuvo el siguiente espectro de diseño.

ØE	1
ØP	1
Z	0.4
Tipo de suelo	D
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
η	2.48
r	1
Tc	0.698
T0	0.127

T (Seg)	Sa (g)
0.00	0.48
0.01	0.53596639
0.02	0.59193277
0.03	0.64789916
0.04	0.70386555
0.05	0.75983193
0.06	0.81579832
0.07	0.87176471
0.08	0.92773109
0.09	0.98369748
0.10	1.03966387
0.11	1.09563025
0.12	1.15159664
0.13	1.1904
0.14	1.1904

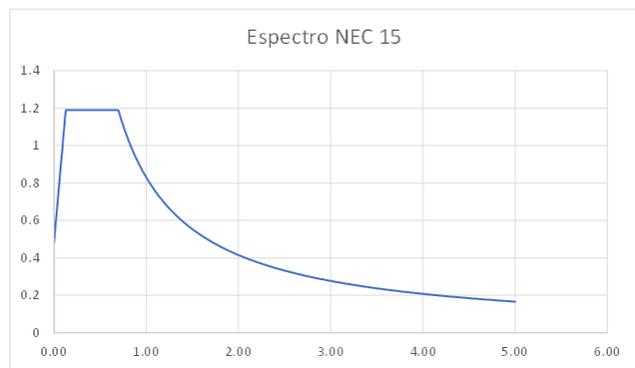


Figura 6. Espectro de diseño NEC15

Los valores de los factores Fa, Fd y Fs provienen de las tablas proporcionadas en la normativa y sus valores se presentan a continuación para los distintos tipos de suelo y zona sísmica.

Z	0.4
Tipo de suelo	D

Factor de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Factor de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.38	1.39	1.35	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Factor de sitio Fs

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Factor de sitio Fb

Tipo de perfil del subsuelo	Fb
A	0.9
B	1
C	1.2
D	1.2
E	1
Fb	1.2

Factor de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Fd
A	0.9
B	1
C	1.11
D	1.19
E	1.6
Fd	1.19

Factor de sitio Fs

Tipo de perfil del subsuelo	Fs
A	0.75
B	0.75
C	1.11
D	1.28
E	1.9
Fs	1.28

Zona sísmica y factor Z

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

Véase Tabla 2. Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 20.6.4

Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio Fa

Zona sísmica y factor Z

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.38	1.39	1.35	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Véase Tabla 2. Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4

Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd

Zona sísmica y factor Z

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Véase Tabla 2. Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4

Tabla 5. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs

Figura 7. Factores Fa, Fd y Fs NEC15

Una vez calculada la aceleración espectral en base al periodo aproximado, el coeficiente Cs se calcula haciendo uso de la siguiente formula.

$$C_s = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E}$$

Donde I corresponde al coeficiente de importancia, Sa a la aceleración espectral para el periodo aproximado de la estructura, R al factor de reducción de resistencia sísmica y ϕ_P y ϕ_E los coeficientes de irregularidad en planta y elevación.

El coeficiente relacionado con el período de la estructura (k) se calcula siguiendo lo establecido en la normativa.

Tabla 1. Factor k NEC15

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Para realizar la comprobación del diseño de la estructura se debe verificar que las secciones de viga y columnas seleccionadas satisfacen la deriva limite. Para ello, en el software ETABS se crea un nuevo patrón de carga sísmica y se establece los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura calculados previamente. En la

siguiente figura se muestra el patrón de carga sísmica denominado como “E” y sus respectivos valores de Cs y k.

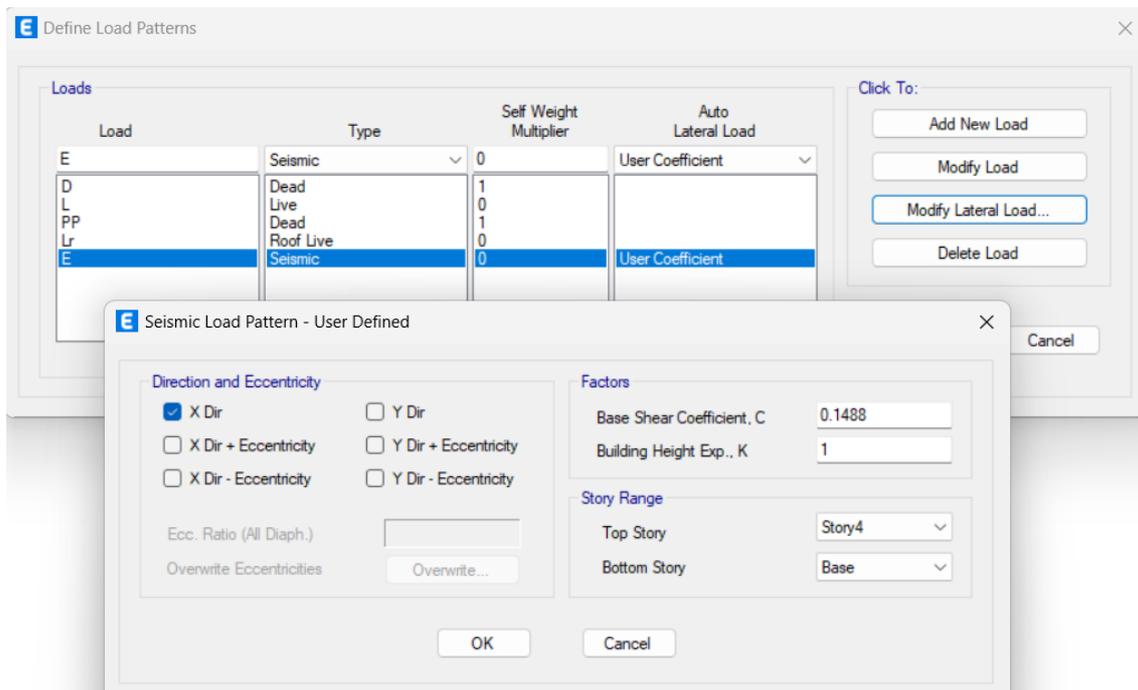


Figura 8. Definición de coeficiente Cs y k en modelo ETABS

Una vez establecidos todos los parámetros mencionados previamente, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración.

Según lo establecido en la normativa, la deriva limite corresponde al 2% de la altura de piso por lo tanto para nuestro caso se tiene una deriva máxima de 6.5cm.

La deriva elástica por piso se obtiene con la siguiente formula

$$\Delta_E = \Delta_{i-1} - \Delta_i$$

Donde Δ_i representa el desplazamiento por piso obtenido en software.

El resultado de la deriva elástica se multiplica de la siguiente manera para obtener la deriva inelástica por piso

$$\Delta_M = R \times 0.75 \times \Delta_E$$

Donde R corresponde al factor de reducción de resistencia sísmica para pórticos especiales resistentes a momento. Para las tres tipologías de edificios a realizarse, el valor de R es de 8 que corresponde tanto a sistemas duales con pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado como a pórticos resistentes a momentos.

Una vez comprobado que la tipología de vigas y columnas seleccionada satisface la deriva de piso, se debe comprobar que el periodo de la estructura obtenido en software no sea mayor al 30% más del periodo aproximado de la estructura.

Determinada la tipología de columnas y vigas que satisfaga las condiciones de deriva y periodo limite, el cortante basal de diseño para la estructura se calcula haciendo uso de la siguiente formula.

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_E} W$$

Donde I corresponde al coeficiente de importancia, Sa a la aceleración espectral para el periodo aproximado de la estructura, R al factor de reducción de resistencia sísmica, ϕ_p , ϕ_E a los factores de irregularidad en planta y altura de la estructura y W la masa sísmica de la edificación.

La distribución de fuerzas laterales en el edificio se calcula utilizando la siguiente formula.

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

Donde w corresponde al peso por piso, h a la altura del piso, k al coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura y V al cortante basal.

1.2. Diseño Sismo-resistente NEC 23

Para realizar el diseño sismo-resistente siguiendo lo establecido en el borrador de la normativa NEC23, primeramente se deberá modelar en el software ETABS la edificación deseada. Para ello, es necesario colocar la altura de piso, longitud de los vanos, empotramientos, losas y secciones de vigas y columnas a utilizarse.

Al igual que en el caso anterior, la tipología de edificio a utilizarse tiene 4 vanos de 6m cada uno en cada dirección y una altura de entrepiso de 3.25m. Todas las columnas se encuentran empotradas.

Para realizar el análisis sísmico es necesario colocar inercias agrietadas para vigas, columnas y muros. En este caso, según lo indicado en la norma "ACI318-19" se toma valores de reducción de inercia del 70% para columnas, 35% para vigas y de ser el caso 50% para muros tal como se muestra en la figura a continuación.

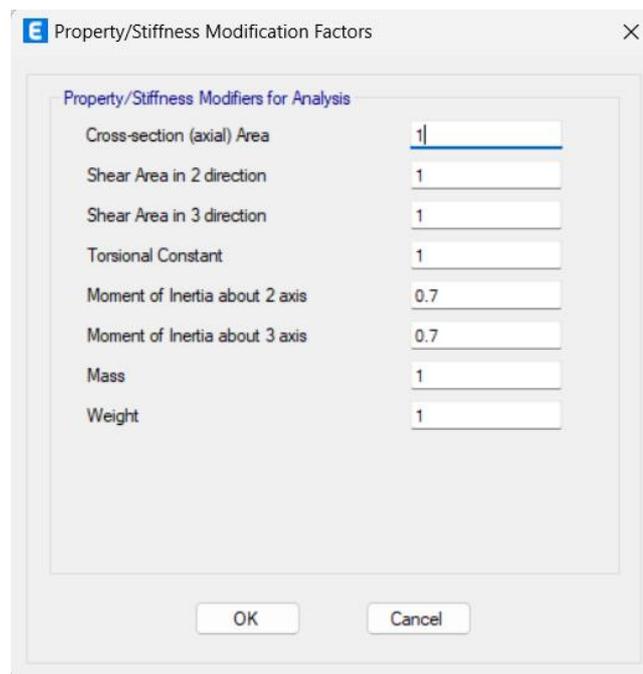


Figura 9. Secciones de inercia agrietada NEC23

Se deberá ajustar las propiedades de la losa colocando un modelo tipo "Shell Thin" y modificar los factores de momento flector con el objetivo de evitar la transferencia de momentos de la

losa a las vigas. Tomando en consideración las características planteadas para las tipologías de edificios a diseñar, la altura de losa a utilizarse se calculó siguiendo el procedimiento establecido en la norma “ACI318-19”.

Una vez realizado los cálculos, se obtiene como resultado un espesor de losa mínimo de 13.44cm. Si bien el valor obtenido sugiere que se podría utilizar una losa alivianada de 20cm, tomando en consideración ejemplos prácticos de edificios con tipologías similares se decidió utilizar una losa alivianada de 25cm para los edificios a diseñarse. Este valor corresponde a una altura equivalente en losa maciza de 12.2cm. En la siguiente figura se muestra los valores de modificadores de propiedades y espesor de la losa.

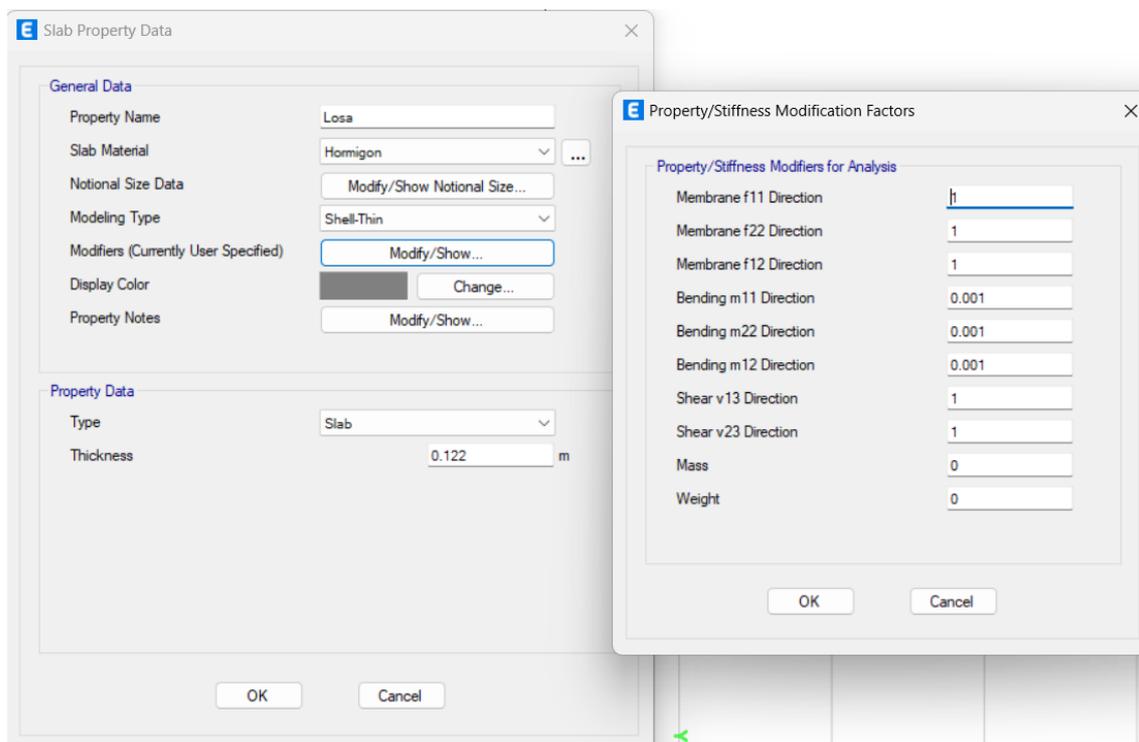


Figura 10. Modificadores de propiedades en losas NEC23

De igual manera, en caso de que la edificación contenga muros, se deberá modelar el elemento como tipo “Shell Thin” y modificar los factores de momento flector para inercias agrietadas.

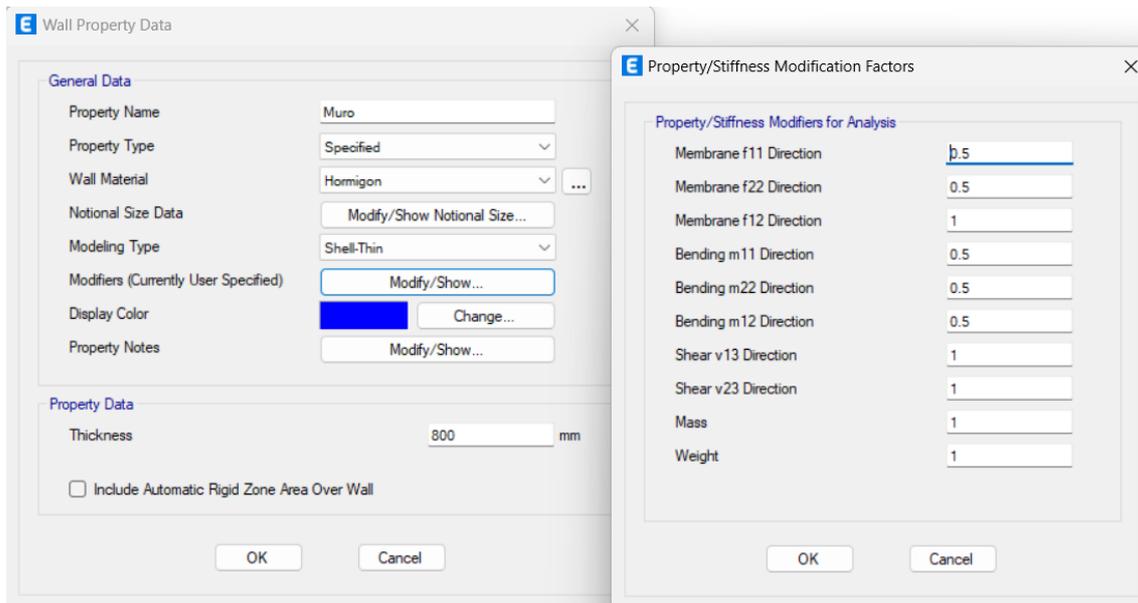


Figura 11. Modificadores de propiedades en muros NEC23

Se deberá establecer la fuente de masa sísmica de manera que el software realice los cálculos utilizando solamente el peso propio de la estructura. En nuestro caso, se asigna un valor de uno a la carga muerta “D” de la estructura.

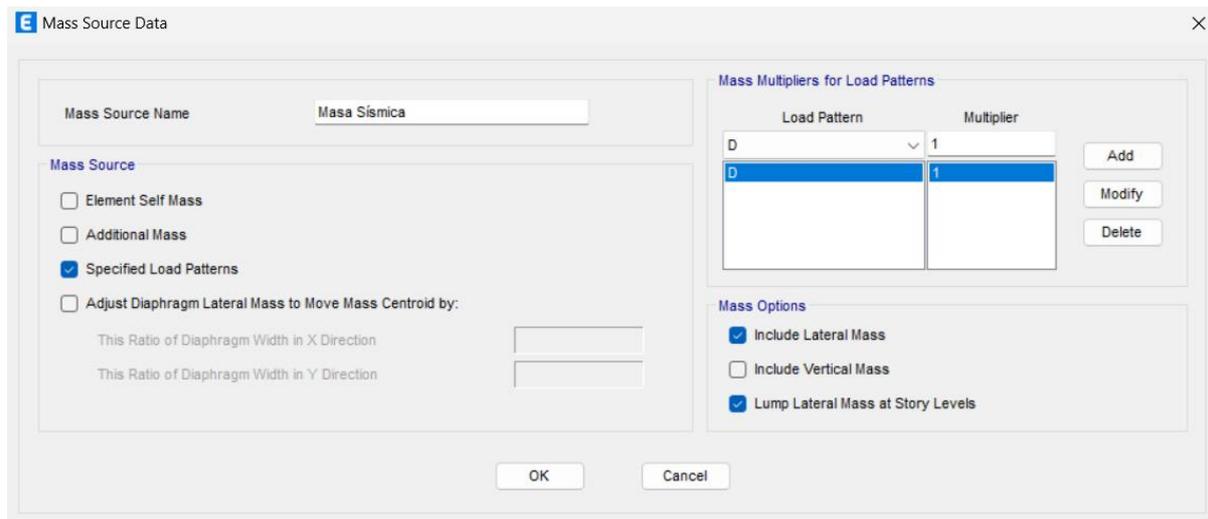


Figura 12. Masa sísmica NEC23

Para el caso del borrador de la norma NEC23, el procedimiento a realizarse es similar. Una vez realizado el modelo de la estructura con sus respectivos factores, se calcula el periodo aproximado de la estructura haciendo uso de la misma fórmula de NEC15.

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde C_t corresponde al factor asignado al tipo de edificio y h_n a la altura total de la edificación medida desde la base. Los valores de los factores fueron obtenidos según lo indicado en la norma NEC23.

Para el caso de la NEC23, la aceleración espectral que se deberá utilizar para el cálculo de las derivas y cortante basal depende de la condición resultante al comprar el periodo aproximado de la estructura más un 40% del valor con el periodo obtenido en software así como también, con el periodo aproximado calculado previamente. A continuación, se muestran los valores de periodos a utilizarse dependiendo del caso.

Tabla 2. Periodo de vibración cortante basal y derivas

Condición	Periodo para el cálculo del cortante basal, V , y otros cálculos de resistencia	Periodo T para cálculos de desplazamientos o derivas
$T_{comp} \leq T_a$	T_a	T_a
$T_a < T_{comp} < C_u T_a$	T_{comp}	T_{comp}
$T_{comp} \geq C_u T_a$	$C_u T_a$	T_{comp}

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas y columnas. Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse.

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 para obtener la aceleración espectral. De manera similar que en la NEC 15, para el borrador de la NEC 23, se estableció factores de irregularidad en planta y elevación de 1 así como también, un suelo tipo D. Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la aceleración espectral en los diferentes valores del periodo de vibración son las siguientes.

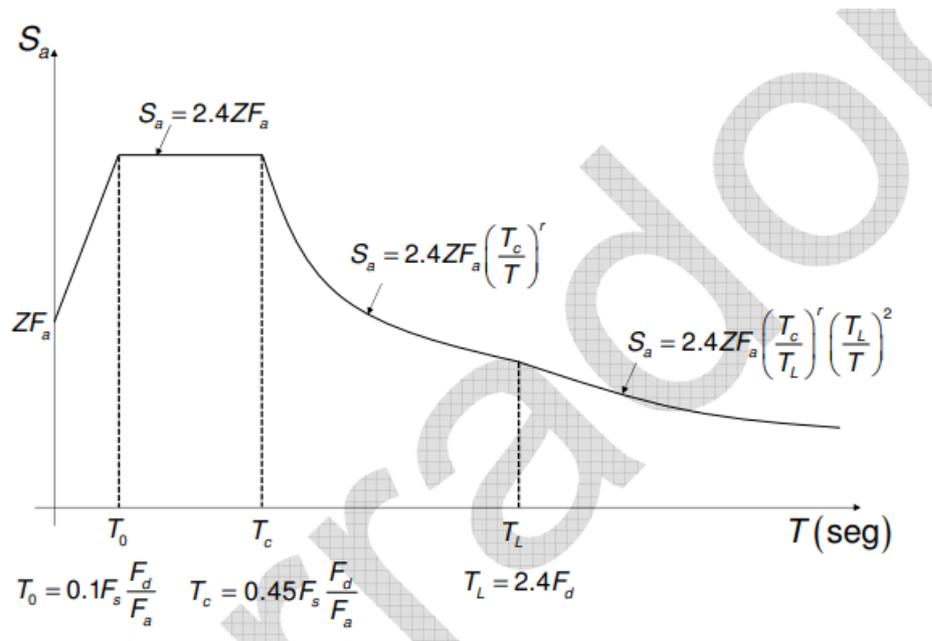


Figura 13. Formulas y grafico de espectro de diseño NEC23

Aquí se puede evidenciar que se añade una zona más al final del espectro que corresponde a periodos de vibración altos. Reemplazando los datos para la estructura con las características mencionadas previamente, se obtuvo el siguiente espectro de diseño.

ØE	1
ØP	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
T0	0.133
TL	2.76

T (Seg)	Sa (g)
0.00	0.5358
0.01	0.59213312
0.02	0.64846625
0.03	0.70479937
0.04	0.76113249
0.05	0.81746561
0.06	0.87379874
0.07	0.93013186
0.08	0.98646498
0.09	1.0427981
0.10	1.09913123
0.11	1.15546435
0.12	1.21179747
0.13	1.26813059
0.14	1.28592

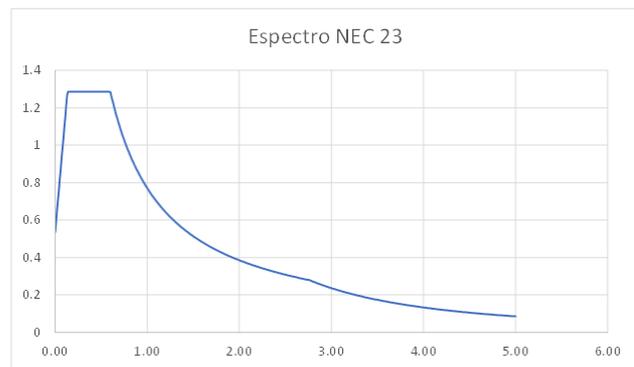


Figura 14. Espectro de diseño NEC23

Al igual que en el caso anterior, los valores de los factores Fa, Fd y Fs provienen de las tablas proporcionadas en la normativa. Es importante mencionar que, para la determinación de estos factores, el procedimiento cambia respecto a la NEC15. De igual manera, es importante recalcar que para el borrador de la norma NEC 23 se elimina el factor η que ahora tiene un

valor único de 2.4 y va integrado dentro de la fórmula de aceleración espectral. Una vez establecido el periodo de vibración a utilizarse, se utiliza el espectro de diseño NEC23 para obtener la aceleración espectral.

Para realizar la comprobación del diseño de la estructura se debe verificar que las secciones de viga y columnas seleccionadas satisfacen la deriva limite. Para ello se crea un patrón de carga sísmica y se establece los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura.

A diferencia de la normativa NEC15, para el borrador de NEC23 cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor de coeficiente C_s y k . El coeficiente C_s se calcula haciendo uso de la siguiente formula.

$$C_s = \frac{I_e S_{aT}}{R}$$

Donde le corresponde al coeficiente de importancia, S_a a la aceleración espectral para el periodo de vibración de la estructura y R al factor de reducción de resistencia sísmica.

El coeficiente relacionado con el período de la estructura (k) se calcula siguiendo lo establecido en la normativa.

Tabla 3. Factor k NEC23

T (seg)	k
$T \leq 0.5$	1.0
$0.5 < T < 2.5$	$0.75 + 0.50T$
$T \geq 2.5$	2.0

Para realizar la comprobación del diseño de la estructura se debe verificar que las secciones de viga y columnas seleccionadas satisfacen la deriva limite. Para ello, en el software ETABS se crea un nuevo patrón de carga sísmica y se establece los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura calculados previamente. En la

siguiente figura se muestra el patrón de carga sísmica denominado como “E” y sus respectivos valores de Cs y k.

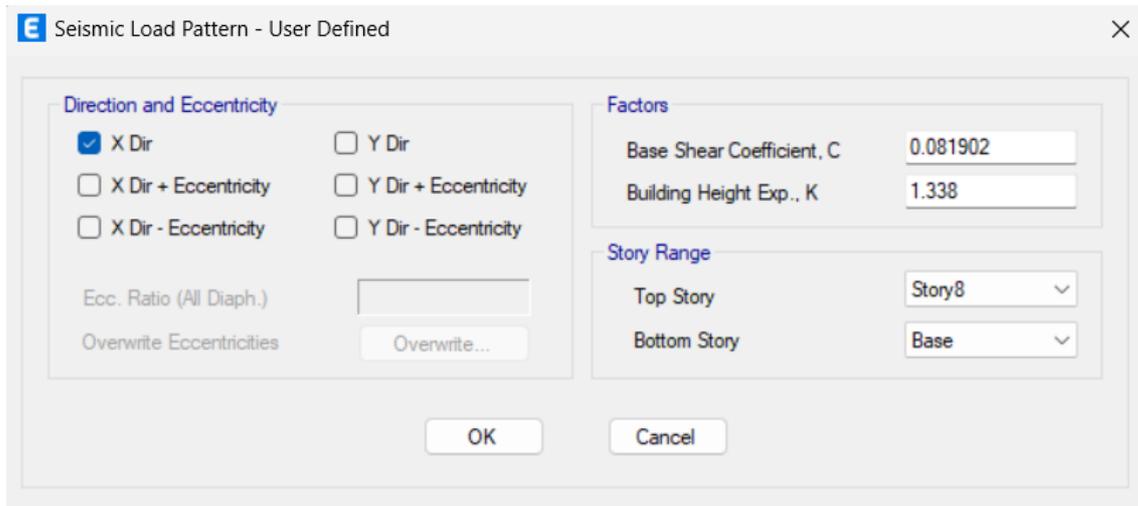


Figura 15. Definición de coeficiente Cs y k en modelo ETABS

Una vez establecidos todos los parámetros mencionados previamente, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración.

Acorde a lo establecido en la normativa, la deriva limite corresponde al 1.5% de la altura de piso por lo tanto para nuestro caso se tiene una deriva máxima de 4.875 cm.

La deriva elástica por piso se obtiene con la siguiente formula

$$\Delta_E = \Delta_{i-1} - \Delta_i$$

Donde Δ_i representa el desplazamiento por piso obtenido en software.

El resultado de la deriva elástica se multiplica de la siguiente manera para obtener la deriva inelástica por piso

$$\Delta_M = \frac{C_d \Delta_E}{I_E}$$

Donde Cd corresponde al factor de amplificación de deflexiones. Al igual que en la NEC 15, para las tres tipologías de edificios a realizarse, el valor de R es de 8 que corresponde tanto a sistemas duales con pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas

descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado como a pórticos resistentes a momentos.

Una vez comprobado que la tipología de vigas y columnas seleccionada satisface la deriva máxima de piso, el cortante basal de diseño para la estructura se calcula haciendo uso de la siguiente formula

$$V = \frac{I_e S_{aT}}{R} W$$

Donde le corresponde al coeficiente de importancia, S_a a la aceleración espectral para el periodo de vibración de la estructura, R al factor de reducción de resistencia sísmica y W la masa sísmica de la edificación. En este caso, el valor de la aceleración espectral corresponde al periodo de vibración obtenido mediante la comprobación de las condiciones de cortante basal mostrado en la tabla 2.

La distribución de fuerzas laterales en el edificio se calcula utilizando la siguiente formula.

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

Donde w corresponde al peso por piso, h a la altura del piso, k al coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura y V al cortante basal.

1.3. Diseño Sismo-resistente NEC 23 con Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico

Para realizar el diseño sismo-resistente siguiendo lo establecido en el borrador de la normativa NEC23 con una fracción de la carga viva considerada en el cálculo del peso sísmico, se debe seguir el mismo procedimiento explicado en la sección 1.3 más un paso adicional. Al momento de establecer la masa sísmica en el software, se agrega una fracción de la carga

viva para el cálculo del peso sísmico que, para nuestro caso corresponde al 25%. La figura a continuación muestra los patrones de carga con su respectivo multiplicador.

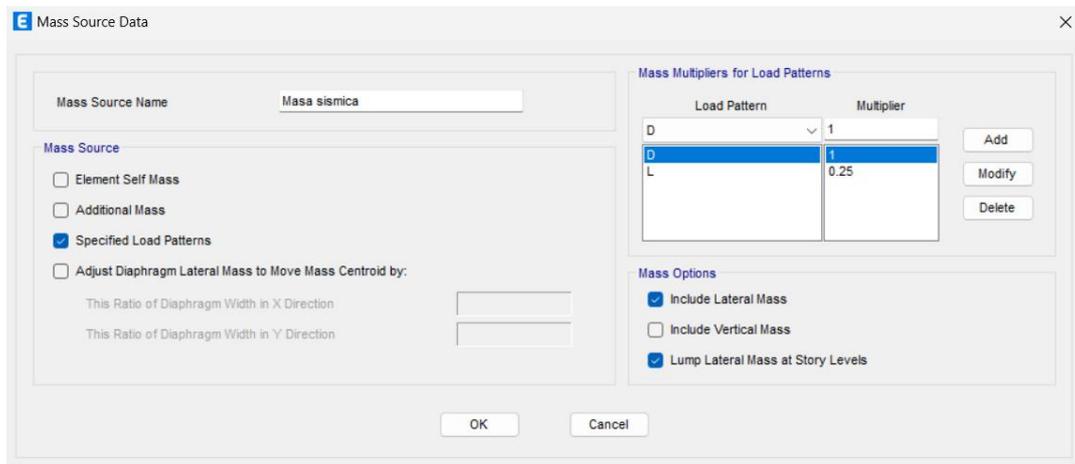


Figura 16. Fracción carga sísmica Edf. 4 pisos NEC23

Una vez realizado este cambio, el procedimiento para obtener el desplazamiento máximo y derivas es el mismo indicado en la sección 1.2.

1.4. Costos

Para realizar el análisis de costos y poder determinar la variación en el costo de construcción de un edificio con la norma NEC15 y el borrador de la norma NEC23 se planteó los parámetros de costo de hormigón y acero. Para obtener el costo del hormigón a utilizarse, primeramente es necesario seleccionar la tipología de vigas, columnas y muros que satisface la deriva inelástica máxima establecida por la norma. Una vez determinada la tipología, utilizando las dimensiones seleccionadas se calcula el volumen de hormigón de los elementos estructurales. El volumen total se multiplica por el costo de hormigón por m³ el cual fue obtenido de la revista “Camicon” obteniéndose el costo total. En este caso, el costo de hormigón por m³ es de \$109.15 que corresponde a hormigón premezclado con una

resistencia de 240 kg/cm². De manera similar, para obtener el costo acero a utilizarse, una vez determinada la tipología se utiliza el software para obtener la cantidad de acero necesaria. Para ello se debe establecer la metodología de cálculo que contiene las cuantías mínimas de acero a utilizarse así como también, la combinación de carga. En nuestro caso, la combinación de carga que genera los mayores momentos corresponde a la combinación 5 de la normativa NEC para cargas no sísmicas donde se omite el valor de “S” que corresponde a las cargas de granizo.

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Figura 17. Combinación de cargas

Es importante aclarar que según lo indicado en la aclaración del capítulo, para esta carga se permite una reducción de la sobrecarga viva del 50% dado que el valor de la carga viva calculada para el edificio no supera los 4.8 kN/m². Una vez establecida la combinación de carga, se selecciona la misma para el diseño en software

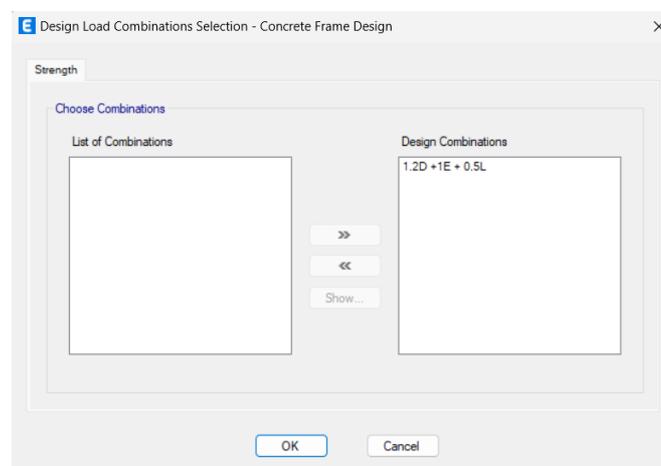


Figura 18. Asignación combinación de cargas

Y se corre el diseño obteniéndose los respectivos resultados para la cantidad de acero en vigas y columnas.

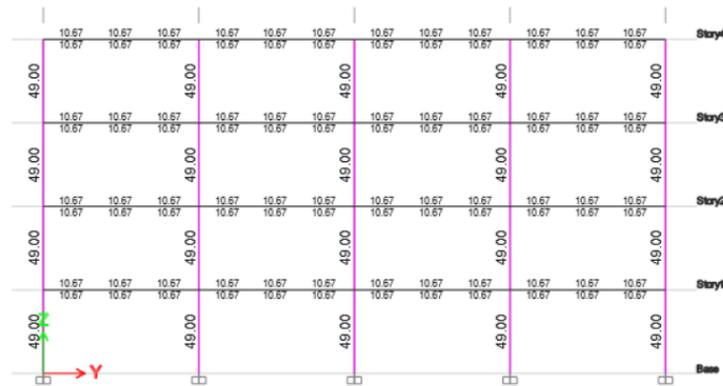


Figura 19. Resultados diseño refuerzo de acero

Utilizando los valores obtenidos en software, se calcula el peso total de acero. El peso total se multiplica por el costo de acero por kg el cual fue obtenido de la revista “Camicon” obteniéndose el costo total. En este caso, el costo de acero por kg es de \$1.96 que corresponde a acero de refuerzo con fy de 4200 kg/cm².

Con el objetivo de establecer valores estándar para los acabados y obtener el costo total de las edificaciones, se planteó los siguientes rubros para planta baja. El cálculo de las cantidades esta realizado en base al área total de la superficie (576m²) y en base a las recomendaciones establecidas para el número de puntos de iluminación por m², tomacorrientes, entre otros.

Codigo	Categoría	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Instalaciones Eléctricas					
13.0113	Punto De Iluminación	pto	58.00	10.40	603.20
13.0115	Punto De Tomacorriente	pto	29.00	19.32	560.28
13.0116	Punto De Interruptor	pto	29.00	3.90	113.10
13.0121	Tablero De Breakers	U	2.00	87.92	175.84
14.05	Punto De Telefónica	pto	5.00	4.63	23.15
Acabados De Piso Y Paredes					
8.0119	Porcelanato De Piso	m2	480.00	30.91	14836.80
8.0216	Pintura Interior	m2	500.00	4.32	2160.00
8.0212	Pintura Exterior	m2	280.00	1.29	361.20
10.01	Cielo Raso (Gypsum)	m2	500.00	11.06	5530.00
8.0201	Pared De Cerámica	m2	100.00	12.45	1245.00
Perfilera Y Vidrio					
9.0118	Ventanales (Serie 200 Con Vid	m2	32.00	24.87	795.84
Carpintería y Mobiliario					
9.0219	Puerta Principal (Con Chapa)	U	1.00	1139.59	1139.59
9.0217	Puerta Con Marco y Tapamarc	U	5.00	136.38	681.90
Total					28225.90

Figura 20. Rubros piso planta baja

Para los pisos residenciales se siguió el mismo procedimiento tomando en consideración la siguiente distribución de espacios.

Se Asume 4 Departamentos Por Planta

Habitaciones	M2	Baños
3	180	3
3	170	3
2	120	2
1	60	1

Figura 21. Distribución departamentos por planta

A continuación, se presenta los rubros seleccionados para los pisos residenciales y sus respectivos valores acorde a las recomendaciones arquitectónicas y la distribución de espacios por piso.

Codigo	Categoría	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Instalaciones Hidrosanitarias					
12.0302	Inodoro	U	9.00	77.68	699.12
12.0401	Juego De Ducha (Mezclador, Brazo Y Cabeza)	U	6.00	78.13	468.78
12.0301	Juego Completo De Accesorios	U	9.00	16.92	152.28
12.0114	Puntos De Agua Fria	U	32.00	9.64	308.48
12.0107	Puntos De Agua Caliente	U	23.00	8.16	187.68
12.0213	Desague 50 mm	U	17.00	17.29	293.93
12.0101	Calefón A Gas (16 Litros Instalado)	U	4.00	586.24	2344.96
Instalaciones Eléctricas					
13.0113	Punto De Iluminación	U	57.60	10.40	599.04
13.0115	Punto De Tomacorriente	U	28.80	19.32	556.42
13.0116	Punto De Interruptor	U	28.80	3.90	112.32
13.0121	Tablero De Breakers	U	5.00	87.92	439.60
14.05	Punto De Telefónica	U	10.00	4.63	46.30
14.06	Punto De TV	U	15.00	6.73	100.95
Acabados De Piso Y Paredes					
8.0119	Porcelanato De Piso	M2	480.00	30.91	14836.80
8.0216	Pintura Interior	M2	500.00	4.32	2160.00
8.0212	Pintura Exterior	M2	280.00	1.29	361.20
10.01	Cielo Raso (Gypsum)	M2	500.00	11.06	5530.00
8.0201	Pared De Cerámica	M2	100.00	12.45	1245.00
Perfilería Y Vidrio					
9.0118	Ventanales (Serie 200 Con Vidrio Laminado de 6mm)	m2	64.00	24.87	1591.68
Carpintería y Mobiliario					
9.0219	Puerta Principal (Con Chapa)	U	4.00	1139.59	4558.36
9.0217	Puerta Con Marco y Tapamarco (Con Chapa)	U	20.00	136.38	2727.60
23.0109	Muebles Altos De Cocina	ML	16.00	138.00	2208.00
23.011	Muebles Bajos De Cocina	ML	24.00	175.00	4200.00
9.0223	Mesón De Baño	ML	27.00	10.44	281.88
23.0202	Closets	m2	90.00	120.00	10800.00
Total					56810.38

Figura 22. Rubros piso planta alta

El costo total por piso se mantendrá como una variable fija de modo que no existan variaciones entre las diferentes tipologías de edificios.

2. Resultados

2.1. Edificio 4 Pisos

2.1.1. Diseño Sismo-resistente NEC 15

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 4 pisos.

Tabla 4. Periodo de vibración aproximado Edf. 4 pisos NEC15

hn (m)	13
Ct	0.0466
α	0.9
Ta (s)	0.469

Siguiendo con el proceso de diseño, una vez calculado el periodo aproximado de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC15 para obtener la aceleración espectral. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos previamente

Tabla 5. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC15

ϕ_E	1
ϕ_P	1
Z	0.4
Tipo de suelo	D
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
η	2.48
r	1
Tc	0.698
T0	0.127

Sa	1.1904
----	--------

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra en la zona de la meseta.

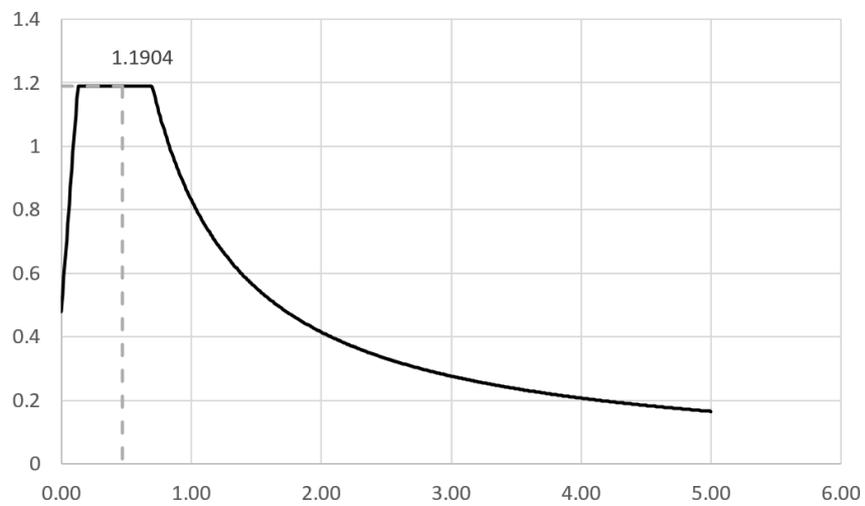


Figura 23. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC15

Una vez obtenida la aceleración espectral, siguiendo el procedimiento detallado previamente, el coeficiente Cs es el siguiente

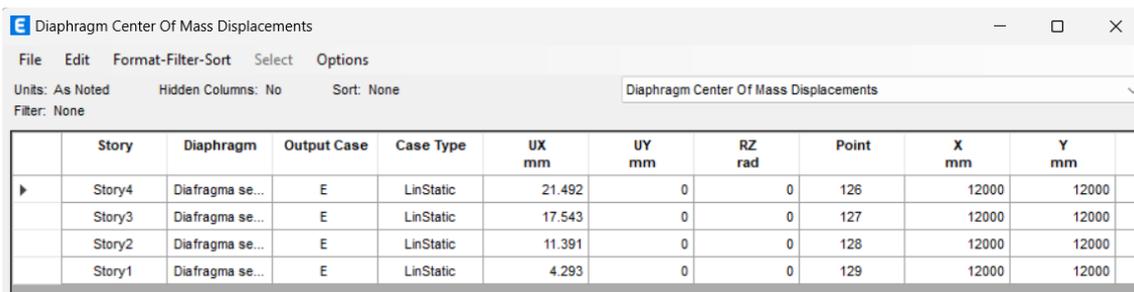
Tabla 6. Coeficiente Cs Edf. 4 pisos NEC15

R	8
I	1

Coeficiente	0.1488
-------------	--------

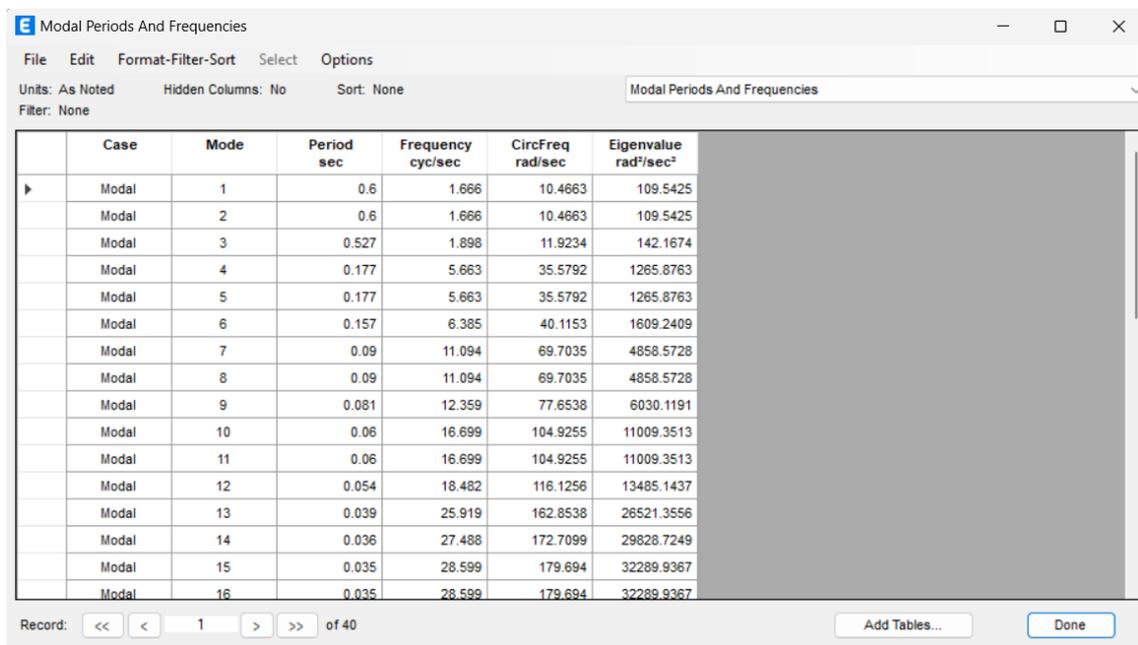
El coeficiente relacionado con el período de la estructura (k) tiene un valor de 1 de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

Una vez creado el patrón de carga sísmica y establecido los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra en las siguientes figuras.



	Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
▶	Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	21.492	0	0	126	12000	12000
	Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	17.543	0	0	127	12000	12000
	Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	11.391	0	0	128	12000	12000
	Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	4.293	0	0	129	12000	12000

Figura 24. Desplazamiento por piso Edf. 4 pisos NEC15



	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	0.6	1.666	10.4663	109.5425
	Modal	2	0.6	1.666	10.4663	109.5425
	Modal	3	0.527	1.898	11.9234	142.1674
	Modal	4	0.177	5.663	35.5792	1265.8763
	Modal	5	0.177	5.663	35.5792	1265.8763
	Modal	6	0.157	6.385	40.1153	1609.2409
	Modal	7	0.09	11.094	69.7035	4858.5728
	Modal	8	0.09	11.094	69.7035	4858.5728
	Modal	9	0.081	12.359	77.6538	6030.1191
	Modal	10	0.06	16.699	104.9255	11009.3513
	Modal	11	0.06	16.699	104.9255	11009.3513
	Modal	12	0.054	18.482	116.1256	13485.1437
	Modal	13	0.039	25.919	162.8538	26521.3556
	Modal	14	0.036	27.488	172.7099	29828.7249
	Modal	15	0.035	28.599	179.694	32289.9367
	Modal	16	0.035	28.599	179.694	32289.9367

Figura 25. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC15

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 70x70cm y vigas de 50x70cm donde se presentan resultados para la deriva elástica e inelástica.

Tabla 7. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC15

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
		V 50x70		
4	C 70x70	21.492	0.3949	2.3694
3		17.543	0.6152	3.6912
2		11.391	0.7098	4.2588
1		4.293	0.4293	2.5758

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan aquellas derivas que satisfacen la deriva limite.

Tabla 8. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC15

Derivas (%)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	0.0809	0.0559	0.0426	0.0396	0.0352	0.0337	0.0334	0.0304
C 50x50	0.0594	0.0413	0.0306	0.0276	0.0240	0.0221	0.0211	0.0187
C 60x60	0.0476	0.0322	0.0242	0.0217	0.0189	0.0170	0.0160	0.0140
C 70x70	0.0393	0.0257	0.0197	0.0178	0.0156	0.0140	0.0131	0.0114
C 80x80	0.0318	0.0233	0.0172	0.0150	0.0131	0.0119	0.0111	0.0097

Siguiendo la condición establecida en NEC15 para el periodo de vibración máximo, en la siguiente tabla se presenta los periodos de vibración para las diferentes tipologías de vigas y columnas donde los valores en gris representan los periodos que satisfacen la condición.

Tabla 9. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC15

Periodos (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.484	1.239	1.093	1.062	1.005	0.993	0.996	0.954
C 50x50	1.286	1.062	0.914	0.872	0.815	0.787	0.774	0.731
C 60x60	1.140	0.949	0.814	0.771	0.718	0.684	0.665	0.623
C 70x70	1.015	0.861	0.743	0.703	0.655	0.621	0.600	0.560
C 80x80	0.902	0.784	0.686	0.65	0.607	0.576	0.555	0.518

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva y periodo corresponde a columnas de 70x70cm y vigas de 50x70cm.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en la sección de metodología, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 10. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC15

# Piso	W (Ton)	h (m)	R	I
Piso 1	596.19	3.25	8	1
Piso 2	596.19	3.25		
Piso 3	596.19	3.25		
Piso 4	438.975	3.25		
Total	2227.545	13	Coefficiente	0.1488
			V (Tn)	331.459

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales en toneladas.

Tabla 11. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC15

k	1.000
F1 (Tn)	37.054
F2 (Tn)	74.109
F3 (Tn)	111.163
F4 (Tn)	109.133

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

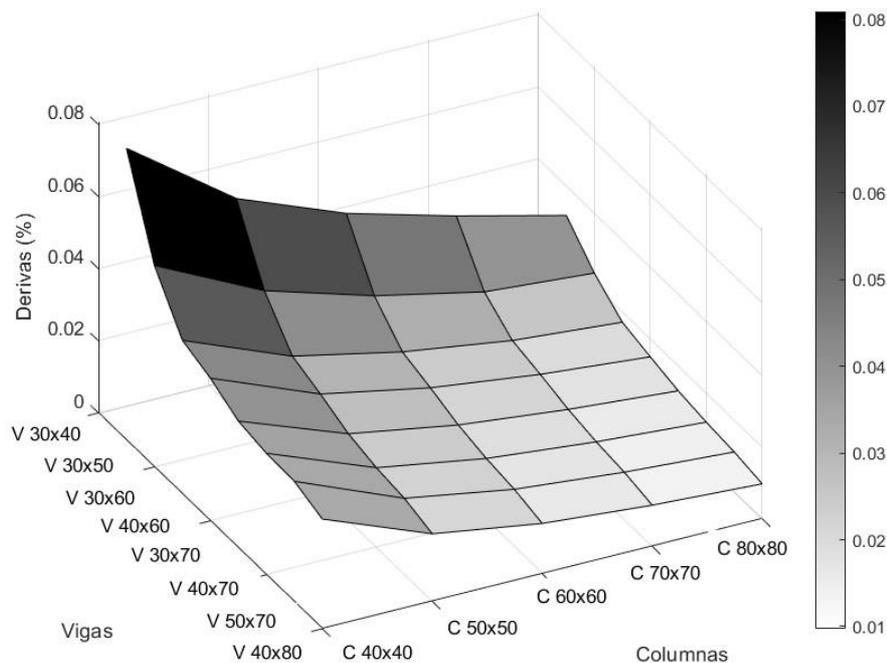


Figura 26. % Derivas Edf. 4 pisos NEC15

2.1.2. Diseño Sismo-resistente NEC 23

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 4 pisos usando los factores establecidos en el borrador de la NEC23.

Tabla 12. Periodo de vibración aproximado Edf. 4 pisos NEC23

hn (m)	13
Ct	0.0466
α	0.9
Ta (s)	0.469

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas y columnas.

Tabla 13. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23

Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.484	1.239	1.093	1.062	1.005	0.993	0.996	0.954
C 50x50	1.286	1.062	0.914	0.872	0.815	0.787	0.774	0.731
C 60x60	1.14	0.949	0.814	0.771	0.718	0.684	0.665	0.623
C 70x70	1.015	0.861	0.743	0.703	0.655	0.621	0.6	0.56
C 80x80	0.902	0.784	0.686	0.65	0.607	0.576	0.555	0.518

Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse. La siguiente tabla contiene el periodo de vibración de deriva para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 14. Periodo de vibración Edf. 4 pisos NEC23

Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.484	1.239	1.093	1.062	1.005	0.993	0.996	0.954
C 50x50	1.286	1.062	0.914	0.872	0.815	0.787	0.774	0.731
C 60x60	1.14	0.949	0.814	0.771	0.718	0.684	0.665	0.623
C 70x70	1.015	0.861	0.743	0.703	0.655	0.621	0.6	0.56
C 80x80	0.902	0.784	0.686	0.65	0.607	0.576	0.555	0.518

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 realizado previamente para obtener la aceleración espectral. A continuación, se

presenta los valores de aceleración espectral para las diferentes tipologías donde los resultados nos indican casos dentro y fuera de la zona de la meseta.

Tabla 15. Aceleración Espectral Edf. 4 pisos NEC23

Sa	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	0.519	0.622	0.705	0.726	0.767	0.776	0.774	0.808
C 50x50	0.599	0.726	0.843	0.884	0.945	0.979	0.996	1.054
C 60x60	0.676	0.812	0.947	0.999	1.073	1.127	1.159	1.237
C 70x70	0.759	0.895	1.037	1.096	1.176	1.241	1.284	1.286
C 80x80	0.854	0.983	1.123	1.185	1.269	1.286	1.286	1.286

Dado que cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor aceleración espectral y por lo tanto de coeficiente Cs y k, la siguiente tabla contiene el coeficiente Cs para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 16. Coeficiente Cs Edf. 4 pisos NEC23

Coeficiente Cs	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	0.065	0.078	0.088	0.091	0.096	0.097	0.097	0.101
C 50x50	0.075	0.091	0.105	0.110	0.118	0.122	0.124	0.132
C 60x60	0.084	0.101	0.118	0.125	0.134	0.141	0.145	0.155
C 70x70	0.095	0.112	0.130	0.137	0.147	0.155	0.161	0.161
C 80x80	0.107	0.123	0.140	0.148	0.159	0.161	0.161	0.161

El coeficiente relacionado con el período de la estructura “k” se calcula siguiendo lo establecido en la normativa. Los valores obtenidos para el coeficiente k se presentan a continuación para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 17. Coeficiente k Edf. 4 pisos NEC23

Coeficiente K	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.492	1.370	1.297	1.281	1.253	1.247	1.248	1.227
C 50x50	1.393	1.281	1.207	1.186	1.158	1.144	1.137	1.116
C 60x60	1.320	1.225	1.157	1.136	1.109	1.092	1.083	1.062
C 70x70	1.258	1.181	1.122	1.102	1.078	1.061	1.050	1.030
C 80x80	1.201	1.142	1.093	1.075	1.054	1.038	1.028	1.009

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 70x70cm y vigas de 40x70cm.

Utilizando el periodo de vibración de la estructura acorde a lo indicado en la tabla 3, mediante el espectro de diseño NEC23 realizado previamente se obtiene la aceleración espectral.

Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 18. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC23

ϕ_E	1
ϕ_P	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
T0	0.133
TL	2.76
Sa	1.241

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

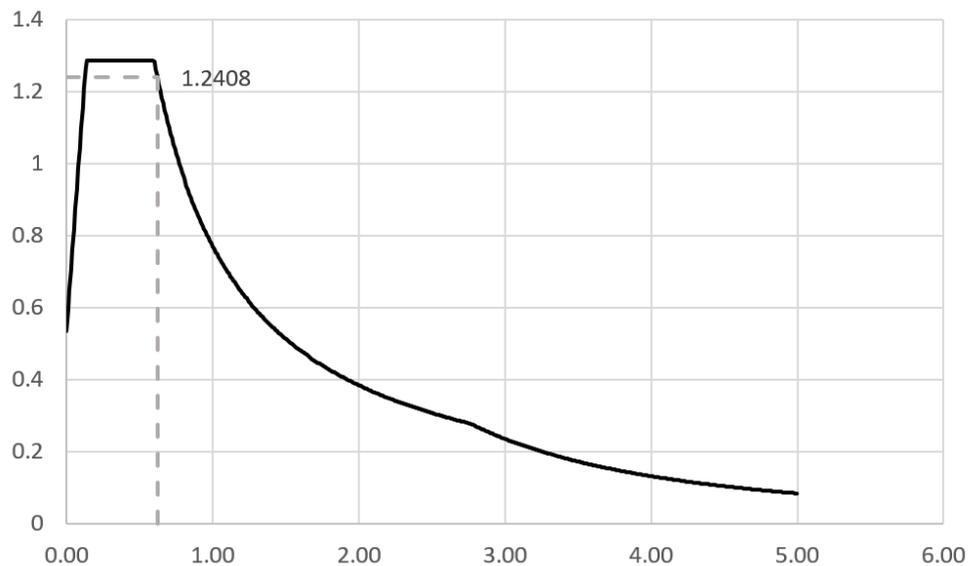


Figura 27. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC23

Seleccionando los respectivos valores para el coeficiente C_s y k mostrados en la tabla 3 y creado el patrón de carga sísmica, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra a continuación.

	Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
▶	Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	24.551	0	0	126	12000	12000
	Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	19.779	0	0	127	12000	12000
	Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	12.645	0	0	128	12000	12000
	Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	4.651	0	0	129	12000	12000

Figura 28. Desplazamiento por piso Edf. 4 pisos NEC23

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	0.621	1.609	10.1111	102.2338
	Modal	2	0.621	1.609	10.1111	102.2338
	Modal	3	0.545	1.834	11.521	132.7342
	Modal	4	0.179	5.575	35.0288	1227.0146
	Modal	5	0.179	5.575	35.0288	1227.0146
	Modal	6	0.159	6.283	39.4804	1558.6984
	Modal	7	0.089	11.194	70.3342	4946.9056
	Modal	8	0.089	11.194	70.3342	4946.9056
	Modal	9	0.08	12.474	78.3756	6142.7346
	Modal	10	0.058	17.128	107.6176	11581.5475
	Modal	11	0.058	17.128	107.6176	11581.5475
	Modal	12	0.053	18.982	119.2657	14224.3141
	Modal	13	0.037	26.667	167.5538	28074.2737
	Modal	14	0.035	28.267	177.6062	31543.9685
	Modal	15	0.035	28.591	179.6437	32271.8714
	Modal	16	0.035	28.591	179.6437	32271.8714

Figura 29. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23

Los resultados para la deriva elástica e inelástica se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 19. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC23

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
		V 40x70		
4	C 70x70	24.551	0.4772	2.8632
3		19.779	0.7134	4.2804
2		12.645	0.7994	4.7964
1		4.651	0.4651	2.7906

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan las derivas que satisfacen la deriva limite.

Tabla 20. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC23

Derivas (%)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	0.0373	0.0304	0.0261	0.0249	0.0233	0.0226	0.0223	0.0212
C 50x50	0.0314	0.0260	0.0222	0.0209	0.0194	0.0185	0.0179	0.0168
C 60x60	0.0288	0.0227	0.0196	0.0185	0.0172	0.0163	0.0157	0.0146
C 70x70	0.0264	0.0211	0.0175	0.0166	0.0155	0.0148	0.0142	0.0124
C 80x80	0.0238	0.0198	0.0165	0.0152	0.0141	0.0129	0.0120	0.0131

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva corresponde a columnas de 70x70 y vigas de 40x70.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en las tablas de la NEC23 para factores y periodos de cortante mencionado previamente, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 21. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC23

# Piso	W (Ton)	h (m)	R	8
Piso 1	560.574	3.25	le	1
Piso 2	560.574	3.25		
Piso 3	560.574	3.25	Coefficiente	0.1551
Piso 4	403.359	3.25		
Total	2085.081	13	V (Tn)	323.396

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales.

Tabla 22. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC23

k	1.061
F1 (Tn)	34.324
F2 (Tn)	71.588
F3 (Tn)	110.049
F4 (Tn)	107.434

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

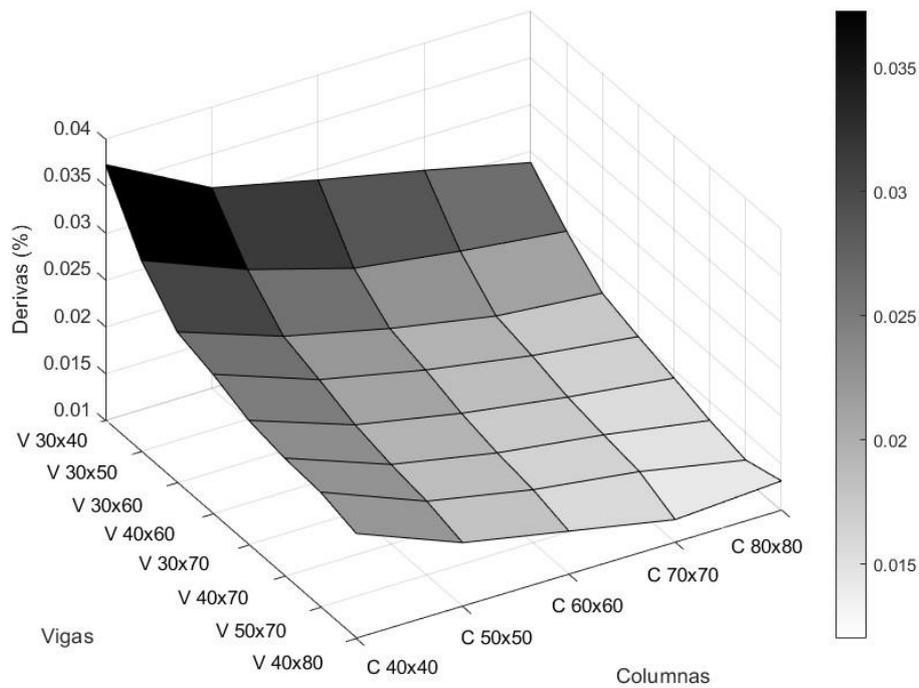


Figura 30. % Derivas Edf. 4 pisos NEC23

2.2. Edificio 8 Pisos

2.2.1. Diseño Sismo-resistente NEC 15

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 8 pisos.

Tabla 23. Periodo de vibración aproximado Edf. 8 pisos NEC15

hn (m)	26
Ct	0.0466
α	0.9
Ta (s)	0.875

Siguiendo con el proceso de diseño, una vez calculado el periodo aproximado de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC15 para obtener la aceleración espectral. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos previamente

Tabla 24. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC15

$\emptyset E$	1
$\emptyset P$	1
Z	0.4
Tipo de suelo	D
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
η	2.48
r	1
Tc	0.698
T0	0.127
Sa	0.9501

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

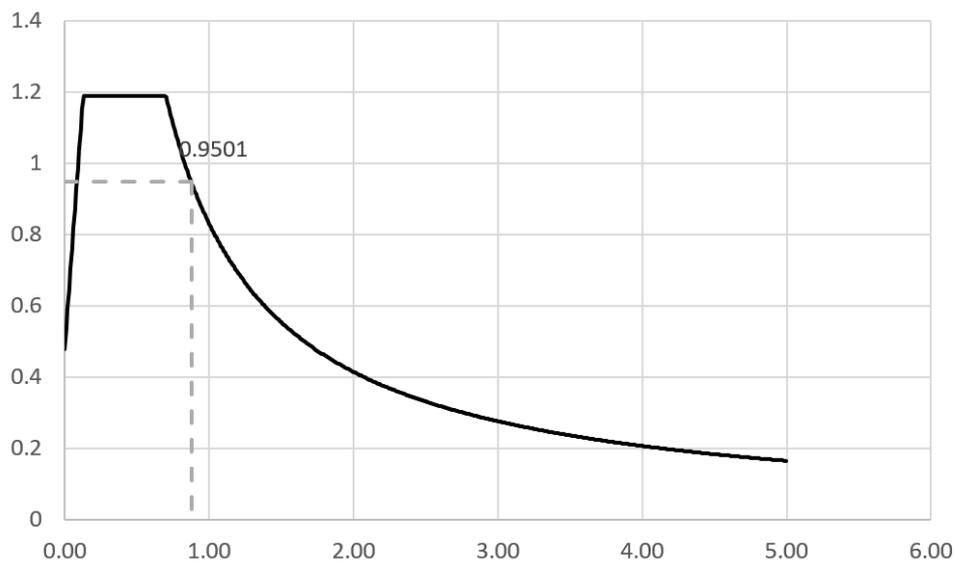


Figura 31. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC15

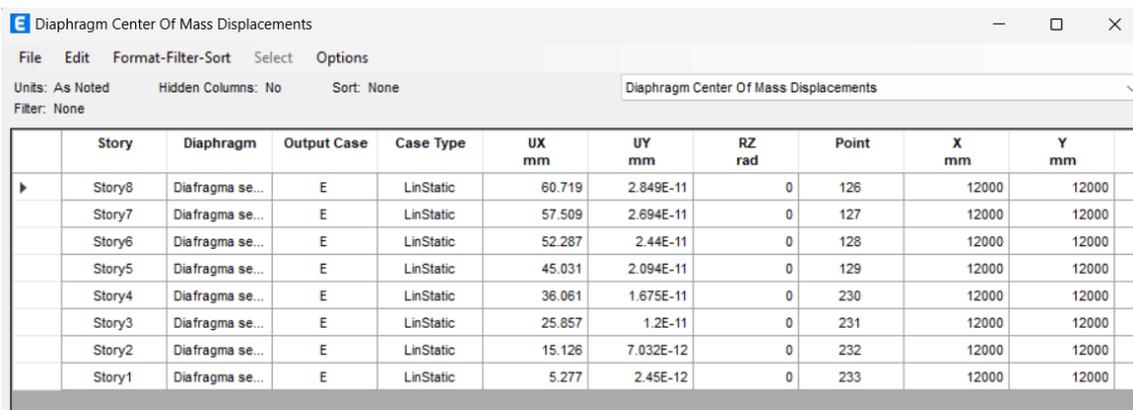
Una vez obtenida la aceleración espectral, siguiendo el procedimiento detallado previamente, el coeficiente C_s es el siguiente

Tabla 25. Coeficiente C_s Edf. 8 pisos NEC15

R	8
I	1
Coeficiente	0.1188

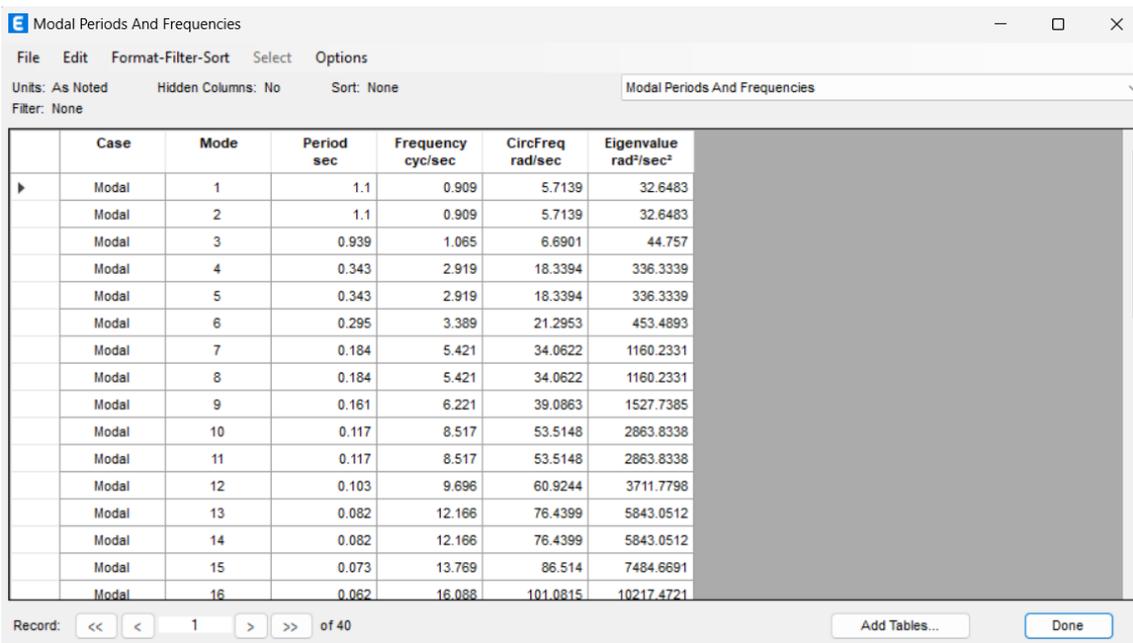
El coeficiente relacionado con el período de la estructura (k) tiene un valor de 1.187 de acuerdo a lo establecido en la figura 1.

Una vez creado el patrón de carga sísmica y establecido los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra en las siguientes figuras.



	Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
▶	Story8	Diafragma se...	E	LinStatic	60.719	2.849E-11	0	126	12000	12000
	Story7	Diafragma se...	E	LinStatic	57.509	2.694E-11	0	127	12000	12000
	Story6	Diafragma se...	E	LinStatic	52.287	2.44E-11	0	128	12000	12000
	Story5	Diafragma se...	E	LinStatic	45.031	2.094E-11	0	129	12000	12000
	Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	36.061	1.675E-11	0	230	12000	12000
	Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	25.857	1.2E-11	0	231	12000	12000
	Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	15.126	7.032E-12	0	232	12000	12000
	Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	5.277	2.45E-12	0	233	12000	12000

Figura 32. Desplazamiento por piso Edf. 8 pisos NEC15



	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	1.1	0.909	5.7139	32.6483
	Modal	2	1.1	0.909	5.7139	32.6483
	Modal	3	0.939	1.065	6.6901	44.757
	Modal	4	0.343	2.919	18.3394	336.3339
	Modal	5	0.343	2.919	18.3394	336.3339
	Modal	6	0.295	3.389	21.2953	453.4893
	Modal	7	0.184	5.421	34.0622	1160.2331
	Modal	8	0.184	5.421	34.0622	1160.2331
	Modal	9	0.161	6.221	39.0863	1527.7385
	Modal	10	0.117	8.517	53.5148	2863.8338
	Modal	11	0.117	8.517	53.5148	2863.8338
	Modal	12	0.103	9.696	60.9244	3711.7798
	Modal	13	0.082	12.166	76.4399	5843.0512
	Modal	14	0.082	12.166	76.4399	5843.0512
	Modal	15	0.073	13.769	86.514	7484.6691
	Modal	16	0.062	16.088	101.0815	10217.4721

Record: << < 1 > >> of 40

Add Tables... Done

Figura 33. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC15

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 80x80cm y vigas de 50x80cm donde se presentan resultados para la deriva elástica e inelástica.

Tabla 26. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC15

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
		V 50x80		
8	C 80x80	60.719	0.321	1.926
7		57.509	0.5222	3.1332
6		52.287	0.7256	4.3536
5		45.031	0.897	5.382
4		36.061	1.0204	6.1224
3		25.857	1.0731	6.4386
2		15.126	0.9849	5.9094
1		5.277	0.5277	3.1662

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan aquellas derivas que satisfacen la deriva limite.

Tabla 27. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC15

Derivas (%)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	0.0346	0.0315	0.0272	0.0253	0.0225	0.0216
C 70x70	0.0310	0.0279	0.0239	0.0217	0.0192	0.0177
C 80x80	0.0285	0.0256	0.0219	0.0198	0.0175	0.0159
C 90x90	0.0265	0.0238	0.0205	0.0185	0.0163	0.0148
C 100x100	0.0251	0.0225	0.0193	0.0173	0.0154	0.0139
C 110x110	0.0238	0.0214	0.0185	0.0166	0.0147	0.0132

Siguiendo la condición establecida en NEC15 para el periodo de vibración máximo, en la siguiente tabla se presenta los periodos de vibración para las diferentes tipologías de vigas y columnas donde los valores en gris representan los periodos que satisfacen la condición.

Tabla 28. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC15

Periodo (s)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.462	1.403	1.307	1.268	1.2	1.176
C 70x70	1.372	1.306	1.211	1.161	1.093	1.057
C 80x80	1.313	1.246	1.153	1.1	1.033	0.99
C 90x90	1.268	1.202	1.114	1.059	0.995	0.949
C 100x100	1.228	1.165	1.082	1.028	0.967	0.92
C 110x110	1.192	1.132	1.054	1.001	0.943	0.897

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva y periodo corresponde a columnas de 80x80cm y vigas de 50x80cm.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en la sección de metodología, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 29. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC15

# Piso	W (Ton)	h (m)
Piso 1	647.04	3.25
Piso 2	647.04	3.25
Piso 3	647.04	3.25
Piso 4	647.04	3.25
Piso 5	647.04	3.25
Piso 6	647.04	3.25
Piso 7	647.04	3.25
Piso 8	475.2	3.25
Total	5004.48	26

R	8
I	1

Coefficiente	0.1188
---------------------	---------------

V (Tn)	594.345
---------------	----------------

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales en toneladas.

Tabla 30. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC15

k	1.187
----------	--------------

F1 (Tn)	12.905
F2 (Tn)	29.389
F3 (Tn)	47.562
F4 (Tn)	66.928
F5 (Tn)	87.232
F6 (Tn)	108.316
F7 (Tn)	130.072
F8 (Tn)	111.940

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

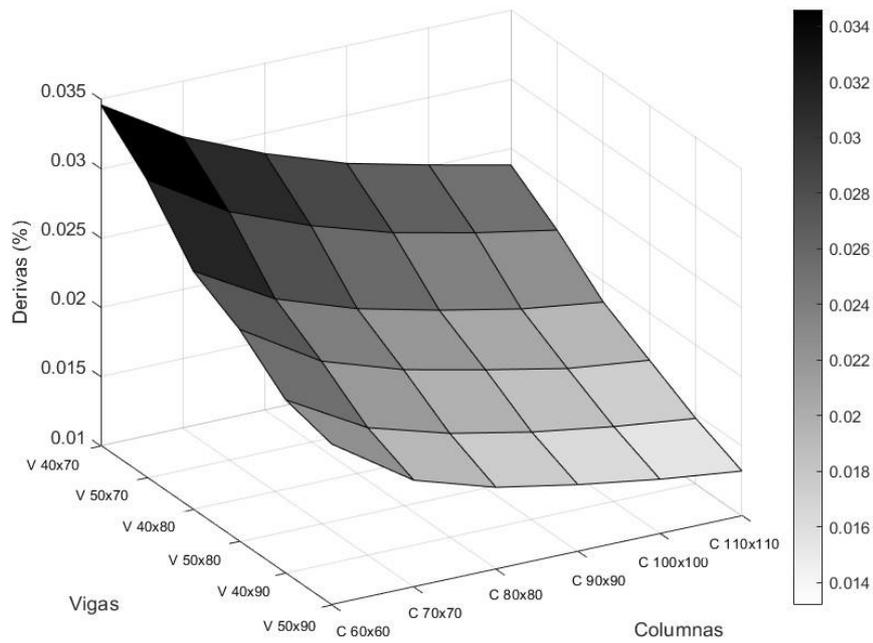


Figura 34. % Derivas Edf. 8 pisos NEC15

2.2.2. Diseño Sismo-resistente NEC 23

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 8 pisos usando los factores establecidos en el borrador de la NEC23.

Tabla 31. Periodo de vibración aproximado Edf. 8 pisos NEC23

hn (m)	26
Ct	0.0466
α	0.9
Ta (s)	0.875

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas y columnas.

Tabla 32. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23

Periodo (s)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.462	1.403	1.307	1.268	1.2	1.176
C 70x70	1.372	1.306	1.211	1.161	1.093	1.057
C 80x80	1.313	1.246	1.153	1.1	1.033	0.99
C 90x90	1.268	1.202	1.114	1.059	0.995	0.949
C 100x100	1.228	1.165	1.082	1.028	0.967	0.92
C 110x110	1.192	1.132	1.054	1.001	0.943	0.897

Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse. La siguiente tabla contiene el periodo de vibración de deriva para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 33. Periodo de vibración Edf. 8 pisos NEC23

Periodo (s)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.462	1.403	1.307	1.268	1.200	1.176
C 70x70	1.372	1.306	1.211	1.161	1.093	1.057
C 80x80	1.313	1.246	1.153	1.100	1.033	0.990
C 90x90	1.268	1.202	1.114	1.059	0.995	0.949
C 100x100	1.228	1.165	1.082	1.028	0.967	0.920
C 110x110	1.192	1.132	1.054	1.001	0.943	0.897

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 realizado previamente para obtener la aceleración espectral. A continuación, se presenta los valores de aceleración espectral para las diferentes tipologías donde los resultados nos indican casos dentro y fuera de la zona de la meseta.

Tabla 34. Aceleración Espectral Edf. 8 pisos NEC23

Sa	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	0.5270	0.5492	0.5895	0.6077	0.6421	0.6552
C 70x70	0.5616	0.5900	0.6363	0.6637	0.7050	0.7290
C 80x80	0.5869	0.6184	0.6683	0.7005	0.7459	0.7783
C 90x90	0.6077	0.6410	0.6917	0.7276	0.7744	0.8119
C 100x100	0.6275	0.6614	0.7121	0.7495	0.7968	0.8375
C 110x110	0.6464	0.6807	0.7311	0.7698	0.8171	0.8590

Dado que cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor aceleración espectral y por lo tanto de coeficiente C_s y k , la siguiente tabla contiene el coeficiente C_s para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 35. Coeficiente Cs Edf. 8 pisos NEC23

Coeficiente Cs	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	0.0659	0.0687	0.0737	0.0760	0.0803	0.0819
C 70x70	0.0702	0.0737	0.0795	0.0830	0.0881	0.0911
C 80x80	0.0734	0.0773	0.0835	0.0876	0.0932	0.0973
C 90x90	0.0760	0.0801	0.0865	0.0910	0.0968	0.1015
C 100x100	0.0784	0.0827	0.0890	0.0937	0.0996	0.1047
C 110x110	0.0808	0.0851	0.0914	0.0962	0.1021	0.1074

El coeficiente relacionado con el período de la estructura “k” se calcula siguiendo lo establecido en la normativa. Los valores obtenidos para el coeficiente k se presentan a continuación para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 36. Coeficiente k Edf. 8 pisos NEC23

Coeficiente K	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.481	1.452	1.404	1.384	1.350	1.338
C 70x70	1.436	1.403	1.356	1.331	1.297	1.279
C 80x80	1.407	1.373	1.327	1.300	1.267	1.245
C 90x90	1.384	1.351	1.307	1.280	1.248	1.225
C 100x100	1.364	1.333	1.291	1.264	1.234	1.210
C 110x110	1.346	1.316	1.277	1.251	1.222	1.199

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 60x60cm y vigas de 50x90cm.

Utilizando el periodo de vibración de la estructura acorde a lo indicado en la tabla 3, mediante el espectro de diseño NEC23 realizado previamente se obtiene la aceleración espectral. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 37. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC23

ØE	1
ØP	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
TO	0.133
TL	2.76
Sa	0.65522

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

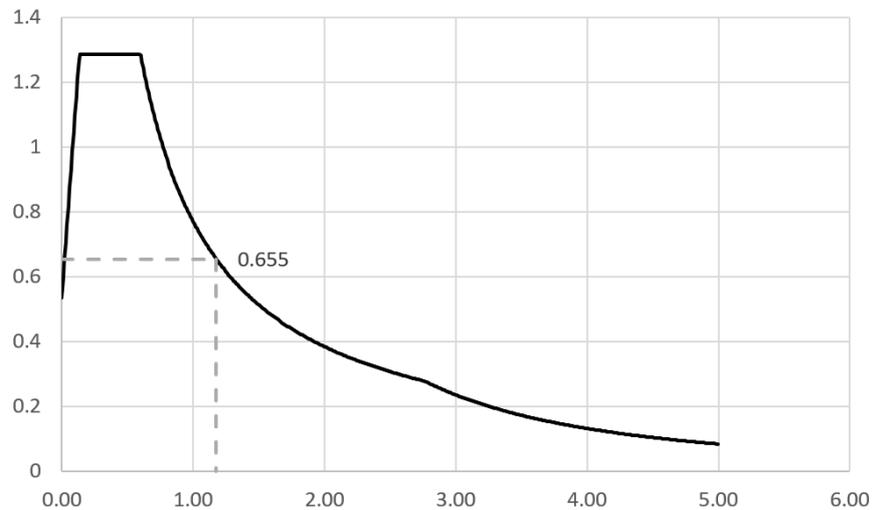


Figura 35. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC23

Seleccionando los respectivos valores para el coeficiente C_s y k mostrados en la tabla 3 y creado el patrón de carga sísmica, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra a continuación.

	Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
▶	Story8	Diafragma se...	E	LinStatic	47.407	3.143E-11	0	126	12000	12000
	Story7	Diafragma se...	E	LinStatic	45.264	2.992E-11	0	127	12000	12000
	Story6	Diafragma se...	E	LinStatic	41.373	2.744E-11	0	128	12000	12000
	Story5	Diafragma se...	E	LinStatic	35.941	2.393E-11	0	129	12000	12000
	Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	29.298	1.98E-11	0	230	12000	12000
	Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	21.772	1.467E-11	0	231	12000	12000
	Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	13.694	9.279E-12	0	232	12000	12000
	Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	5.593	3.805E-12	0	233	12000	12000

Figura 36. Desplazamiento por piso Edf. 8 pisos NEC23

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	1.176	0.85	5.3437	28.5547
Modal	2	1.176	0.85	5.3437	28.5547
Modal	3	1.013	0.987	6.2034	38.4822
Modal	4	0.385	2.6	16.3341	266.8023
Modal	5	0.385	2.6	16.3341	266.8023
Modal	6	0.332	3.008	18.9017	357.2753
Modal	7	0.223	4.486	28.1883	794.5828
Modal	8	0.223	4.486	28.1883	794.5828
Modal	9	0.194	5.151	32.3668	1047.609
Modal	10	0.154	6.482	40.727	1658.6852
Modal	11	0.154	6.482	40.727	1658.6852
Modal	12	0.135	7.418	46.6061	2172.128
Modal	13	0.117	8.549	53.7151	2885.3102
Modal	14	0.117	8.549	53.7151	2885.3102
Modal	15	0.103	9.749	61.2579	3752.5293
Modal	16	0.095	10.547	66.2683	4391.614

Figura 37. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23

Los resultados para la deriva elástica e inelástica se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 38. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC23

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
8	C 60x60	47.407	0.2143	1.2858
7		45.264	0.3891	2.3346
6		41.373	0.5432	3.2592
5		35.941	0.6643	3.9858
4		29.298	0.7526	4.5156
3		21.772	0.8078	4.8468
2		13.694	0.8101	4.8606
1		5.593	0.5593	3.3558

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan las derivas que satisfacen la deriva límite.

Tabla 39. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC23

Derivas (%)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	0.0196	0.0186	0.0172	0.0164	0.0154	0.0150
C 70x70	0.0187	0.0176	0.0162	0.0154	0.0144	0.0137
C 80x80	0.0179	0.0170	0.0156	0.0148	0.0138	0.0131
C 90x90	0.0174	0.0163	0.0151	0.0143	0.0134	0.0127
C 100x100	0.0170	0.0160	0.0147	0.0138	0.0130	0.0123
C 110x110	0.0166	0.0156	0.0144	0.0136	0.0127	0.0119

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva corresponde a columnas de 60x60 y vigas de 50x90.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en las tablas de la NEC23 para factores y periodos de cortante mencionado previamente, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 40. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC23

# Piso	W (Ton)	h (m)
Piso 1	626.04	3.25
Piso 2	626.04	3.25
Piso 3	626.04	3.25
Piso 4	626.04	3.25
Piso 5	626.04	3.25
Piso 6	626.04	3.25
Piso 7	626.04	3.25
Piso 8	481.5	3.25
Total	4863.78	26

R	8
le	1

Coficiente	0.0819
-------------------	---------------

V (Tn)	398.355
---------------	----------------

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales.

Tabla 41. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC23

k	1.338
----------	--------------

F1 (Tn)	6.660
F2 (Tn)	16.836
F3 (Tn)	28.963
F4 (Tn)	42.561
F5 (Tn)	57.370
F6 (Tn)	73.219
F7 (Tn)	89.991
F8 (Tn)	82.754

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

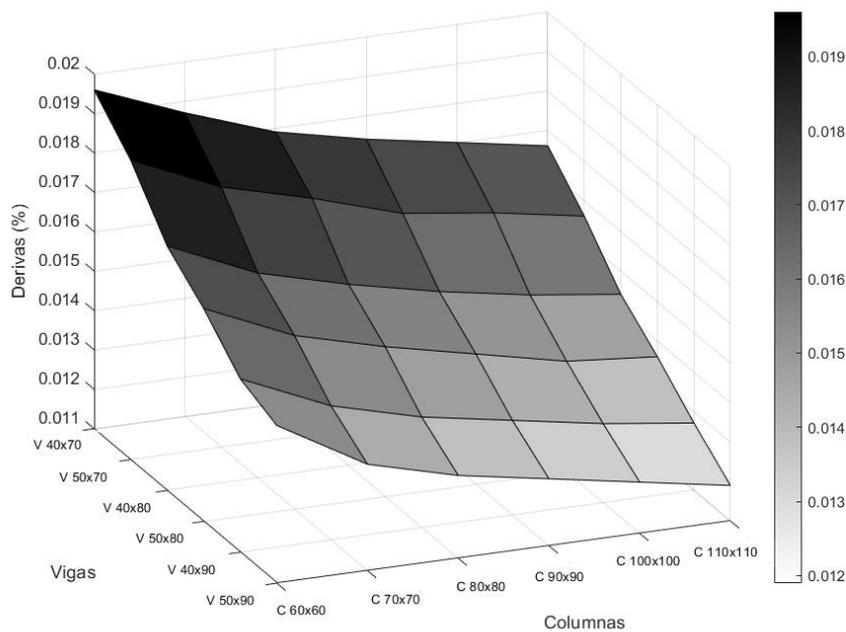


Figura 38. % Derivas Edf. 8 pisos NEC23

2.3. Edificio 12 Pisos

2.3.1. Diseño Sismo-resistente NEC 15

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 12 pisos. Para este caso, tomando en consideración que el edificio tiene muros estructurales, los factores “ C_t ” y “ α ” cambian.

Tabla 42. Periodo de vibración aproximado Edf. 12 pisos NEC15

hn (m)	39
C_t	0.0488
α	0.75
Ta (s)	0.762

Siguiendo con el proceso de diseño, una vez calculado el periodo aproximado de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC15 para obtener la aceleración espectral. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos previamente

Tabla 43. Aceleración espectral Edf. 12 pisos NEC15

ϕ_E	1
ϕ_P	1
Z	0.4
Tipo de suelo	D
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
η	2.48
r	1
Tc	0.698
T0	0.127
Sa	1.09122175

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

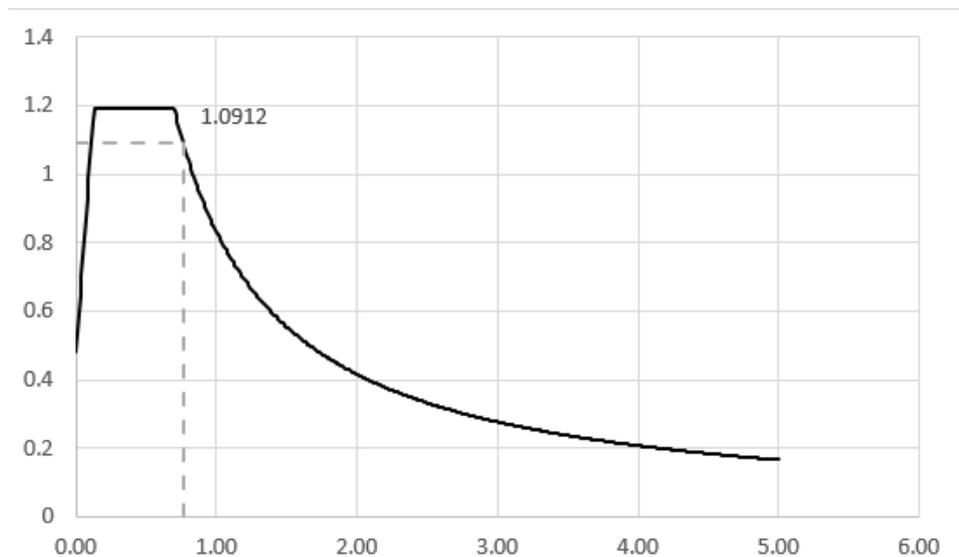


Figura 39. Espectro de diseño Edf. 12 pisos NEC15

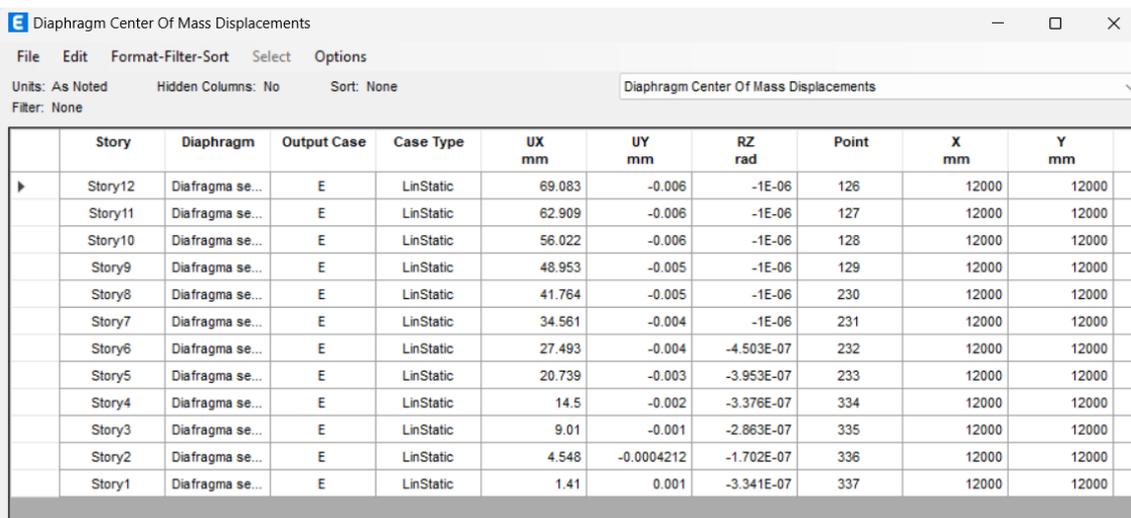
Una vez obtenida la aceleración espectral, siguiendo el procedimiento detallado previamente, el coeficiente C_s es el siguiente

Tabla 44. Coeficiente C_s Edf. 12 pisos NEC15

R	8
I	1
Coeficiente	0.1364

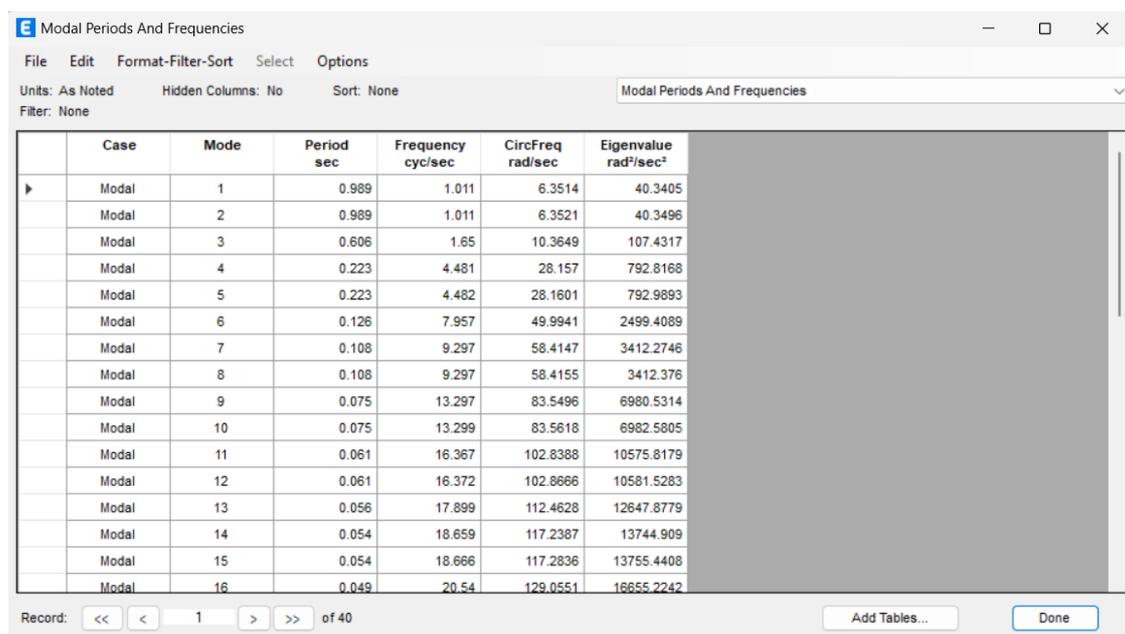
El coeficiente relacionado con el período de la estructura (k) tiene un valor de 1.131 de acuerdo a las condiciones establecidas en la figura 1.

Una vez creado el patrón de carga sísmica y establecido los coeficientes de cortante en la base y coeficiente relacionado con el período de la estructura, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra en las siguientes figuras.



	Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
▶	Story12	Diafragma se...	E	LinStatic	69.083	-0.006	-1E-06	126	12000	12000
	Story11	Diafragma se...	E	LinStatic	62.909	-0.006	-1E-06	127	12000	12000
	Story10	Diafragma se...	E	LinStatic	56.022	-0.006	-1E-06	128	12000	12000
	Story9	Diafragma se...	E	LinStatic	48.953	-0.005	-1E-06	129	12000	12000
	Story8	Diafragma se...	E	LinStatic	41.764	-0.005	-1E-06	230	12000	12000
	Story7	Diafragma se...	E	LinStatic	34.561	-0.004	-1E-06	231	12000	12000
	Story6	Diafragma se...	E	LinStatic	27.493	-0.004	-4.503E-07	232	12000	12000
	Story5	Diafragma se...	E	LinStatic	20.739	-0.003	-3.953E-07	233	12000	12000
	Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	14.5	-0.002	-3.376E-07	334	12000	12000
	Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	9.01	-0.001	-2.863E-07	335	12000	12000
	Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	4.548	-0.0004212	-1.702E-07	336	12000	12000
	Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	1.41	0.001	-3.341E-07	337	12000	12000

Figura 40. Desplazamiento por piso Edf. 12 pisos NEC15



	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad/sec ²
▶	Modal	1	0.989	1.011	6.3514	40.3405
	Modal	2	0.989	1.011	6.3521	40.3496
	Modal	3	0.606	1.65	10.3649	107.4317
	Modal	4	0.223	4.481	28.157	792.8168
	Modal	5	0.223	4.482	28.1601	792.9893
	Modal	6	0.126	7.957	49.9941	2499.4089
	Modal	7	0.108	9.297	58.4147	3412.2746
	Modal	8	0.108	9.297	58.4155	3412.376
	Modal	9	0.075	13.297	83.5496	6980.5314
	Modal	10	0.075	13.299	83.5618	6982.5805
	Modal	11	0.061	16.367	102.8388	10575.8179
	Modal	12	0.061	16.372	102.8666	10581.5283
	Modal	13	0.056	17.899	112.4628	12647.8779
	Modal	14	0.054	18.659	117.2387	13744.909
	Modal	15	0.054	18.666	117.2836	13755.4408
	Modal	16	0.049	20.54	129.0551	16655.2242

Figura 41. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC15

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 80x80cm, vigas de 40x80cm y muros de 55cm donde se presentan resultados para la deriva elástica e inelástica.

Tabla 45. Deriva elástica e inelástica Edf. 12 pisos NEC15

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
		V 40x80		
12	C 80x80	69.083	0.6174	3.7044
11		62.909	0.6887	4.1322
10		56.022	0.7069	4.2414
9		48.953	0.7189	4.3134
8		41.764	0.7203	4.3218
7		34.561	0.7068	4.2408
6		27.493	0.6754	4.0524
5		20.739	0.6239	3.7434
4		14.5	0.549	3.294
3		9.01	0.4462	2.6772
2		4.548	0.3138	1.8828
1		1.41	0.141	0.846

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas, columnas y muros. Los valores en gris representan aquellas derivas que satisfacen la deriva limite.

Tabla 46. Deriva inelástica Edf. 12 pisos NEC15

Espesor 50cm

Derivas (%)	V 50x70	V 40x80	V 50x80
C 60x60	0.0155	0.0143	0.0138
C 70x70	0.0151	0.0138	0.0132
C 80x80	0.0150	0.0136	0.0130

Espesor 55cm

Derivas (%)	V 50x70	V 40x80	V 50x80
C 60x60	0.0151	0.0139	0.0135
C 70x70	0.0147	0.0134	0.0129
C 80x80	0.0146	0.0133	0.0127

Siguiendo la condición establecida en NEC15 para el periodo de vibración máximo, en la siguiente tabla se presenta los periodos de vibración para las diferentes tipologías de vigas y columnas donde los valores en gris representan los periodos que satisfacen la condición.

Tabla 47. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC15

Espesor 50cm

Periodo (s)	V 50x70	V 40x80	V 50x80
C 60x60	1.062	1.023	1.013
C 70x70	1.05	1.009	0.993
C 80x80	1.048	1.004	0.985

Espesor 55cm

Periodo (s)	V 50x70	V 40x80	V 50x80
C 60x60	1.043	1.007	0.998
C 70x70	1.033	0.993	0.979
C 80x80	1.03	0.989	0.971

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva y periodo corresponde a columnas de 80x80cm, vigas de 40x80cm y muro de 55cm.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en la sección de metodología, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 48. Cortante basal Edf. 12 pisos NEC15

# Piso	W (Ton)	h (m)
Piso 1	726.086	3.25
Piso 2	726.086	3.25
Piso 3	726.086	3.25
Piso 4	726.086	3.25
Piso 5	726.086	3.25
Piso 6	726.086	3.25
Piso 7	726.086	3.25
Piso 8	726.086	3.25
Piso 9	726.086	3.25
Piso 10	726.086	3.25
Piso 11	726.086	3.25
Piso 12	481.238	3.25
Total	8468.189	39

R	8
I	1

Coficiente	0.1364
-------------------	--------

V (Tn)	1155.084
---------------	-----------------

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales en toneladas.

Tabla 49. Fuerzas Laterales Edf. 12 pisos NEC15

k	1.131
----------	-------

F1 (Tn)	11.994
F2 (Tn)	26.265
F3 (Tn)	41.542
F4 (Tn)	57.514
F5 (Tn)	74.021
F6 (Tn)	90.969
F7 (Tn)	108.292
F8 (Tn)	125.943
F9 (Tn)	143.886
F10 (Tn)	162.091
F11 (Tn)	180.537
F12 (Tn)	132.029

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

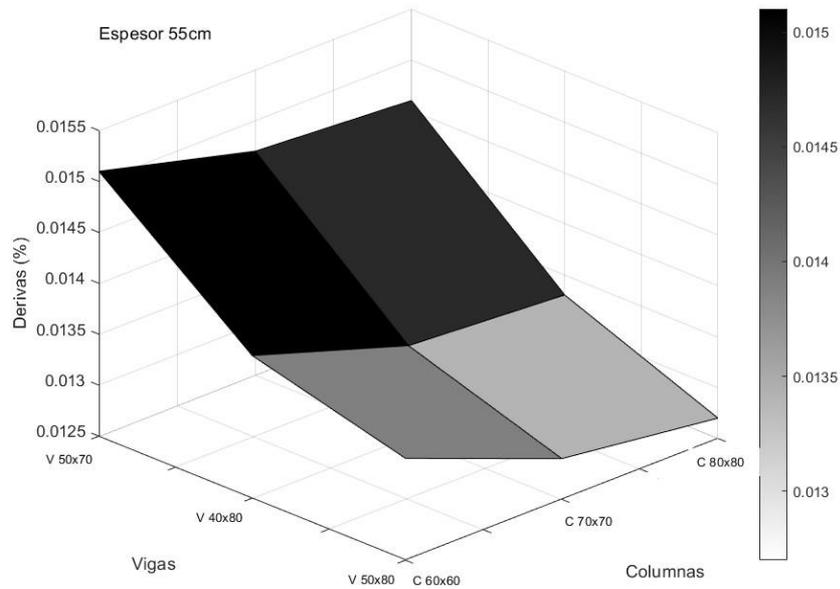


Figura 42. % Derivas Edf. 12 pisos NEC15

2.3.2. Diseño Sismo-resistente NEC 23

A partir de los cálculos realizados y tomando los factores establecidos previamente en la sección de metodología, se obtuvo el siguiente valor para el periodo de vibración aproximado del edificio de 12 pisos usando los factores establecidos en el borrador de la NEC23.

Tabla 50. Periodo de vibración aproximado Edf. 12 pisos NEC23

hn (m)	39
Ct	0.0488
α	0.75
Ta (s)	0.762

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas, columnas y vigas.

Tabla 51. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm				Espesor 30cm			
Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	1.502	1.443	1.384	C 40x40	1.415	1.368	1.319
C 50x50	1.504	1.431	1.354	C 50x50	1.418	1.359	1.293
C 60x60	1.514	1.434	1.345	C 60x60	1.427	1.362	1.287

Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse. La siguiente tabla contiene el periodo de vibración de deriva para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 52. Periodo de vibración Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm				Espesor 30cm			
Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	1.502	1.443	1.384	C 40x40	1.415	1.368	1.319
C 50x50	1.504	1.431	1.354	C 50x50	1.418	1.359	1.293
C 60x60	1.514	1.434	1.345	C 60x60	1.427	1.362	1.287

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 realizado previamente para obtener la aceleración espectral. A continuación, se presenta los valores de aceleración espectral para las diferentes tipologías donde los resultados nos indican casos dentro y fuera de la zona de la meseta.

Tabla 53. Aceleración Espectral Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm				Espesor 30cm			
Sa	V 30x40	V 30x50	V 30x60	Sa	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	0.5130	0.5340	0.5567	C 40x40	0.5445	0.5633	0.5842
C 50x50	0.5123	0.5385	0.5691	C 50x50	0.5434	0.5670	0.5959
C 60x60	0.5089	0.5373	0.5729	C 60x60	0.5400	0.5657	0.5987

Dado que cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor aceleración espectral y por lo tanto de coeficiente C_s y k , la siguiente tabla contiene el coeficiente C_s para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 54. Coeficiente Cs Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm				Espesor 30cm			
Coeficiente Cs	V 30x40	V 30x50	V 30x60	Coeficiente Cs	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	0.0641	0.0667	0.0696	C 40x40	0.0681	0.0704	0.0730
C 50x50	0.0640	0.0673	0.0711	C 50x50	0.0679	0.0709	0.0745
C 60x60	0.0636	0.0672	0.0716	C 60x60	0.0675	0.0707	0.0748

El coeficiente relacionado con el período de la estructura “k” se calcula siguiendo lo establecido en la normativa. Los valores obtenidos para el coeficiente k se presentan a continuación para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 55. Coeficiente k Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm				Espesor 30cm			
Coeficiente K	V 30x40	V 30x50	V 30x60	Coeficiente K	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	1.5010	1.4715	1.4420	C 40x40	1.4575	1.4340	1.4095
C 50x50	1.5020	1.4655	1.4270	C 50x50	1.4590	1.4295	1.3965
C 60x60	1.5070	1.4670	1.4225	C 60x60	1.4635	1.4310	1.3935

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 40x40cm, vigas de 30x50cm y muros de 30cm.

Utilizando el periodo de vibración de la estructura acorde a lo indicado en la tabla 3, mediante el espectro de diseño NEC23 realizado previamente se obtiene la aceleración espectral. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 56. Aceleración espectral Edf. 12 pisos NEC23

ØE	1
ØP	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
T0	0.133
TL	2.76
Sa	0.5633

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

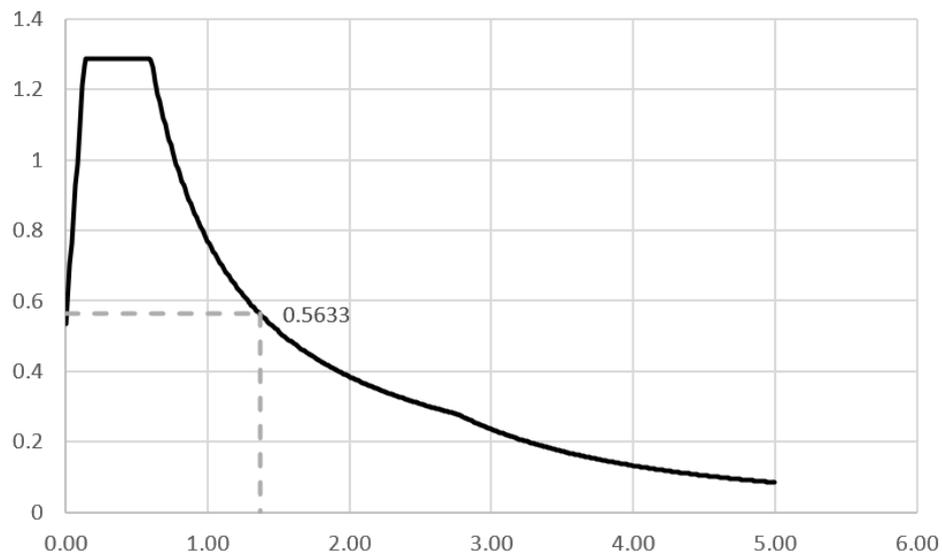


Figura 43. Espectro de diseño Edf. 12 pisos NEC23

Seleccionando los respectivos valores para el coeficiente C_s y k mostrados en la tabla 3 y creado el patrón de carga sísmica, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra a continuación.

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX mm	UY mm	RZ rad	Point	X mm	Y mm
Story12	Diafragma se...	E	LinStatic	74.323	-0.007	-1E-06	126	12000	12000
Story11	Diafragma se...	E	LinStatic	66.467	-0.006	-1E-06	127	12000	12000
Story10	Diafragma se...	E	LinStatic	58.383	-0.006	-1E-06	128	12000	12000
Story9	Diafragma se...	E	LinStatic	50.294	-0.005	-1E-06	129	12000	12000
Story8	Diafragma se...	E	LinStatic	42.266	-0.005	-1E-06	230	12000	12000
Story7	Diafragma se...	E	LinStatic	34.429	-0.004	-4.724E-07	231	12000	12000
Story6	Diafragma se...	E	LinStatic	26.933	-0.004	-4.172E-07	232	12000	12000
Story5	Diafragma se...	E	LinStatic	19.95	-0.003	-3.633E-07	233	12000	12000
Story4	Diafragma se...	E	LinStatic	13.67	-0.002	-2.939E-07	334	12000	12000
Story3	Diafragma se...	E	LinStatic	8.296	-0.001	-2.892E-07	335	12000	12000
Story2	Diafragma se...	E	LinStatic	4.055	-0.001	-4.765E-08	336	12000	12000
Story1	Diafragma se...	E	LinStatic	1.209	0.001	-4.479E-07	337	12000	12000

Figura 44. Desplazamiento por piso Edf. 12 pisos NEC23

The screenshot shows a software window titled "Modal Periods And Frequencies". The window contains a menu bar (File, Edit, Format-Filter-Sort, Select, Options), status information (Units: As Noted, Hidden Columns: No, Sort: None), and a table of modal analysis results. The table has 7 columns: Case, Mode, Period sec, Frequency cyc/sec, CircFreq rad/sec, and Eigenvalue rad²/sec². The data is as follows:

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	1.368	0.731	4.5935	21.1003
Modal	2	1.368	0.731	4.5941	21.1062
Modal	3	0.757	1.321	8.3023	68.9289
Modal	4	0.269	3.715	23.3428	544.8882
Modal	5	0.269	3.716	23.3466	545.0629
Modal	6	0.143	6.992	43.9306	1929.8992
Modal	7	0.122	8.17	51.3314	2634.9132
Modal	8	0.122	8.171	51.3372	2635.5054
Modal	9	0.083	12.066	75.8104	5747.2136
Modal	10	0.083	12.067	75.817	5748.2122
Modal	11	0.066	15.174	95.3393	9089.576
Modal	12	0.066	15.175	95.3469	9091.031
Modal	13	0.062	16.202	101.7975	10362.7212
Modal	14	0.057	17.399	109.3227	11951.4445
Modal	15	0.057	17.4	109.3299	11953.0215
Modal	16	0.053	18.861	118.5095	14044.4935

At the bottom of the window, there is a record navigation bar showing "Record: 1 of 40" and buttons for "Add Tables..." and "Done".

Figura 45. Periodo de vibración computado Edf. 12 pisos NEC23

Los resultados para la deriva elástica e inelástica se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 57. Deriva elástica e inelástica Edf. 12 pisos NEC23

# Piso	Geometría	δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
		V 30x50		
12	C 40x40	74.323	0.7856	4.7136
11		66.467	0.8084	4.8504
10		58.383	0.8089	4.8534
9		50.294	0.8028	4.8168
8		42.266	0.7837	4.7022
7		34.429	0.7496	4.4976
6		26.933	0.6983	4.1898
5		19.95	0.628	3.768
4		13.67	0.5374	3.2244
3		8.296	0.4241	2.5446
2		4.055	0.2846	1.7076
1		1.209	0.1209	0.7254

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas, columnas y muros. Los valores en gris representan las derivas que satisfacen la deriva límite.

Tabla 58. Deriva inelástica Edf. 12 pisos NEC23

Espesor 25cm

Derivas (%)	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	0.0169	0.0157	0.0147
C 50x50	0.0168	0.0155	0.0142
C 60x60	0.0170	0.0155	0.0140

Espesor 30cm

Derivas (%)	V 30x40	V 30x50	V 30x60
C 40x40	0.0159	0.0149	0.0141
C 50x50	0.0159	0.0147	0.0136
C 60x60	0.0160	0.0147	0.0135

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva corresponde a columnas de 40x40cm, vigas de 30x50cm y muros de 30cm.

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en las tablas de la NEC23 para factores y periodos de cortante mencionado previamente, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 59. Cortante basal Edf. 12 pisos NEC23

# Piso	W (Ton)	h (m)
Piso 1	516.768	3.25
Piso 2	516.768	3.25
Piso 3	516.768	3.25
Piso 4	516.768	3.25
Piso 5	516.768	3.25
Piso 6	516.768	3.25
Piso 7	516.768	3.25
Piso 8	516.768	3.25
Piso 9	516.768	3.25
Piso 10	516.768	3.25
Piso 11	516.768	3.25
Piso 12	343.056	3.25
Total	6027.504	39

R	8
le	1

Coficiente	0.0903
-------------------	--------

V (Tn)	544.496
---------------	----------------

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales.

Tabla 60. Fuerzas Laterales Edf. 12 pisos NEC23

k	1.283
F1 (Tn)	4.137
F2 (Tn)	10.069
F3 (Tn)	16.941
F4 (Tn)	24.504
F5 (Tn)	32.628
F6 (Tn)	41.228
F7 (Tn)	50.245
F8 (Tn)	59.635
F9 (Tn)	69.364
F10 (Tn)	79.405
F11 (Tn)	89.734
F12 (Tn)	66.606

A continuación, se muestra una gráfica que contiene las distintas tipologías de vigas y columnas con sus respectivas derivas de piso en porcentaje.

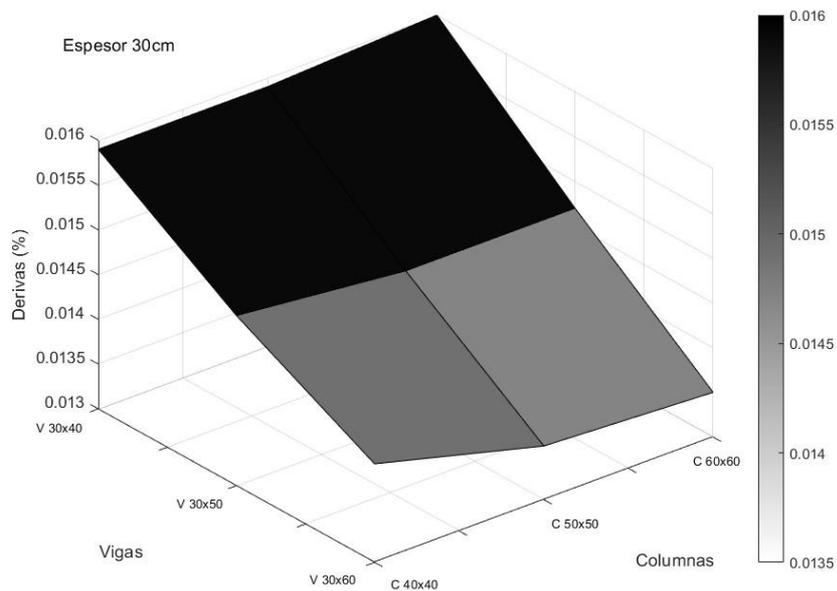


Figura 46. % Derivas Edf. 12 pisos NEC23

2.4. Edificio 4 y 8 Pisos con Fracción de la Carga Viva Considerada en el Cálculo del Peso Sísmico

2.4.1. Edificio 4 Pisos

Siguiendo el procedimiento establecido en la sección de metodología, en el software se agrega una fracción de la carga viva para el cálculo del peso sísmico.

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas y columnas.

Tabla 61. Periodo de vibración computado Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.514	1.264	1.114	1.082	1.024	0.989	1.012	0.97
C 50x50	1.309	1.082	0.931	0.887	0.83	0.8	0.786	0.743
C 60x60	1.158	0.965	0.828	0.783	0.73	0.695	0.674	0.632
C 70x70	1.03	0.874	0.755	0.714	0.665	0.63	0.609	0.568
C 80x80	0.915	0.795	0.695	0.659	0.616	0.583	0.562	0.525

Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse. La siguiente tabla contiene el periodo de vibración de deriva para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 62. Periodo de vibración Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Periodo (s)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	1.514	1.264	1.114	1.082	1.024	0.989	1.012	0.97
C 50x50	1.309	1.082	0.931	0.887	0.83	0.8	0.786	0.743
C 60x60	1.158	0.965	0.828	0.783	0.73	0.695	0.674	0.632
C 70x70	1.03	0.874	0.755	0.714	0.665	0.63	0.609	0.568
C 80x80	0.915	0.795	0.695	0.659	0.616	0.583	0.562	0.525

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 realizado previamente para obtener la aceleración espectral. Cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor aceleración espectral y por lo tanto su respectivo coeficiente C_s y k .

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 60x60cm y vigas de 40x80cm. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos, se obtuvo el siguiente resultado para la aceleración espectral.

Tabla 63. Aceleración espectral Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

ϕ_E	1
ϕ_P	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
T0	0.133
TL	2.76
Sa	1.219

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

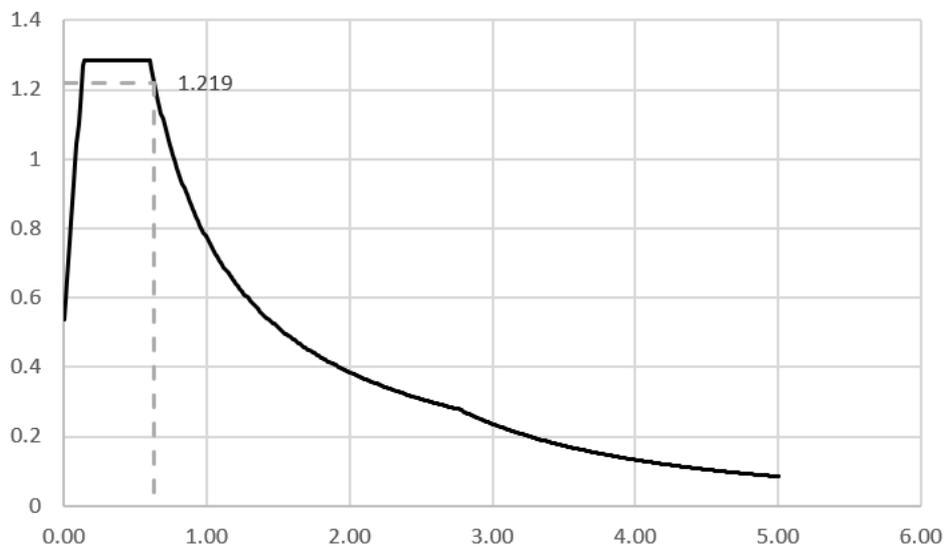


Figura 47. Espectro de diseño Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Seleccionando los respectivos valores para el coeficiente C_s y k mostrados en la tabla 3 y creado el patrón de carga sísmica, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra a continuación.

Los resultados para la deriva elástica e inelástica se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 64. Deriva elástica e inelástica Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

		δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
# Piso	Geometría	V 40x80		
4	C 60x60	13.67	0.5374	3.2244
3		8.296	0.4241	2.5446
2		4.055	0.2846	1.7076
1		1.209	0.1209	0.7254

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan las derivas que satisfacen la deriva límite.

Tabla 65. Deriva inelástica Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Derivas (%)	V 30x40	V 30x50	V 30x60	V 40x60	V 30x70	V 40x70	V 50x70	V 40x80
C 40x40	0.0385	0.0313	0.0268	0.0255	0.0239	0.0237	0.0229	0.0217
C 50x50	0.0324	0.0268	0.0228	0.0215	0.0200	0.0190	0.0184	0.0172
C 60x60	0.0295	0.0233	0.0201	0.0190	0.0177	0.0167	0.0161	0.0150
C 70x70	0.0270	0.0216	0.0179	0.0170	0.0159	0.0151	0.0145	0.0129
C 80x80	0.0243	0.0202	0.0169	0.0155	0.0144	0.0134	0.0124	0.0109

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva corresponde a columnas de 60x60cm y vigas de 40x80cm

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en las tablas de la NEC23 para factores y periodos de cortante mencionado previamente, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 66. Cortante basal Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

# Piso	W (Ton)	h (m)	R	8
Piso 1	587.448	3.25	le	1
Piso 2	587.448	3.25		
Piso 3	587.448	3.25	Coefficiente	0.1524
Piso 4	414.108	3.25		
Total	2176.452	13	V (Tn)	331.692

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales.

Tabla 67. Fuerzas Laterales Edf. 4 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

k	1.066
F1 (Tn)	35.252
F2 (Tn)	73.805
F3 (Tn)	113.710
F4 (Tn)	108.925

2.4.2. Edificio 8 Pisos

Siguiendo el procedimiento establecido en la sección de metodología, en el software se agrega una fracción de la carga viva para el cálculo del peso sísmico.

Utilizando los valores de periodo computado obtenidos para cada tipología de vigas y columnas.

Tabla 68. Periodo de vibración computado Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Periodo (s)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.493	1.431	1.334	1.292	1.223	1.197
C 70x70	1.4	1.331	1.235	1.183	1.114	1.076
C 80x80	1.338	1.269	1.175	1.119	1.052	1.007
C 90x90	1.291	1.223	1.133	1.076	1.012	0.964
C 100x100	1.249	1.184	1.1	1.044	0.982	0.934
C 110x110	1.211	1.15	1.07	1.016	0.958	0.91

Se realiza la comprobación de las condiciones de deriva para determinar el periodo de vibración a utilizarse. La siguiente tabla contiene el periodo de vibración de deriva para distintas tipologías de vigas y columnas.

Tabla 69. Periodo de vibración Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Periodo (s)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	1.493	1.431	1.334	1.292	1.223	1.197
C 70x70	1.400	1.331	1.235	1.183	1.114	1.076
C 80x80	1.338	1.269	1.175	1.119	1.052	1.007
C 90x90	1.291	1.223	1.133	1.076	1.012	0.964
C 100x100	1.249	1.184	1.100	1.044	0.982	0.934
C 110x110	1.211	1.150	1.070	1.016	0.958	0.910

Una vez determinado el periodo de vibración de la estructura se utiliza el espectro de diseño NEC23 realizado previamente para obtener la aceleración espectral. Cada tipología de vigas y columnas tiene su respectivo valor aceleración espectral y por lo tanto su respectivo coeficiente C_s y k .

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo para condiciones de columnas de 70x70cm y vigas de 40x90cm. Colocando los factores de irregularidad y tipo de suelo definidos, se obtuvo el siguiente resultado para la aceleración espectral.

Tabla 70. Aceleración espectral Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

ϕ_E	1
ϕ_P	1
Z	0.47
Tipo de suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32
r	1
Tc	0.599
T0	0.133
TL	2.76
Sa	0.6917

El valor de aceleración espectral obtenido nos indica que el resultado se encuentra fuera de la zona de la meseta.

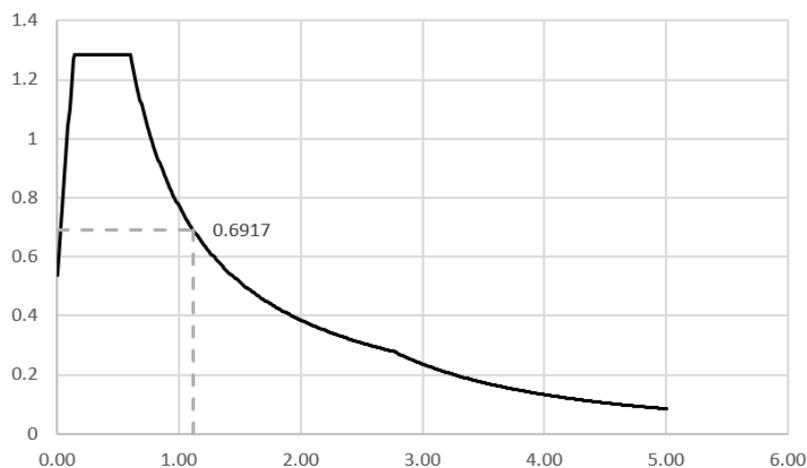


Figura 48. Espectro de diseño Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Seleccionando los respectivos valores para el coeficiente C_s y k mostrados en la tabla 3 y creado el patrón de carga sísmica, se corre el modelo en el software y se reporta los valores de desplazamiento y periodo de vibración tal como se muestra a continuación.

Los resultados para la deriva elástica e inelástica se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 71. Deriva elástica e inelástica Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

		δ_{max} (mm)	ΔE	ΔM (cm)
# Piso	Geometría	V 40x90		
8	C 70x70	42.266	0.7837	4.7022
7		34.429	0.7496	4.4976
6		26.933	0.6983	4.1898
5		19.95	0.628	3.768
4		13.67	0.5374	3.2244
3		8.296	0.4241	2.5446
2		4.055	0.2846	1.7076
1		1.209	0.1209	0.7254

La siguiente tabla contiene la deriva máxima para distintas tipologías de vigas y columnas. Los valores en gris representan las derivas que satisfacen la deriva límite.

Tabla 72. Deriva inelástica Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

Derivas (%)	V 40x70	V 50x70	V 40x80	V 50x80	V 40x90	V 50x90
C 60x60	0.0201	0.0191	0.0176	0.0168	0.0158	0.0153
C 70x70	0.0192	0.0181	0.0166	0.0157	0.0147	0.0140
C 80x80	0.0184	0.0173	0.0160	0.0151	0.0141	0.0134
C 90x90	0.0178	0.0167	0.0154	0.0146	0.0137	0.0129
C 100x100	0.0174	0.0163	0.0150	0.0141	0.0132	0.0126
C 110x110	0.0169	0.0159	0.0147	0.0138	0.0129	0.0122

A partir de los resultados obtenidos, la tipología que satisface las condiciones de deriva corresponde a columnas de 70x70cm y vigas de 40x90cm

Una vez determinada la tipología de columnas y vigas, seleccionando los respectivos valores indicados en las tablas de la NEC23 para factores y periodos de cortante mencionado previamente, el cortante basal de la estructura en toneladas es el siguiente.

Tabla 73. Cortante basal Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

# Piso	W (Ton)	h (m)
Piso 1	630.078	3.25
Piso 2	630.078	3.25
Piso 3	630.078	3.25
Piso 4	630.078	3.25
Piso 5	630.078	3.25
Piso 6	630.078	3.25
Piso 7	630.078	3.25
Piso 8	444.063	3.25
Total	4854.609	26

R	8
le	1

Coficiente	0.0865
-------------------	--------

V (Tn)	419.732
---------------	----------------

Finalmente, reemplazando los datos para cada piso, se obtienen la siguiente distribución de fuerzas laterales.

Tabla 74. Fuerzas Laterales Edf. 8 pisos NEC23 - Fracción carga sísmica

k	1.307
----------	-------

F1 (Tn)	7.523
F2 (Tn)	18.614
F3 (Tn)	31.623
F4 (Tn)	46.057
F5 (Tn)	61.653
F6 (Tn)	78.243
F7 (Tn)	95.707
F8 (Tn)	80.313

2.5. Costos

Para realizar el análisis de costos y poder determinar la variación en el costo de construcción de un edificio con la norma NEC15 y el borrador de la norma NEC23 se planteó los parámetros de costo de hormigón y acero. A continuación, se presenta los resultados obtenidos para la cantidad de hormigón y acero de cada edificación.

2.5.1. Edificio 4 Pisos

2.5.1.1. NEC15

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 4 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 75. Hormigón columnas 4 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	100	0.7	0.7	159.25
Total	100	-	-	159.25

Tabla 76. Hormigón vigas 4 Pisos NEC15

Vigas				
Longitud	5.3	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	160	0.5	0.7	296.8
Total	160	-	-	296.8

Tabla 77. Hormigón losas 4 Pisos NEC15

Losas				
Espesor	0.122	m		
Losas	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	64	6	6	281.088
Total	64	-	-	281.088

Tabla 78. Costo Hormigón Total 4 Pisos NEC15

Total		
Volumen Total	737.14	m ³
Costo Hormigón	109.15	m ³
Costo Total	\$ 80,458.6	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 4 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 79. Acero columnas 4 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m3		
Columna	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
C1	85	0.0049	1.3536	10625.96
C2	2	0.0056	0.0364	285.59
C3	2	0.0051	0.0332	260.79
C4	1	0.0051	0.0166	130.01
C5	2	0.0056	0.0364	285.84
C6	2	0.0051	0.0332	260.89
C7	1	0.0051	0.0166	130.04
C8	2	0.0056	0.0365	286.20
C9	2	0.0051	0.0333	261.50
C10	1	0.0051	0.0166	130.37
Total	100	-	-	12657.185

Tabla 80. Acero vigas 4 Pisos NEC15

Vigas				
Longitud	5.3	m		
Peso	7850	kg/m3		
Acero Superior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	160	0.00107	0.9048	7102.81
Total	160	-	-	7102.81
Acero Inferior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	160	0.00107	0.9048	7102.81
Total	160	-	-	7102.81

Tabla 81. Costo Acero Total 4 Pisos NEC15

Total		
Peso Total	26862.80	kg
Costo Acero	1.96	kg
Costo Total	\$ 52,651.1	

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 82. Costo Total Edificio 4 Pisos NEC15

Total Estructura	\$	133,109.69
Total Edificio	\$	331,766.72

2.5.1.2. NEC23

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 4 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 83. Hormigón columnas 4 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	100	0.7	0.7	159.25
Total	100	-	-	159.25

Tabla 84. Hormigón vigas 4 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.3	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	160	0.4	0.7	237.44
Total	160	-	-	237.44

Tabla 85. Hormigón losas 4 Pisos NEC23

Losa				
Espesor	0.122	m		
Losa	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	64	6	6	281.088
Total	64	-	-	281.088

Tabla 86. Costo Hormigón Total 4 Pisos NEC23

Total		
Volumen Total	677.78	m3
Costo Hormigón	109.15	m3
Costo Total	\$ 73,979.5	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 4 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 87. Acero columnas 4 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m3		
Columna	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
C1	100	0.0049	1.5925	12501.13
Total	100	-	-	12501.13

Tabla 88. Acero vigas 4 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.3	m		
Peso	7850	kg/m3		
Acero Superior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	160	0.00085	0.7233	5678.25
Total	160	-	-	5678.25
Acero Inferior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	160	0.00085	0.7233	5678.25
Total	160	-	-	5678.25

Tabla 89. Costo Acero Total 4 Pisos NEC23

Total		
Peso Total	23857.63	kg
Costo Acero	1.96	kg
Costo Total	\$ 46,760.9	

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 90. Costo Total Edificio 4 Pisos NEC23

Total Estructura	\$	120,740.42
Total Edificio	\$	319,397.44

2.5.2. Edificio 8 Pisos

2.5.2.1. NEC15

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 8 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 91. Hormigón columnas 8 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	200	0.8	0.8	416
Total	200	-	-	416

Tabla 92. Hormigón vigas 8 Pisos NEC15

Vigas				
Longitud	5.2	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	320	0.5	0.8	665.6
Total	320	-	-	665.6

Tabla 93. Hormigón losas 8 Pisos NEC15

Losas				
Espesor	0.122	m		
Losas	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	128	6	6	562.176
Total	128	-	-	562.176

Tabla 94. Costo Hormigón Total 8 Pisos NEC15

Total		
Volumen Total	1643.78	m3
Costo Hormigón	109.15	m3
Costo Total	\$ 179,418.2	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 8 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 95. Acero columnas 8 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m3		
Columna	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
C1	200	0.0064	4.1600	32656.00
Total	200	-	-	32656.00

Tabla 96. Acero vigas 8 Pisos NEC15

Vigas		
-------	--	--

Longitud	5.2	m
Peso	7850	kg/m3

Acero Superior

Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	320	-	-	16837.50

Acero Inferior

Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	320	-	-	16471.52

Tabla 97. Costo Acero Total 8 Pisos NEC15

Total		
-------	--	--

Peso Total	65965.02	kg
-------------------	----------	----

Costo Acero	1.96	kg
--------------------	------	----

Costo Total	\$ 129,291.4
--------------------	--------------

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 98. Costo Total Edificio 8 Pisos NEC15

Total Estructura	\$ 308,709.60
-------------------------	---------------

Total Edificio	\$ 734,608.13
-----------------------	---------------

2.5.2.2. NEC23

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 8 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 99. Hormigón columnas 8 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	200	0.6	0.6	234
Total	200	-	-	234

Tabla 100. Hormigón vigas 8 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.4	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	320	0.5	0.9	777.6
Total	320	-	-	777.6

Tabla 101. Hormigón losas 8 Pisos NEC23

Losas				
Espesor	0.122	m		
Losas	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	64	6	6	281.088
Total	64	-	-	281.088

Tabla 102. Costo Hormigón Total 8 Pisos NEC23

Total		
Volumen Total	1573.78	m3
Costo Hormigón	109.15	m3
Costo Total	\$ 171,777.7	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 8 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 103. Acero columnas 8 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m3		
Columna	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
C1	8	0.0039	0.1006	789.51
C2	8	0.0041	0.1077	845.25
C3	8	0.0039	0.1009	791.93
C4	8	0.0041	0.1077	845.25
C5	8	0.0039	0.1006	789.51
C6	8	0.0057	0.1480	1161.84
C7	8	0.0058	0.1503	1179.85
C8	8	0.0058	0.1504	1180.87
C9	8	0.0058	0.1503	1179.85
C10	8	0.0057	0.1480	1161.84
C11	8	0.0057	0.1479	1161.20
C12	8	0.0058	0.1514	1188.45
C13	8	0.0058	0.1517	1190.46
C14	8	0.0058	0.1514	1188.45
C15	8	0.0057	0.1479	1161.20
C16	8	0.0056	0.1467	1151.76
C17	8	0.0057	0.1495	1173.29
C18	8	0.0058	0.1495	1173.73
C19	8	0.0057	0.1495	1173.29
C20	8	0.0056	0.1467	1151.76
C21	8	0.0039	0.1015	796.81
C22	8	0.0039	0.1008	791.63
C23	8	0.0039	0.1007	790.86
C24	8	0.0039	0.1008	791.63
C25	8	0.0039	0.1015	796.81
Total	200	-	-	25607.05

Tabla 104. Acero vigas 8 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.4	m		
Peso	7850	kg/m3		
Acero Superior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	320	0.00140	2.4192	18990.72
Total	320	-	-	18990.72
Acero Inferior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
V1	320	0.00140	2.4192	18990.72
Total	320	-	-	18990.72

Tabla 105. Costo Acero Total 8 Pisos NEC23

Total		
Peso Total	63588.49	kg
Costo Acero	1.96	kg
Costo Total	\$ 124,633.4	

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 106. Costo Total Edificio 8 Pisos NEC23

Total Estructura	\$	296,411.09
Total Edificio	\$	722,309.62

2.5.3. Edificio 12 Pisos

2.5.3.1. NEC15

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 12 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 107. Hormigón columnas 12 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	156	0.8	0.8	324.48
Total	156	-	-	324.48

Tabla 108. Hormigón vigas 12 Pisos NEC15

Vigas				
Longitud	5.2	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	384	0.4	0.8	638.976
Total	384	-	-	638.976

Tabla 109. Hormigón losas 12 Pisos NEC15

Losas				
Espesor	0.122	m		
Losas	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	192	6	6	843.264
Total	192	-	-	843.264

Tabla 110. Hormigón muro 12 Pisos NEC15

Muro				
Espesor	0.55	m		
Losas	Cantidad	Largo	Alto	Volumen
L1	96	6	3.25	1029.6
Total	96	-	-	1029.6

Tabla 111. Costo Hormigón Total 12 Pisos NEC15

Total		
Volumen Total	2836.32	m ³
Costo Hormigón	109.15	m ³
Costo Total	\$ 309,584.3	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 12 pisos con NEC15 es la siguiente.

Tabla 112. Acero columnas 12 Pisos NEC15

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m ³		
Columna	Cantidad	Area (m²)	Volumen (m³)	Peso (kg)
C1	156	0.0064	3.2448	25471.68
Total	156	-	-	25471.68

Tabla 113. Acero vigas 12 Pisos NEC15

Vigas				
Longitud	5.2	m		
Peso	7850	kg/m3		
Acero Superior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	384	-	-	16269.36
Acero Inferior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	384	-	-	16183.61

Tabla 114. Costo Acero Total 12 Pisos NEC15

Total		
Peso Total	57924.64	kg
Costo Acero	1.96	kg
Costo Total	\$ 113,532.3	

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 115. Costo Total Edificio 12 Pisos NEC15

Total Estructura	\$ 423,116.62
Total Edificio	\$ 1,076,256.66

2.5.3.2. NEC23

Utilizando las tipologías de vigas y columnas seleccionadas previamente, la cantidad y el costo de hormigón necesario para la construcción del edificio de 12 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 116. Hormigón columnas 12 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Columna	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
C1-C10	156	0.4	0.4	81.12
Total	156	-	-	81.12

Tabla 117. Hormigón vigas 12 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.6	m		
Viga	Cantidad	Base	Altura	Volumen
V1	384	0.3	0.5	322.56
Total	384	-	-	322.56

Tabla 118. Hormigón losas 12 Pisos NEC23

Losas				
Espesor	0.122	m		
Losas	Cantidad	Largo	Ancho	Volumen
L1	64	6	6	281.088
Total	64	-	-	281.088

Tabla 119. Hormigón muro 12 Pisos NEC23

Muro				
Espesor	0.3	m		
Losas	Cantidad	Largo	Alto	Volumen
L1	96	6	3.25	561.6
Total	96	-	-	561.6

Tabla 120. Costo Hormigón Total 12 Pisos NEC23

Total		
Volumen Total	1808.54	m3
Costo Hormigón	109.15	m3
Costo Total	\$ 197,402.6	

La cantidad y el costo de acero necesario para la construcción del edificio de 12 pisos con NEC23 es la siguiente.

Tabla 121. Acero columnas 12 Pisos NEC23

Columnas				
Longitud	3.25	m		
Peso	7850	kg/m3		
Columna	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
C1	12	0.0016	0.0624	489.84
C2	12	0.0039	0.1537	1206.15
C3	12	0.0042	0.1657	1300.88
C4	12	0.0039	0.1537	1206.15
C5	12	0.0020	0.0788	618.47
C6	12	0.0043	0.1677	1316.80
C7	12	0.0044	0.1699	1333.54
C8	12	0.0043	0.1677	1316.80
C9	12	0.0020	0.0788	618.47
C10	12	0.0041	0.1604	1258.86
C11	12	0.0044	0.1718	1348.31
C12	12	0.0041	0.1604	1258.86
C13	12	0.0019	0.0736	577.76
Total	156	-	-	13850.91

Tabla 122. Acero vigas 12 Pisos NEC23

Vigas				
Longitud	5.6	m		
Peso	7850	kg/m3		
Acero Superior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	384	-	-	9156.23
Acero Inferior				
Viga	Cantidad	Area (m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Total	384	-	-	7762.68

Tabla 123. Costo Acero Total 12 Pisos NEC23

Total		
Peso Total	30769.82	kg
Costo Acero	1.96	kg
Costo Total	\$ 60,308.9	

El costo total de la edificación y estructura se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 124. Costo Total Edificio 12 Pisos NEC23

Total Estructura	\$	257,711.43
Total Edificio	\$	910,851.46

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, de manera general se puede concluir que el impacto del límite de deriva permitido y espectro de aceleraciones entre la NEC15 y el borrador de la NEC23 consiste en una disminución de la deriva inelástica que a su vez contribuye a la disminución de las tipologías de vigas y columnas, y a su vez al cortante basal y a la distribución de fuerzas en los pisos. Por otra parte, se pudo concluir que el límite de periodo de vibración máximo en la NEC15 tuvo un mayor impacto en la tipología a utilizarse ya que para cumplir con este requisito, se debe aumentar significativamente el tamaño de vigas, columnas y muros. Esto se pudo evidenciar claramente en el edificio de 12 pisos donde se observa que, aunque todas las tipologías de vigas y columnas satisfacían derivas, no se cumplía con el requisito de periodo de vibración. De igual manera, se pudo concluir que el aumento del 25% de la carga viva en la masa sísmica para el borrador de la NEC23, no tuvo un impacto significativo en la deriva inelástica obtenida pudiendo utilizarse las mismas tipologías de vigas y columnas que en un modelo sin el 25% de aumento. Con respecto al costo de construcción de las edificaciones, tomando en consideración lo establecido en la sección de metodología, se pudo concluir que para el edificio de 4 pisos, diseñar con el borrador de la NEC23 contribuye a una reducción de costos del 5.67% con respecto a NEC15. En el caso de los edificios de 8 y 12 pisos se obtuvo una reducción del 3.98% y 39.09% respectivamente. Por lo tanto, se pudo concluir que el impacto de la reducción de tamaños de vigas y columnas y consiguientemente del costo, será mayor en edificaciones con muros estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guerra Avendaño, M. (2020). *Diseño Sismo resistente de edificios de hormigón armado utilizando ETABS* (Primera Edición).

Awad, R. R. (2012). Análisis y diseño sísmico de edificios. Universidad EAFIT.

Revista Construcción. (2022, April). Camara De La Industria De La Construcción, 276.

Engineers, A. S. O. C. (2022). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. ASCE Press.

Moehle, J. (2014). Seismic design of reinforced concrete buildings. McGraw-Hill Education.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). Diseño de concreto reforzado. Alpha Editorial.

Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). Reinforced concrete: Mechanics and Design.

Prentice Hall.

Committee, A. (2019). ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural concrete (ACI 318-19) and commentary (ACI 318R-19).

Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 (Primera). (2016).

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/GUIA-2-HORMIGON-ARMADO-.pdf>

NEC-PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE. (2014).

NEC-CARGAS (NO SÍSMICAS). (2014).

NEC-ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. (2014).

ANEXO A: COMPROBACION PESOS

Partiendo del modelo de 1 piso realizado, se duplico los pisos en el software y se modificó los valores de carga muerta y carga viva para la cubierta y entrepiso del edificio. Una vez realizado esto, se corrió el modelo y verifíco nuevamente el peso de la estructura.

Output Case	Case Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m	X m	Y m
D	LinStatic	0	0	1692600	20311200	-20311200	0	0	0

Figura 49. Peso estructura

Obteniéndose el mismo valor en la comprobación manual y en el software tal como se muestra a continuación.

Vigas			Columnas			Losas con CM			Losas con CM Cubierta		
Peso Hormigón	2400	kg/m ³	Peso Hormigón	2400	kg/m ³	Peso Hormigón	2400	kg/m ³	Peso Hormigón	2400	kg/m ³
b	30	cm	b	50	cm	h	12.2	cm	h	12.2	cm
h	50	cm	h	50	cm	Peso	560	kg/m ²	Peso	370	kg/m ²
l	5.5	m	l	3.25	m	L1	6	m	L1	6	m
Volumen	0.825	m ³	Volumen	0.8125	m ³	L2	6	m	L2	6	m
Peso	1980	kg	Peso	1950	kg	Volumen	36	m ³	Volumen	36	m ³
Cantidad	40	u	Cantidad	25	u	Peso	20160	kg	Peso	13320	kg
Peso total	79200	kg	Peso total	48750	kg	Cantidad	16	u	Cantidad	16	u
						Peso total	322560	kg	Peso total	213120	kg
Peso Total Por Piso Vigas y Columnas	127950	kg									
Peso Total Edificio 4 Pisos	1692600	kg									

Tabla 50. Comprobación peso estructura

ANEXO B: ALTURA LOSA

Para obtener el valor de la altura de losa, se siguió el procedimiento establecido en la normativa ACI 318-19. Para ello, primero se calculo el valor de α_{fm} .

Viga		Losa	
b (cm)	30	b (cm)	300
h (cm)	50	h (cm)	5

hf (cm)	5
bw (cm)	30
hb (cm)	45

hb	45
4hf	20
Condicion	FALSO

Datos de entrada		
Figura	1	2
b (cm)	30	50
h (cm)	45	5

Centroide		
Figura	1	2
Area (cm ²)	1350	250
y (cm)	22.5	47.5
\bar{y} (cm)	26.41	

Inercia		
Figura	1	2
d (cm)	3.91	21.09
I (cm ⁴)	227812.50	520.83
A x d ² (cm ⁴)	20599.37	111236.57
I (cm ⁴)	360169.27	

Ecb (kg/cm ²)	233928.194
Ecs (kg/cm ²)	233928.194
Ib (cm ⁴)	360169.27
Is (cm ⁴)	76250.00

α_{fm}	4.72353142
---------------	------------

Datos de entrada Losa		
Figura	1	2
b (cm)	10	50
h (cm)	15	5

Centroide		
Figura	1	2
Area (cm ²)	150	250
y (cm)	7.5	17.5
\bar{y} (cm)	13.75	

Inercia		
Figura	1	2
d (cm)	6.25	3.75
I (cm ⁴)	2812.50	520.83
A x d ² (cm ⁴)	5859.38	3515.63
I (cm ⁴)	12708.33	
I Total (cm ⁴)	76250	

Figura 51. Calculo α_{fm}

Luego, se revisa las condiciones y se aplica el valor dependiendo del caso para obtener la altura de la losa.

Condicion $bw+2hb>bw+8hf$

Caso 1: $\alpha_{fm} < 0.2$	
h (cm)	Tabla

Caso 2: $0.2 < \alpha_{fm} < 2$	
I _n (mm)	5500
f _y (Mpa)	420
β	1
α_{fm}	4.72353142
h (cm)	12.50

Caso 3: $\alpha_{fm} > 2$	
I _n (mm)	5500
f _y (Mpa)	420
β	1
α_{fm}	4.72353142
h (cm)	13.44

Figura 52. Calculo altura losa

Haciendo uso de este valor, se calcula la altura equivalente de losa alivianada.

Losa alivianada 25 cm

	Losa	Casetón
Alto (m)	1	0.4
Ancho (m)	1	0.4
Espesor (m)	0.25	0.2
Area (m²)	0.25	0.032

Area Alivianada	0.122	m ²
Peso Hormigón	2400	kg/m ³
Peso Losa	292.8	kg/m²

Figura 53. Calculo losa equivalente

Finalmente, haciendo uso del peso de la losa se calcula la altura de losa equivalente.

Alto	1	m
Ancho	1	m
Peso Hormigón	2400	kg/m ²

Altura Equivalente	0.122	m
---------------------------	--------------	----------

Figura 54. Calculo altura equivalente

ANEXO C: CRITERIO DE CARGA

Para establecer los valores del criterio de carga se tomó en consideración los siguientes valores para el peso de la losa alivianada, paredes y su distribución de peso en el largo y ancho de cada vano del edificio.

Losa alivianada

	Losa	Casetón
Alto (m)	1	0.4
Ancho (m)	1	0.4
Espesor (m)	0.25	0.2
Area (m²)	0.25	0.032

Area Alivianada	0.122	m ²
Peso Hormigón	2400	kg/m ³
Peso Losa	292.8	kg/m²

Paredes

	Pared	Recubrimiento	
Alto (m)	1	1	
Ancho (m)	1	1	
Espesor (m)	0.15	0.01	
Area (m²)	0.15	0.01	

Area Total	0.15	0.02	m ²
Peso	1000	2000	kg/m ³
Peso Total	150	40	kg/m ²

Peso Total Pared + Recubrimiento	190	kg/m ²
---	-----	-------------------

Distribución Peso Paredes

	Pared	
Largo (m)	6	
Ancho (m)	6	
Altura (m)	3.25	

Perímetro	24	m
Area Lat	39	m ²
Area Sup	36	m ²

Peso Pared	7410	kg
Peso Pared	205.83	kg/m ²

Figura 55. Calculo pesos estructura

Obteniéndose los siguientes valores para la carga muerta y viva de los edificios tanto en entrepiso como en cubierta.

Entrepiso

Carga Muerta

Categoría	Valor	Unidad
Peso propio losa alivianada h=25cm (Casetones de 40x40x20)	292.8	kg/m ²
Recubrimiento de piso (2cm de mortero y cerámico)	40	kg/m ²
Paredes ladrillo 40-50% huecos	200	kg/m ²
Cielo raso	10	kg/m ²
Instalaciones	15	kg/m ²
Carga muerta entrepiso	557.8	kg/m ²
Carga muerta entrepiso ajustada	560	kg/m ²

Carga Viva

Categoría	Valor	Unidad
Carga viva edificio de apartamentos	200	kg/m ²

Cubierta

Carga Muerta

Categoría	Valor	Unidad
Peso propio losa alivianada h=25cm (Casetones de 40x40x20)	292.8	kg/m ²
Recubrimiento e impermeabilizante	40	kg/m ²
Cielo raso	10	kg/m ²
Instalaciones	15	kg/m ²
Equipos	10	kg/m ²
Carga muerta cubierta	367.8	kg/m ²
Carga muerta cubierta ajustada	370	kg/m ²

Carga Viva

Categoría	Valor	Unidad
Carga viva edificio de apartamentos	70	kg/m ²

Figura 56. Criterio de carga