



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA
DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES PARA UNA
EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

Autores: Marcelo Fernando Cerna Cruz

Anshelo Guillermo Cordero Meza

Tutor: Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2025

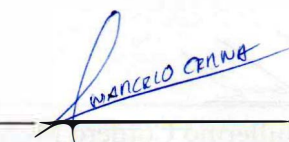
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marcelo Fernando Cerna Cruz con documento de identificación N° 0956456479 y Anshelo Guillermo Cordero Meza con documentación N° 0202132395; manifestamos que:

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

Guayaquil, 15 de enero del año 2025

Atentamente,



Marcelo Fernando Cerna Cruz

C.I 0956456479



Anshelo Guillermo Cordero Meza

C.I 020213239

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

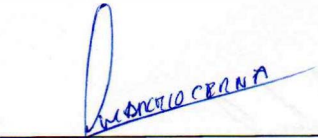
Nosotros, Marcelo Fernando Cerna Cruz con documento de identificación N° 0956456479 y Anshelo Guillermo Cordero Meza con documentación N° 0202132395, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico:

“EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES PARA UNA EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”, el cual ha sido desarrollado por optar el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 15 de enero del año 2025

Atentamente,



Marcelo Fernando Cerna Cruz

C.I 0956456479



Anshelo Guillermo Cordero Meza

C.I 020213239

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES PARA UNA EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”, realizado por Marcelo Fernando Cerna Cruz con documento de identificación N° 0956456479 y Anshelo Guillermo Cordero Meza con documentación N° 0202132395, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de enero del año 2025

Atentamente,

Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc

C.I 1205363326

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico a Dios por guiar mi camino durante todo mi proceso universitario, principalmente a mi madre Elsa Cruz por el apoyo y comprensión constante a lo largo de mi carrera universitaria, a mi padre por ser el principal motivador e inspirador, brindandome su ayuda y guiandome en todo momento para llegar a convertirme en un buen ingeniero civil, además de enseñarme que la responsabilidad, honestidad y respeto son valores que debo llevar conmigo por el resto de mi larga vida. A mis dos hermanos que me han apoyado en momentos de cansancio y estrés, a mis abuelos que me han dado todo su amor y consejos que me han servido hasta la actualidad, por último a toda mi familia los que me han dejado mensajes de apoyo y me dieron motivación para esforzarme día a día y convertirme en un buen profesional.

Marcelo Fernando Cerna Cruz

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico en primer lugar a Dios, quien es la base de mi vida y en segundo lugar a mis padres, Anshelo Cordero y Janeth Meza, por su amor incondicional y por enseñarme el valor de la perseverancia. A mi hermana Leslie Cordero, por su apoyo constante y por celebrar cada uno de mis logros, por último, a toda mi familia, mi refugio, mi mayor motivación ya que por ellos puedo superarme más cada día.

Anshelo Guillermo Cordero Meza

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a mis padres por enseñarme que en la vida no todo saldrá bien y siempre tendremos momentos difíciles en los que debo actuar maduramente, por enseñarme que el sacrificio y el esfuerzo da resultados, no en el momento sino a largo plazo, que el esfuerzo es lo primordial para convertirme en un buen profesional, motivándome y enseñándome valores que llevare por siempre. A mi familia en general por apoyarme siempre en los buenos y malos momentos, su ayuda me ha servido para seguir adelante. A mi mejor amigo que casi no nos vemos porque estudiamos en diferentes universidades pero siempre ha estado en los momentos en los que necesite una ayuda externa a mi familia y me ha apoyado en todo lo que estuvo a su alcance.

Le agradezco a mi tutor por su excelente trabajo y dedicación al momento de guiarnos para realizar de manera correcta nuestro trabajo de titulación, gracias por ser un buen profesional y excelente docente, y por último gracias a mi compañero de titulación, que pese a conocernos hace poco tiempo hemos creado una buena amistad y nos hemos apoyado a lo largo de este poco tiempo, deseándole lo mejor para su vida profesional.

Marcelo Fernando Cerna Cruz

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por su amor infinito y por ser mi refugio en todo momento. A mi padre, por su sabiduría y por enseñarme a ser fuerte en todo momento. A mi hermana que con su motivación me ayudo a seguir adelante. A mis abuelitos/as que siempre me apoyaron con sus consejos, a mi novia quien con su paciencia me ha acompañado en todo este tiempo y a toda mi familia que confió en mí y nunca me dejaron solo.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional. Por último, a mi compañero de titulación quien me ha brindado su ayuda y comprensión durante todo este proceso.

Anshelo Guillermo Cordero Meza

RESUMEN

La ciudad de Guayaquil se encuentra ubicada en una zona altamente sísmica, por lo cual, es necesario conocer y comprender el comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos. El siguiente trabajo tiene como objetivo evaluar la interacción de una edificación empleando zapatas aisladas utilizando un método conocido como la interacción suelo-estructura (ISE), priorizando la seguridad estructural y realizar una comparativa de los resultados como, períodos de vibración, fuerzas cortantes en la base, desplazamientos de techo, derivas de piso.

La aplicación de realizar análisis dinámicos considerando la interacción suelo-estructura (ISE), modifica el comportamiento sísmico de las estructuras, el comportamiento de la estructura depende en su mayoría del tipo de suelo que se emplea para el análisis. Se realizará la comparación de la estructura, de tres modelos distintos, un modelo empleando el modelo dinámico D.D. Barkan, el segundo modelo empleando la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, ambos modelos considerando ISE y por último un modelo considerando la cimentación y el suelo como completamente rígidos conocido como enfoque tradicional, con el fin de examinar los resultados respecto a la modificaciones en cada modelo estudiado, esto nos permitirá conocer y comprender como la estructura se comporta realmente.

Como resultado se obtuvo que el modelo dinámico más influyente es el modelo dinámico de la Norma Rusa, esto al realizar el análisis estructural de cada modelo planteado. El modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 tuvo una mayor influencia aumentando los periodos de vibración en un 11.55 % respecto al modelo analizado con base empotrada, en los resultados de fuerzas cortantes se aumentó en una 2.56%, respecto a los resultados de desplazamiento de techo se observó un aumento del 18.86% en

comparativa del modelo empotrado, y para finalizar en las derivas de piso en sentido X aumento un 16.40% y en sentido Y aumento un 15.98%.

Este estudio contribuye de manera significativa al campo académico y la práctica profesional de la ingeniería estructural al establecer otros tipos de criterios de diseño y no manejarnos de una manera tradicional o errónea como actualmente se lo realiza respecto a edificaciones en suelos con poca rigidez los cuales se ven afectados por los efectos sísmicos, además de dar recomendaciones para futuros proyectos relacionados con el estudio.

Palabras clave: Interacción suelo – estructura, análisis dinámicos, períodos de vibración, derivas de piso, desplazamientos de techo.

ABSTRACT

The city of Guayaquil is located in a highly seismic area, therefore, it is necessary to know and understand the behavior of the structure in the event of seismic events. The following work aims to evaluate the interaction of a building using isolated footings using a method known as soil-structure interaction (ISE), prioritizing structural safety and making a comparison of the results such as vibration periods, shear forces at the base, roof displacements, floor drifts.

The application of dynamic analysis considering soil-structure interaction (ISE) modifies the seismic behavior of structures, the behavior of the structure depends mostly on the type of soil used for the analysis. The structure will be compared with three different models, a model using the dynamic model D.D. Barkan, the second model using the Russian Standard SNIP 2.02.05-87, both models considering ISE and finally a model considering the foundation and the soil as completely rigid known as the traditional approach, in order to examine the results regarding the modifications in each model studied, this will allow us to know and understand how the structure really behaves.

As a result, it was obtained that the most influential dynamic model is the dynamic model of the Russian Standard, this by performing the structural analysis of each model proposed. The dynamic model Russian Standard SNIP 2.02.05-87 had a greater influence by increasing the vibration periods by 11.55% compared to the analyzed model with embedded base, in the results of shear forces it increased by 2.56%, regarding the results of roof displacement an increase of 18.86% was observed in comparison of the embedded model, and finally in the floor drifts in the X direction it increased by 16.40% and in the Y direction it increased by 15.98%.

This study contributes significantly to the academic field and the professional practice of structural engineering by establishing other types of design criteria and not handling it in a traditional or erroneous way as it is currently done with respect to buildings on soils with little rigidity which are affected by seismic effects, in addition to giving recommendations for future projects related to the study.

Keywords: Soil-structure interaction, dynamic analysis, vibration periods, floor drifts, roof displacements.

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
DEDICATORIA.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	30
1.2. Problema de estudio	33
Justificación.....	35
1.3. Objetivos.....	36
1.3.1. Objetivo General.....	36
1.3.2. Objetivos Específicos	37
1.4. Hipótesis	38
1.5. Variables.....	38
1.5.1. Variable Independiente.....	38

1.5.2.	Variable Dependiente	38
1.6.	Alcance	38
1.7.	Limitaciones	39
1.8.	Ideas.....	39
2.	MARCO TEÓRICO.....	40
2.1.	Peligrosidad Sísmica en el Ecuador	40
2.2.	Peligrosidad Sísmica en la ciudad de Guayaquil.....	42
2.3.	Zapatas Aisladas	43
2.4.	Interacción Suelo – Estructura.....	44
2.5.	Estudio Geotécnico.....	47
2.6.	Modos de Vibración de un edificio	49
2.7.	Proceso de Licuefacción.....	49
2.8.	Comportamiento dinámico	51
2.9.	Análisis Modal Espectral.....	53
3.	METODOLOGÍA	55
3.1.	Primera Fase	55
3.1.2.	Parámetros elásticos y Geomecánicos.....	55
3.1.3.	Dimensiones de planta y elevación	56
3.1.4.	Características geotécnicas para los tipos de suelo	57
3.1.5.	Secciones de elementos estructurales	58
3.1.6.	Acción sísmica.....	59

3.1.6.1.	Determinar el Período de Vibración estimado de la estructura	59
3.1.6.2.	Determinar el valor del Factor Z	61
3.1.6.3.	Determinar el tipo de perfil de suelo para el Diseño Sísmico	62
3.1.6.4.	Determinar la categoría del edificio, coeficiente de importancia I y valor de R.....	64
3.1.6.5.	Determinar los componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño	64
3.1.6.6.	Curva de Espectro de diseño	66
3.1.7.	Análisis dinámico	66
3.2.	Segunda Fase – Cálculos de Modelos Dinámicos	67
3.2.1.	Modelo Dinámico D.D. Barkan – O.A. Saninov.....	67
3.2.2.	Calcular las Masas Traslacionales de las zapatas	67
3.2.3.	Calcular las Masas Rotacionales de las zapatas	68
3.2.4.	Cálculos de Pesos y Área de cada Zapata	69
3.2.5.	Cálculo de Presión Estática para cada Zapata	69
3.2.6.	Coeficiente Po	71
3.2.7.	Calcular Coeficiente Do	71
3.2.8.	Calcular los Coeficientes de Compresión y Desplazamiento	72
3.2.9.	Determinar los Coeficientes de Rigidez de Desplazamiento y Compresión ..	75
3.2.10.	Modelo Norma Rusa SNIP 2.02.05	77
3.2.11.	Calcular las Masas Traslacionales de las zapatas	77

3.2.12.	Calcular las Masas Rotacionales de las zapatas	78
3.2.13.	Coeficiente b_0	79
3.2.14.	Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme.....	79
3.2.15.	Cálculo de Coeficientes de Desplazamiento Elástico Uniforme, Compresión Elástica no Uniforme, Desplazamiento Elástico no Uniforme.....	80
3.2.16.	Cálculo de Coeficientes de Rigidez.....	81
3.2.17.	Cálculo del Parámetro de Amortiguamiento B_z	83
3.2.18.	Cálculo del Parámetro de la Amortiguación Relativa en Arcilla Blanda	84
3.2.19.	Cálculo del Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación.....	86
3.3.	Tercera Fase.....	89
3.3.1.	Modelamiento de la Estructura en ETABS y analizar modelo Empotrado	89
3.3.2.	Establecer el sistema métrico, diseño de código de acero y hormigón.	89
3.3.3.	Crear las rejillas o ejes en base a la estructura a analizar.	90
3.3.4.	Definir los materiales.....	91
3.3.5.	Definir los casos de cargas.	92
3.3.6.	Crear la función del espectro.	92
3.3.7.	Generar sismo dinámico.	93
3.3.8.	Generar mass source.	94
3.3.9.	Crear las secciones de los elementos.	94
3.3.10.	Colocación de columnas, vigas y losas.	98

3.3.11.	Seleccionar apoyos en columnas.	98
3.3.12.	Colocar las cargas en las losas.....	99
3.3.13.	Colocar Diafragmas.....	100
3.3.14.	Resultados – Modelo Empotrado	101
3.4.	Tercera Fase.....	107
3.4.1.	Modelo Dinámico – D.D. Barkan – Resultado.....	108
3.4.2.	Modelo Dinámico – Norma Rusa – Resultado.....	117
3.5.	Cuarta Fase – Comparativa de Resultados	128
4.	Conclusión.....	132
5.	Bibliografía.....	134
6.	Anexos.....	138

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de ensayos geotécnicos	32
Ilustración 2. Ubicación de ensayos geotécnicos	33
Ilustración 3. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y el valor del factor de zona Z	41
Ilustración 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	41
Ilustración 5. Tipo de zapatas aisladas.....	43
Ilustración 6. Coeficiente de Rigidez y Amortiguamiento para Zapatas Aisladas	45
Ilustración 7. Modos de vibración de un edificio	49
Ilustración 8. Modos de vibración de una edificación.....	54
Ilustración 9. Plano de Planta de la Estructura	56
Ilustración 10. Plano de Elevación de la Estructura	57
Ilustración 11. Componentes para determinar el período de Vibración	60
Ilustración 12. Poblaciones ecuatorianas y valor del Factor Z	61
Ilustración 13. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	61
Ilustración 14. Clasificación de los perfiles de suelo	62
Ilustración 15. Tipo de Suelo y factores de sitio F_a	62
Ilustración 16. Tipo de Suelo y factores de sitio F_d	63
Ilustración 17. Tipo de Suelo y factores de sitio F_s	63

Ilustración 18. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	64
Ilustración 19. Curva de Espectro de diseño	66
Ilustración 20. Coeficiente C_o	72
Ilustración 21. Estructura considerando Enfoque Tradicional	89
Ilustración 22. Sistema métrico, diseño de código de acero y hormigón	89
Ilustración 23. Sistema de rejillas o ejes.....	90
Ilustración 24. Definir Hormigón	91
Ilustración 25. Definir Acero	91
Ilustración 26. Definir casos de cargas	92
Ilustración 27. Crear la función del espectro	92
Ilustración 28. Sismo Dinámico X	93
Ilustración 29. Sismo Dinámico Y.....	93
Ilustración 30. Generar Mass Source.....	94
Ilustración 31. Creación de sección de vigas longitudinales	94
Ilustración 32. Creación de sección de vigas transversales	95
Ilustración 33. Creación de sección de columnas esquineras.....	95
Ilustración 34. Creación de sección de Columnas Laterales	96
Ilustración 35. Creación de sección de Columnas Laterales	96
Ilustración 36. Creación de sección de Columnas Centrales.....	97

Ilustración 37. Creación de sección de Losa Alivianada	97
Ilustración 38. Colocación de columnas, vigas y losas	98
Ilustración 39. Colocar apoyos empotrados en las columnas.....	98
Ilustración 40. Colocar la sobrecarga en la losa	99
Ilustración 41. Colocar la carga viva – Piso 1-2-3	99
Ilustración 42. Colocar la carga viva – Piso 4	100
Ilustración 43. Colocar los diafragmas – Piso 1-2-3-4	100
Ilustración 44. Períodos de Vibración – Modelo Empotrado	101
Ilustración 45. Fuerzas Cortantes en la Base - Empotrado.....	101
Ilustración 46. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X.....	102
Ilustración 47. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico Y	102
Ilustración 48. Derivas – Sismos Estáticos.....	103
Ilustración 49. Derivas – Sismos Dinámicos.....	103
Ilustración 50. Revisión de derivas – Modelo Empotrado	104
Ilustración 51. Revisión de aceros – Modelo Empotrado.....	104
Ilustración 52. Revisión de aceros en Columnas – Modelo Empotrado.....	105
Ilustración 53. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo Empotrado	105
Ilustración 54. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo Empotrado	106
Ilustración 55. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – Modelo Empotrado	106

Ilustración 56. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo Empotrado	107
Ilustración 57. Estructura considerando ISE	107
Ilustración 58. Point Spring Properties.....	108
Ilustración 59. Definir los resortes para las Zapatas Esquinas	109
Ilustración 60. Definir los resortes para las Zapatas Laterales	109
Ilustración 61. Definir los resortes para las Zapatas Centrales.....	110
Ilustración 62. Colocación de resortes en cada Zapata.....	110
Ilustración 63. Períodos de Vibración – Modelo D.D. Barkan.....	111
Ilustración 64. Fuerzas Cortantes en la Base – D.D. Barkan.....	111
Ilustración 65. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X.....	112
Ilustración 66. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico Y	112
Ilustración 67. Derivas – Sismos Estáticos.....	113
Ilustración 68. Derivas – Sismos Dinámicos.....	113
Ilustración 69. Revisión de derivas – Modelo D.D. Barkan.....	113
Ilustración 70. Revisión de aceros – Modelo D.D. Barkan	114
Ilustración 71. Revisión de aceros en Columnas – Modelo D.D. Barkan	114
Ilustración 72. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo D.D. Barkan	115
Ilustración 73. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo D.D. Barkan	115
Ilustración 74. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – Modelo D.D. Barkan	116

Ilustración 75. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo D.D. Barkan	116
Ilustración 76. Definir los resortes para las Zapatas Esquinas	117
Ilustración 77. Definir los resortes para las Zapatas Laterales	118
Ilustración 78. Definir los resortes para las Zapatas Centrales.....	119
Ilustración 79. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Esquinas	120
Ilustración 80. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Lateral.	120
Ilustración 81. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Centrales	121
Ilustración 82. Períodos de Vibración – Modelo Norma Rusa	121
Ilustración 83. Fuerzas Cortantes en la Base – Norma Rusa.....	122
Ilustración 84. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X.....	122
Ilustración 85. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico Y	123
Ilustración 86. Derivas – Sismos Estáticos.....	123
Ilustración 87. Derivas – Sismos Dinámicos.....	124
Ilustración 88. Revisión de derivas – Modelo Norma Rusa	124
Ilustración 89. Revisión de aceros – Modelo Norma Rusa	125
Ilustración 90. Revisión de aceros en Columnas – Modelo Norma Rusa	125
Ilustración 91. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo Norma Rusa.....	126

Ilustración 92. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo Norma Rusa.....	126
Ilustración 93. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – Modelo Norma Rusa.....	127
Ilustración 94. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo Norma Rusa.....	127
Ilustración 95. Comparación de períodos de vibración	129

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros elásticos y Geomecánicos	55
Tabla 2. Características Geotécnicas para los tipos de suelo.....	57
Tabla 3. Secciones de las Vigas Longitudinales y Transversales	58
Tabla 4. Secciones de las Columnas	58
Tabla 5. Secciones de las Zapatas.....	59
Tabla 6. Verificación de la Cortante Basal.....	67
Tabla 7. Masas Traslacionales de las Zapatas.....	68
Tabla 8. Masas Rotacionales de las Zapatas	69
Tabla 9. Pesos y Áreas de cada Zapata	69
Tabla 10. Pesos de cada piso de la Estructura	70
Tabla 11. Área Tributaria de las Columnas	71
Tabla 12. Presión Estática de las Zapatas	71
Tabla 13. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Esquineras	74
Tabla 14. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Laterales	74
Tabla 15. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Centrales	74
Tabla 16. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Esquineras.....	76
Tabla 17. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamientos de Zapatas Laterales.....	76

Tabla 18. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Centrales	77
Tabla 19. Masas Traslacionales de las Zapatas.....	77
Tabla 20. Masas Rotacionales de las Zapatas	78
Tabla 21. Coeficientes de Compresión Elástica de las Zapatas.....	80
Tabla 22. Cálculo de Coeficientes de Desplazamiento Elástico Uniforme, Compresión Elástica no Uniforme, Desplazamiento Elástico no Uniforme.....	81
Tabla 23. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Esquineras	82
Tabla 24. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Laterales	82
Tabla 25. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Centrales	83
Tabla 26. Parámetro de Amortiguamiento de las Zapatas	84
Tabla 27. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Esquineras	85
Tabla 28. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Laterales	85
Tabla 29. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Centrales.....	85
Tabla 30. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación - Zapatas Esquineras.....	87
Tabla 31. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación - Zapatas Laterales.....	87
Tabla 32. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación – Zapatas Centrales	88

Tabla 33. Comparativa de Períodos de Vibración	128
Tabla 34. Comparativa de las Fuerzas Cortantes en la Base	129
Tabla 35. Comparativa de los Desplazamientos de Techo	130
Tabla 36. Comparativa de las Derivas de Piso	131

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Período de Vibración	59
Ecuación 2. Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño – T_0	64
Ecuación 3. Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño – T_c	65
Ecuación 4. Respuesta inelástica de aceleraciones.....	65
Ecuación 5. Masas traslacionales de las zapatas	67
Ecuación 6. Masa rotacional respecto a eje X	68
Ecuación 7. Masa rotacional respecto a eje Y	68
Ecuación 8. Masa rotacional respecto a eje Z	68
Ecuación 9. Peso de Zapata	69
Ecuación 10. Área de Zapata	69
Ecuación 11. Presión Estática.....	70
Ecuación 12. Coeficiente D_0	72
Ecuación 13. Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme: $C_x - C_y$	73
Ecuación 14. Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\phi x}$	73
Ecuación 15. Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\phi y}$	73
Ecuación 16. Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme: K_z	75
Ecuación 17. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme: $K_x - K_y$	75

Ecuación 18. Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme: $K_{\varphi x}$	75
Ecuación 19. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme: $K_{\varphi y}$	75
Ecuación 20. Coeficiente de compresión elástica uniforme: C_z	75
Ecuación 21. Masas traslacionales de las zapatas	77
Ecuación 22. Masa rotacional respecto a eje X	78
Ecuación 23. Masa rotacional respecto a eje Y	78
Ecuación 24. Masa rotacional respecto a eje Z	78
Ecuación 25. Coeficiente bo	79
Ecuación 26. Coeficiente de compresión elástica uniforme: C_z	79
Ecuación 27. Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme: C_x	80
Ecuación 28. Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\varphi x}$	80
Ecuación 29. Coeficiente de desplazamiento elástico no uniforme: C_{ψ}	80
Ecuación 30. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme: $K_x - K_y$	81
Ecuación 31. Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme: K_z	81
Ecuación 32. Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme: $K_{\varphi x}$	81
Ecuación 33. Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme: $K_{\varphi y}$	81
Ecuación 34. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme: $K_{\psi z}$	82
Ecuación 35. Vibraciones Verticales: B_z	83

Ecuación 36. Presión Estática Media en la base de la Cimentación.....	84
Ecuación 37. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas: $\beta_x - \beta_x$	84
Ecuación 38. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas: $\beta_{\varphi x} - \beta_{\varphi y}$	84
Ecuación 39. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas: $\beta_{\psi z}$	84
Ecuación 40. Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación: $B_x = B_y$	86
Ecuación 41. Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación: B_z ..	86
Ecuación 42. Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación: $B_{\varphi x}$..	86
Ecuación 43. Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación: $B_{\varphi y}$..	86
Ecuación 44. Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación: $B_{\psi z}$..	86

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador forma parte del cinturón de fuego del pacífico, una de las regiones con mayor potencial sísmico a nivel mundial debido a que en el cinturón de fuego del pacífico se libera la mayor cantidad de energía sísmica en todo el planeta, (Yepes y otros, 1994) resalta que: la sismicidad a nivel del Ecuador es consecuencia de la convergencia entre la placa Nazca y la placa Sudamericana.

De acuerdo con el trabajo realizado por (Theurer y otros, 2017), realizaron una recopilación de los terremotos más importantes entre 1900 hasta 1970, entre los cuales aparecen los siguientes: Gran terremoto de esmeraldas de 1906; Sismo de Santa Elena en 1933; Sismo de Pedernales de 1942; Sismo de Esmeraldas en 1944; Terremoto de Ambato de 1949; Sismo de Golfo de Guayaquil y Huaquillas; Sismo de Quito de 1955; Sismo de Bahía de Caráquez de 1956; Terremoto Limite Ecuador – Colombia de 1958; Primera réplica del gran sismo de Esmeraldas 1958; Segunda réplica del gran sismo de Esmeraldas 1958; Tercera réplica del gran sismo de Esmeraldas 1958; Sismo del Golfo de Guayaquil de 1959; Sismo de Pastaza de 1961; Morona Santiago 1963; Sismo de Quito de 1965; Sismo de Huaquillas de 1970.

En la ciudad de Guayaquil las construcciones de edificaciones de hormigón armado están en aumento, debido a esto, es de vital importancia realizar diseños y modelamientos estructurales que garanticen la seguridad estructural, además de ser lo más económico posible. Los daños en este tipo de edificaciones a causa de eventos sísmicos corresponden en mayor parte al tipo de suelo y a las condiciones geotécnica, de este punto nace la necesidad de realizar un estudio considerando la ISE, es decir, considerar la interacción

real del suelo-estructura, el estudiar de forma aislada la estructura es un enfoque erróneo debido a que no sucede de esta forma en la realidad.

En la actualidad la mayoría de análisis dinámicos y diseños de edificaciones sismorresistentes son elaborados tomando un enfoque tradicional, donde se asume que la cimentación esta empotrada en el suelo, esto restringe que los seis grados de libertad de la cimentación y de la estructura, refiriéndose al movimiento en un espacio tridimensional, es decir, el movimiento hacia delante y atrás, arriba y abajo e izquierda y derecha. Los análisis dinámicos muchas veces son realizados considerando la base de estructura como un elemento completamente empotrado, tal como (Raúl Oliveira, 2023) resalta: las condiciones dinámicas del suelo y flexibilidad de la cimentación son factores que condicionan la respuesta estructural de las edificaciones. En la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) actualmente no presenta información necesaria respecto a consideraciones para realizar un análisis dinámico considerando la interacción suelo-estructura.

La ISE es un tema poco estudiado en la ingeniería, en los últimos años este ha tomado más relevancia debido a la necesidad de conocer el comportamiento real de las estructuras ante eventos sísmicos. Los análisis considerando ISE dependen de factores importantes como el tipo de cimentación, así como sus dimensiones, el tipo de suelo que en la mayoría de investigaciones o trabajos realizados aplicado la ISE son en suelo flexibles como las arcillas, el sistema estructural, geometría de la estructura, etc.

De acuerdo con el artículo de investigación realizado por (Jiménez y otros, 2017), el perfil estratigráfico del suelo de la ciudad de Guayaquil no es homogéneo, es decir que son suelos que no presentan mismas características o propiedades, la ciudad se caracteriza por

estar constituida mayoritariamente por diferentes capas de suelo arcillosos, limosos, de arenisca o de origen volcánico, como consecuencia estos tendrán diferentes características provocando diferentes tipos de rigidez y distintos comportamientos dinámicos ante los efectos de eventos sísmicos. Además de que ciertas partes de la ciudad se encuentran sobre un perfil estratigráfico de suelos blandos aproximadamente 30 – 35 metros de profundidad.

Por consiguiente, este trabajo de titulación se propone realizar la optimización de zapatas aisladas en una edificación de 4 pisos de altura en la ciudad de Guayaquil en la zona o sector de Urdesa en el norte de la ciudad, este sector se conforma principalmente de suelos arcillosos, debido a esto se plantea el objetivo de garantizar seguridad estructural y reducir los costos de construcción.

Ilustración 1. Ubicación de ensayos geotécnicos



Nota. Tomado de (Earth)

Ilustración 2. Ubicación de ensayos geotécnicos



Nota. Tomado de (Earth)

1.2. Problema de estudio

El Ecuador se encuentra en una zona de altísima Peligrosidad Sísmica y lamentablemente algunas de sus construcciones son vulnerables ante la acción de un sismo severo. (Angulo, 2013). En el año 2016 el Ecuador, tal como explica (EPN, 2018) el terremoto del 16 de abril del 2016 se originó debido a la liberación de energía en la zona de contacto entre las placas Nazca y el Bloque Norandino, debido al fenómeno de subducción, generando la necesidad de diseñar y construir estructuras capaces de soportar un evento sísmico igual o mayor.

En la actualidad las edificaciones en el Ecuador son diseñadas sin considerar la interacción suelo-estructura, empleando enfoques tradicionales donde la cimentación de la estructura y el suelo son rígidos. La cimentación de las edificaciones, especialmente las zapatas aisladas juegan un papel de suma importancia en lo que respecta a la resistencia de las estructuras ante la presencia de eventos sísmicos. Sin embargo, el diseño y dimensionamiento de estas zapatas muy a menudo son realizados de manera conservadora, conllevando a lo conocido como "sobredimensionamiento" lo cual equivale a un aumento de los costos de construcción.

Para abordar la problemática de una manera más específica, podemos tomar los siguientes factores que influyen en gran parte respecto al resultado del análisis dinámico de la estructura:

- En cuanto al Suelo:
 - ¿Cuáles son las características geotécnicas más relevantes del suelo de Guayaquil que influyen en la interacción suelo-estructura?
 - ¿Cómo varían estas características en las diferentes zonas de la ciudad?
- En cuanto a la Modelación de la Interacción:
 - ¿Qué modelos numéricos son más adecuados para simular la Interacción Suelo-Estructura en zapatas aisladas bajo condiciones sísmicas?
- En cuanto a la Optimización del Diseño:
 - ¿Qué parámetros de diseño de las zapatas aisladas (dimensiones, profundidad, refuerzo de acero) tienen mayor influencia en el comportamiento dinámico de la estructura bajo condiciones sísmicas?
 - ¿Cómo se pueden optimizar estos parámetros para minimizar los desplazamiento, esfuerzos y deformaciones en la estructura durante un sismo?
 - ¿Cómo se pueden considerar los efectos de la no linealidad del suelo y de la estructura en el proceso de optimización?
- En cuanto a la Evaluación de la Seguridad Estructural:
 - ¿Cuáles son los criterios de diseño sísmicos más adecuados para garantizar la seguridad estructural de edificaciones con zapatas aisladas en Guayaquil?
 - ¿Cómo se pueden evaluar los daños potenciales en la estructura y en el suelo durante un sismo de diseño?

Justificación

Guayaquil está conformado por suelos mayoritariamente suelos blandos, tal como lo plantea el estudio realizado por (Varela, 2019), determinando que, como consecuencia de su historia de esteros, manglares, zonas bajas sometidas a constante inundación, los suelos de Guayaquil están en proceso de consolidación, son muy blandos, estos han ocasionado problemas respecto a asentamientos uniformes o diferenciales en muchos edificios. Muchos de los tipos de suelos presentes en la ciudad de Guayaquil son los siguientes: arcilla amarilla clara combinada con limo, gravilla, arcilla café; arcilla amarilla oscura combinada con material vegetal, limo, gravilla y limo, residuos calcáreos; arcilla gris verdosa, etc.

La influencia de la aplicación de la interacción suelo-estructura nos permite conocer el comportamiento dinámico de la esta, ya que su comportamiento se ve afectado por varios factores como el suelo donde se encuentra apoyada, la cimentación y la estructura en sí, en consecuente la ISE consiste en tomar el suelo como parte de análisis y diseño de edificaciones.

La finalidad de realizar este estudio es implementar la metodología de la ISE para realizar análisis dinámicos de una edificación de 4 pisos de altura empelando como cimentación las zapatas aisladas, designada para vivienda, la edificación se ubicará hipotéticamente en el sector de Urdesa, el cual se conforma por suelos arcillosos lo que nos permite obtener resultados de desplazamientos, periodos de vibración, fuerzas cortantes de la base, derivas de piso, etc.

La evaluación de la interacción suelo – estructura en la ciudad de Guayaquil es un tema de gran relevancia e importancia por las siguientes razones:

- **Riesgo sísmico:** La ciudad Guayaquil o en específico el Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo cual su actividad sísmica se considera alta, incluyendo muchos eventos relacionados con sismos, entre los más importantes están: el terremoto más reciente que fue en el año 2016 con una magnitud de 7.8 y que dejó en evidencia ciertos problemas relacionados a lo que respecta al diseño sismorresistente en el Ecuador, por lo que es fundamental garantizar la seguridad estructural de las edificaciones.
- **Costos de Construcción:** La optimización del diseño utilizando los resultados de los análisis de efectuados da como resultado la reducción significativa en los costos de construcción, sin comprometer la seguridad.
- **Desarrollo Urbano Sostenible:** El realizar una optimización de diseños estructurales contribuye a un desarrollo urbano más sostenible, esto al reducir el consumo de materiales y energía.
- **Avances del conocimiento:** El estudio de la interacción suelo-estructura en condiciones dinámicas es un campo de investigación en constante evolución, es decir, la realización de este proyecto contribuirá a ampliar el conocimiento en este campo de estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Establecer el comportamiento real de una edificación de concreto armado en la ciudad de Guayaquil, cuando está sometida a fuertes sismos y condiciones de suelo no rígido,

mediante modelos dinámicos de interacción entre el suelo y la estructura, para obtener una mejor respuesta conjunta entre la estructura, la fundación y el suelo.

1.3.2. Objetivos Específicos

A partir de la formulación del problema y el objetivo general se pueden establecer los siguientes objetivos específicos:

- Examinar la literatura sobre los efectos de la interacción suelo-estructura, utilizando fuentes científicas, para obtener información de calidad que respalde el trabajo de investigación.
- Establecer la edificación en hormigón armado con zapatas aisladas, ubicada en la ciudad de Guayaquil, mediante los criterios establecidos por la NEC (2015), para estimar el comportamiento real de la estructura sobre un estrato de arcilla blanda.
- Obtener los parámetros de coeficientes de rigidez y amortiguamiento, mediante los modelos dinámicos D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV y NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87, para realizar el análisis de ISE, en base a las condiciones de suelo, cargas y geometría de la estructura de estudio.
- Modelar la edificación con los parámetros de suelo en cada caso de estudio, mediante software de elementos finitos, para determinar las características dinámicas de la estructura debido a la flexibilidad del suelo.
- Comparar mediante un análisis descriptivo, el comportamiento real de la edificación con el enfoque tradicional de diseño, a través de los resultados obtenidos, con el fin de establecer los cambios y riesgos que puedan producirse al no considerar los efectos de ISE.

1.4. Hipótesis

En un análisis de Interacción Suelo – Estructura (ISE), los mecanismos de amortiguamiento, se modifican debido a que la rigidez del suelo de cimentación absorbe parte de la energía que se libera por el sismo.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente

Como variables independientes se tomarán los modelos dinámicos empleados para evaluar la respuesta del análisis desarrollo de este estudio, los modelos dinámicos serán los siguientes:

- Método Modelo Dinámico de D.D. Barkan – O.A. Saninov
- Método del Modelo de la Norma Rusa SNIP 2.02.05

Evaluar la respuesta colectica de tres sistemas vinculados. La estructura, la fundación y el suelo subyacente en las zonas vulnerables de estudio.

1.5.2. Variable Dependiente

Comportamiento sísmico de la edificación, así como el desempeño óptimo de edificaciones en suelos no favorables.

1.6. Alcance

Este proyecto de investigación tiene como alcance el estudio de la evaluación de zapatas aisladas en una edificación de 4 pisos de altura máxima respectivamente, designada para vivienda, utilizando modelos de interacción suelo-estructura y considerando las condiciones del suelo en la ciudad de Guayaquil.

1.7. Limitaciones

Como limitaciones que posee este estudio es el escaso o poco conocimiento respecto a los diferentes métodos de análisis interacción suelo – estructura en edificaciones que tienen como cimentación zapatas aisladas.

1.8. Ideas

Solo se trabaja con un solo tipo de cimentación, una edificación de 4 niveles y se respetara el tipo de suelo obtenido de los estudios de suelos de arcilla blanda.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Peligrosidad Sísmica en el Ecuador

Según (Mora, 2012), el territorio ecuatoriano está prácticamente surcado en su totalidad por sistemas o conjuntos de fallas geológicas, entre las cuales unas son más activas que otras, es decir, ciertas regiones del país serán sísmicamente más activas que otras, debido a la cantidad, la frecuencia y la magnitud de eventos sísmicos por una falla geológica determinada es variable.

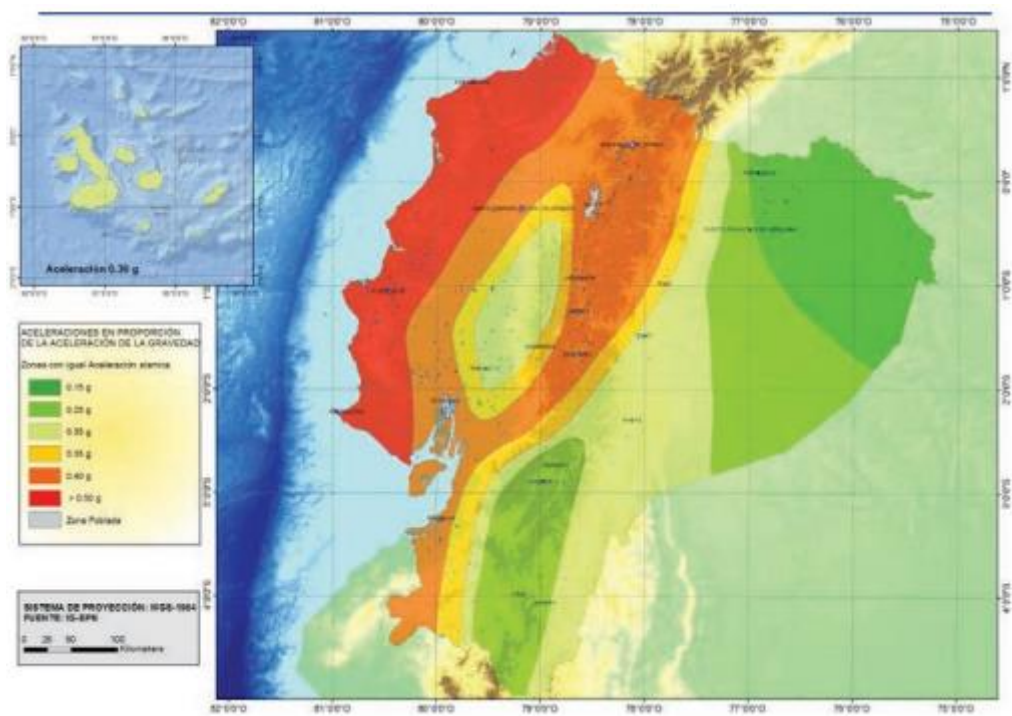
Ecuador al igual que otros países se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, debido a esto la actividad sísmica es alta, a lo largo de los años se presentaron varios eventos sísmicos como: en el año 1906 el cual alcanzo una magnitud de 8.8, uno de los sismos considerados más grandes de la historia. En el Ecuador para la construcción existe la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), pese a esta norma en el país los estudios relacionados con estructuras sismorresistentes son demasiado escasos. (Martínez y Angulo, 2016).

En el Ecuador para el diseño de estructuras sismorresistentes se emplea la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en el capítulo nombrado como Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente (NEC-SE-DS), el país se caracteriza por tener el factor de zonificación sísmica “Z” como V, es decir un factor de zonificación sísmica alta, es decir el territorio ecuatoriano se cataloga como amenaza sísmica, exceptuando el Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y el Litoral presentando una amenaza sísmica muy alta.

El Ecuador tal como lo plantea (Yanez, 2024), dada su ubicación en la costa del Océano Pacífico, el país se ubica en una zona propensa a eventos sísmicos y erupciones

volcánicas, fenómenos ocasionados por la interacción de dos placas tectónicas, específicamente las placa Sudamericana y la placa Nazca, creando una necesidad de diseñar y construir edificaciones capaces de soportar fuerzas generadas por estos eventos naturales.

Ilustración 3. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y el valor del factor de zona Z



Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Ilustración 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

2.2. Peligrosidad Sísmica en la ciudad de Guayaquil

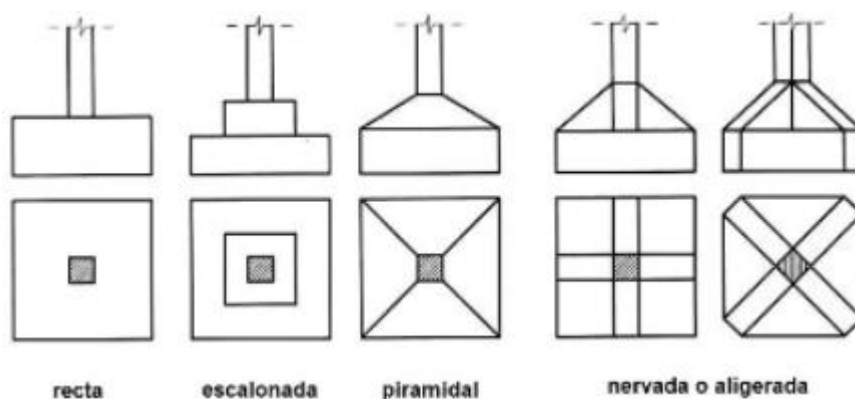
La ciudad de Guayaquil, perteneciente al Ecuador, está bajo amenaza constante por la actividad sísmica producida como consecuencia de encontrarse ubicada en el Cinturón de Fuego del Pacífico, en una zona caracterizada por la interacción de las placas tectónicas Nazca y Sudamérica. La ciudad de Guayaquil posee una gran variedad de edificaciones existentes la cuales tienen una alta vulnerabilidad sísmica, esto debido a que son estructuras muy antiguas las cuales fueron diseñadas y construidas en base a normativas o reglamentos antiguos lo cuales no contemplan o cumplen con los criterios de sismorresistencia actuales. El estudio realizado por (Salvador, 2021) resalto que la mayoría de los edificios ubicados en la ciudad de Guayaquil no cumplen con las normas vigentes por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), por estas razones las edificaciones tienden a colapsar, debido a que los efectos ocasionados por lo eventos sísmicos sobre las edificaciones son devastadores, es decir, un incremento en el riesgo sísmico y como consecuencia una ineficiente seguridad estructural.

La ciudad de Guayaquil además de tener un alto riesgo sísmico, está conformada casi por su totalidad de suelos blandos, los cuales, sumados con la alta probabilidad de eventos sísmicos, conforman un peligro inminente a las estructuras ubicadas en este tipo de zonas conformadas por suelos no rígidos.

2.3. Zapatas Aisladas

Según (Macias, 2024), Las zapatas aisladas o simples se refieren a cimentaciones que solo soportan una carga en la columna y en algunas columnas cercanas representa un elemento de integración. Incluso utilizan zapata de hormigón armado, simple o ciclópeo. Una zapata aislada es un elemento estructural pertenecientes a las cimentaciones las cuales reciben un solo sistema de carga, en muchos casos son los pilares o columnas, se denomina zapata aislada ya que su diseño está compuesto para soportar una sola carga no más. Es recomendable colocar una zapata de este tipo en terrenos firmes o compactos. Existen varios tipos de zapatas aisladas, se presentan a continuación:

Ilustración 5. Tipo de zapatas aisladas



Nota. Tomado de (Piqueras, 2019)

En varias investigaciones y estudios internacionales sobre diseños sismorresistentes considerando la interacción suelo estructura, se utiliza como cimentación las zapatas aisladas, como la investigación realizada por (Castro G. V., Interacción Sísmica Suelo - Estructura en edificaciones con zapatas aisladas, 2006) en el que utiliza una metodología de cálculo de edificaciones empleando zapatas aisladas, considerando la interacción suelo – estructura. Otro estudio realizado por (Llanos & Catacora, 2019), en el cual se plantean

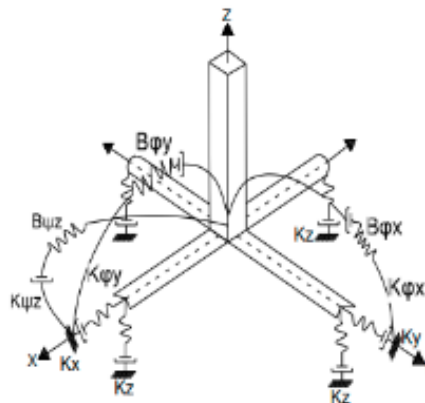
estimar la influencia de la interacción suelo – estructura en viviendas con sistema aporticado con cimentaciones aisladas en la ciudad de Juliaca.

2.4. Interacción Suelo – Estructura

En los últimos años el tema sobre la interacción suelo -estructura ha tomado mucha relevancia debido a que se busca la sismo resistencia en la mayoría de las edificaciones en países o ciudades con alta presencia sísmica, el estudio de este tipo de interacción puede definirse como el contacto dinámico entre la estructura y la base o cimentación en este caso una zapata aislada, la zapata aislada es la que se encarga de transferir el movimiento a la estructura.

Según (Castro G. V., Interacción Sísmica Suelo-Estructura En Edificaciones Con Zapatas Aisladas, 2009) la formulación del cálculo de edificaciones, considerando el empotramiento perfecto de las columnas con las cimentaciones, nos lleva a la necesidad de una descripción más detallada de las condiciones de fijación de los apoyos de la edificación, es decir, en los análisis estructurales muchas veces la cimentación y la base de la cimentación (suelo) tienden a asumir que las estructuras se encuentran empotradas a un medio rígido, esto es incorrecto debido a que no es un caso real, en el estudio de la interacción suelo-estructura se considera la flexibilidad del suelo, propiedades inerciales, amortiguamiento del suelo, coeficientes de rigidez, esto implica que la cimentación no será tomada como completamente rígida.

Ilustración 6. Coeficiente de Rigidez y Amortiguamiento para Zapatas Aisladas



Nota. Tomado de (Castro G. A., 2020)

Se emplearán modelos dinámicos para el análisis de ambas estructuras, específicamente dos modelos dinámicos:

- Modelo Dinámico D.D. Barkan – O.A. Saninov:

El modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Saninov es considerado como un modelo teórico – experimental, basado en la interacción suelo – estructura, es decir, la cimentación – suelo, detallándose como un proceso establecido mediante vibraciones forzadas.

- Modelo Norma Rusa SNIP 2.02.05:

La norma rusa SNIP 2.02.05 (Norma de Diseño Estructural Cargas y Efectos) es un conjunto de regulaciones y directrices relacionadas con el diseño estructural en Rusia. Esta norma aborda varios aspectos de diseño, incluida la interacción suelo-estructura. (Nina, 2024).

Para poder considerar la flexibilidad de la base de la cimentación o suelo, se debe determinar mediante el cálculo de los coeficientes de rigidez necesarios (Ilustración 3):

- Rigidez de compresión elástica uniforme; (kN/m)

$$K_z$$

- Rigidez de desplazamiento elástico uniforme; (kN/m)

$$K_x - K_y$$

- Rigidez de compresión elástica no uniforme; (kN/m)

$$K_{\phi x} - K_{\phi y}$$

- Rigidez de desplazamiento elástico no uniforme; (kN/m)

$$K_{c\rho z}$$

También se obtuvieron los coeficientes de amortiguamiento que son representados como:

$B_z, B_x, B_y, B_{\phi x}, B_{\phi y}, B_{c\rho z}$. Estas vibraciones son descritas de la siguiente forma:

- Vibraciones Verticales
- Vibraciones Horizontales
- Vibraciones Horizontal-Rotacionales
- Vibraciones Rotacionales alrededor del eje Vertical

Respecto a la cimentación específicamente sobre las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales X, Y e Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo-platea X', Y' e Z', las podemos determinar empleando las siguientes formulas:

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{p_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c * a * b * c}{g}$$

Donde:

p_{zapata} Peso de la zapata

a,b,c Dimensiones de la zapata

γ_c	Peso específico del hormigón
g	Aceleración de la gravedad

2.5. Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico de un terreno se define como el conjunto de actividades que tienen como objetivo principal determinar la naturaleza y las propiedades de un terreno, (Figuerola, 2005) resalta que: El estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para la redacción de un proyecto de construcción.

Estos estudios geotécnicos permiten obtener información del suelo y subsuelo mediante ensayos de laboratorio que determinan el estado y calidad de este, además mediante los análisis realizan recomendaciones de ingeniería para futuros diseños y construcciones de obras que tengan contacto con este suelo, garantizando el comportamiento adecuado de las edificaciones, evitando el posible daño a construcciones cercanas y perseverando la vida humana.

Debido a que la ciudad de Guayaquil está conformada en su mayoría por suelos arcillosos, presentando zonas inestables, para realizar y diseñar edificaciones altas es necesario un estudio del suelo, para conocer los distintos comportamientos subsuelo, su estratigrafía, entre otras propiedades y características del suelo. El estudio y análisis geotécnicos de un suelo permiten evaluar los factores naturales que influyen en la estabilización de este, además de la presencia de eventos sísmicos, estos son factores importantes en el comportamiento de la estructura.

La importancia de realizar los estudios geotécnicos radica en que nos permite lo siguiente:

- Evaluar las Propiedades del Suelo:

Estos estudios nos proporcionan diferentes datos como la composición ya sea que el suelo sea el resultado de la combinación de dos o más suelos, la densidad, la resistencia, entre otras propiedades que nos permitirán analizar como el suelo va a reaccionar o comportarse ante las cargas estructurales.

- Identificación de Riesgos Geotécnicos:

Permite evaluar e identificar los potenciales riesgos geotécnicos los cuales pueden afectar la estabilidad de la estructura y la seguridad estructural, entre los potenciales riesgos están: la licuefacción del suelo, expansión de suelos arcillosos, asentamientos locales o asentamientos diferenciales, deslizamientos, etc.

- Selección y Diseño de Cimentación:

Realizado los correctos estudios geotécnicos, determinando el tipo y propiedades de este, los ingenieros pueden seleccionar el tipo de cimentación más adecuado para la estructura.

Se pueden seleccionar cimentaciones superficiales como zapatas aisladas, cimentaciones profundas como las cimentaciones por pilotaje, etc.

Además, de acuerdo con las propiedades la cimentación seleccionada deberá distribuir correctamente las cargas estructurales al suelo, garantizando la estabilidad y seguridad estructural, evitando problemas como los asentamientos.

- Normativas y Regulaciones:

El realizar un estudio geotécnico es un requisito legal para obtener el permiso de construcción en la mayoría de los países.

2.6. Modos de Vibración de un edificio

Según (Arancibia C, 2013), las edificaciones al igual que todos los cuerpos materiales, presentan distintas formas de vibrar antes cargas dinámicas como las cargas por eventos sísmicos, estas cargas afectan en mayor o menor medida a la estructura. Estas formas de vibrar de una estructura se las denomina como modos de vibración.

Ilustración 7. Modos de vibración de un edificio



Nota. Tomada de (LIS, 2023)

La investigación realizada por (Caicedo, 2014), titulada como “Periodos de vibración de las edificaciones”, tuvo como resultado las siguientes conclusiones:

- Las edificaciones presentan distintos modos de vibración y a cada uno le corresponde un período de vibración diferente.
- El período fundamental de vibración de las edificaciones depende de sus características de altura, rigidez y masa.
- El tipo de suelo también es determinante, los suelos blandos se deforman con la vibración presentándose la interacción suelo – estructura más flexible e incrementado su período de vibración.

2.7. Proceso de Licuefacción

La licuación o licuefacción es uno de los temas con más importancia y relevancia en la ingeniería geotécnica, en la investigación realizada por (Quesada, 2008), explica que la

licuefacción de los suelos ha causado la destrucción de una gran variedad de estructuras como puentes, edificios, viviendas, etc, además a obras como oleoductos, acueductos, alcantarillado, entre otros. Según (Pastor y otros, 2018), la licuefacción es un proceso por el que una masa de suelo saturado, generalmente granular y de baja compacidad, disminuye drásticamente su resistencia por el aumento de su presión de poros, habitualmente asociado a cargas monotónicas o cíclicas, es decir el suelo se vuelve incapaz de soportar cargas, lo que lleva a los asentamientos diferenciales, hundimientos en el terreno y como se prevé daños graves en la parte estructural que se encuentre encima del terreno.

El proceso de la licuefacción de un suelo ocurre ante la presencia de eventos sísmicos como los terremotos, debido a que este ocasiona el movimiento del terreno o suelo causando la pérdida de la firmeza o la rigidez del suelo, normalmente en suelos blandos como las arcillas. Los movimientos sísmicos presentan varios factores los cuales influyen de manera favorecida la ocurrencia del fenómeno de la licuefacción, entre estos se encuentran la magnitud, la duración, aceleración pico, entre otros. Este proceso depende de la magnitud del evento sísmico ya que la energía liberada por este evento es mayor y se tiene una menor distancia desde el epicentro, la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno aumenta.

Como resultado de este proceso se pueden encontrar el desplome de estructuras, deslizamiento de terrenos, asentamientos, entre otros tipos de posibles daños a nivel estructural y geomecánica. Algunos de los efectos ocasionados por la licuefacción de un suelo son de carácter catastrófico, entre estos están las fallas de grandes pendientes o

presas, desplome de estructuras de gran tamaño como edificios o puentes, o también colapsos de muros de contención.

El proceso de la licuefacción tiene una mayor probabilidad de ocurrencia en condiciones geotécnicas y geológicas específicas, entre las cuales se incluyen las siguientes:

- Tipo de suelo:

Según (Rafferty, 2024), este proceso tiende a ocurrir en suelos no cohesivos o suelos de grano fino mal drenados, como las arenas saturadas de agua que, situadas cerca de la superficie del terreno, gravas, arcillas presentando desplazamientos del terreno, limo.

- Contenido de agua:

El suelo en el que sucede el proceso de la licuefacción normalmente posee alta presencia de mucha cantidad de agua, debido a que es esencial para que ocurra la licuefacción.

- Presión de poros:

La presión de poros se genera debido a las cargas sísmicas, lo que reduce la cohesión de este, provocando que la licuefacción tenga más probabilidad de ocurrencia.

- Sismicidad:

La licuefacción ocurre con mayor frecuencia en lugares con una alta sismicidad, y que presenten suelos no rígidos, o áreas con un historial de experimentación sísmica en el pasado.

2.8. Comportamiento dinámico

Según (Basualdo, 2019), las estructuras cuando están sujetas a cargas o desplazamientos en la base, en realidad actúan dinámicamente, de decir, desarrollan acciones opuestas al

movimiento por tales cargas o desplazamientos. En la ingeniería civil las estructuras pueden ser analizadas en base a un comportamiento estáticos los cuales evalúan las cargas que no cambian o lo hacen de manera lenta (peso propio, cargas muertas, cargas vivas), el análisis del comportamiento dinámicos de una estructura examina o estudia como las estructuras responden a cargas que varían con el tiempo, como son los casos de cargas sísmicas o de viento (sismos o terremotos, vientos dinámicos, cargas de tráfico si se tratase de un puente vehicular).

En estos análisis dinámicos se analiza la vibración, resonancia y amortiguamiento para garantizar la estabilidad de la estructura y la seguridad estructural. Como ejemplo se puede tomar: un edificio que es sometido a cargas sísmicas, el comportamiento del edificio puede modelarse empleando la ecuación de movimiento, esto permitirá conocer cómo se va a desplazar la estructura y como será su reacción frente a dicha carga sísmica.

El análisis de las vibraciones en las estructuras tiene como finalidad el evaluar como las estructuras responden a diferentes tipos de fuerzas o cargas dinámicas, es importante este análisis debido que permite predecir ciertos problemas respecto a la estabilidad y seguridad estructural. Existen varios métodos o formas para analizar estas vibraciones, cada método es diferente contando con ventajas, desventajas y limitaciones, por lo cual no es posible de aplicar a cualquier estructura, es decir, estos métodos para ser aplicables deben ser seleccionados a partir del tipo de estructuras y tipos de cargas a las que se encontrará sometida.

Entre los métodos principales se encuentran los siguientes:

- Análisis modal:

En este método se estudia las frecuencias naturales y los modos de vibración que posee una estructura, para determinar cómo estos factores afectan la respuesta de la estructura ante cargas dinámicas, es decir, este análisis es importante para entender de qué manera los modos de vibración afectan la respuesta estructural ante una carga sísmica o carga de viento. Con este método se logra identificar las frecuencias naturales, lo cual es un factor esencial a al momento de diseñar estructuras sismorresistentes.

- Análisis espectral:

Este método es empleado para estudiar como una edificación o estructura responde a diferente frecuencia de vibración como las fuerzas sísmicas, utilizando el conocido espectro de respuesta sísmica. Es un enfoque o método de mucha utilidad en el diseño sismorresistente de estructuras debido a que permite prever las deformaciones y esfuerzos máximos, es decir el comportamiento de la estructura bajo una carga sísmica, realizando comparaciones de diferentes diseños estructurales.

- Análisis en el tiempo:

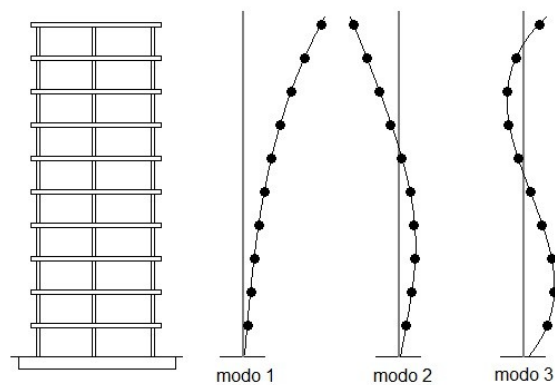
Este método se enfoca en evaluar la respuesta de la estructura frente a cargas dinámicas que varían respecto al tiempo.

2.9. Análisis Modal Espectral

Según (Ramirez, 2017), el análisis modal espectral es uno de los principales métodos para realizar análisis dinámico de estructuras que son sometidas a cargas sísmicas, además (Aguilar & Ortiz, 2017) comenta que el método en mención es muy eficaz y permite obtener resultados precisos. Este método nos permite estimar los posibles desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural, de tal manera hacer

que la edificación alcance los niveles de desempeño requeridos o necesarios ante presencia de eventos sísmicos debido a que influyen en el diseño de la estructura. (Jimenez, 2024) explica que este análisis a comparación de otros métodos como el de fuerzas equivalentes, este considera la contribución de la masa estructural y la interacción de todos los modos de vibrar para poder determinar el cortante basal, además de obtener resultados respecto a los desplazamientos y fuerzas internas de todos los distintos elementos estructurales.

Ilustración 8. Modos de vibración de una edificación



Nota. Tomado de (Jimenez, 2024)

3. METODOLOGÍA

En esta investigación se va a utilizar una metodología por fases, en estas fases se realizarán los distintos procedimientos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio planteados anteriormente. Para poder realizar el análisis de la estructura considerando la interacción suelo – estructura, para lo cual el trabajo se dividirá en 4 fases que corresponderán a los resultados de los cálculos manuales y el análisis de la estructura.

3.1. Primera Fase

En esta fase se detallarán distintos factores importantes en la implementación de análisis estructural considerando ISE como la ubicación de los ensayos geofísicos, los perfiles de suelo según su estratigrafía, los parámetros elásticos y Geomecánicos, las dimensiones de planta y elevación de la edificación que se analizará, características geotécnicas del suelo a emplear, secciones o dimensiones de los elementos estructurales, acción sísmica, análisis dinámico, control de derivas inelásticas de piso, y también desarrollarán los modelos dinámicos de interacción suelo – estructura empleados en este trabajo.

3.1.2. Parámetros elásticos y Geomecánicos

Tabla 1. Parámetros elásticos y Geomecánicos

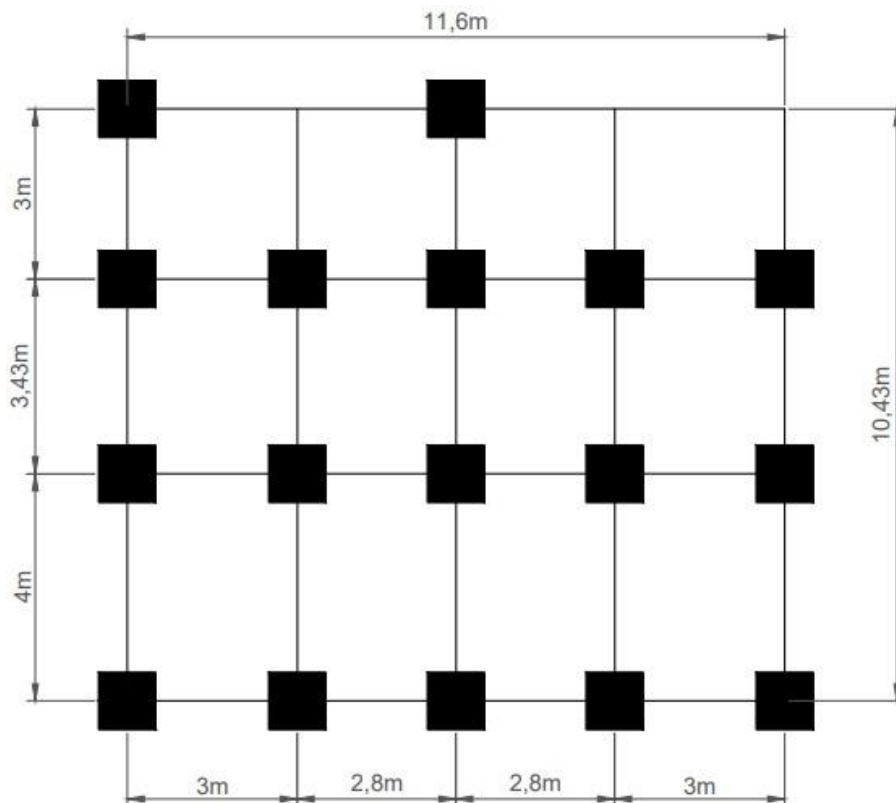
Línea Sísmica	Variación (m)	Velocidad de Onda		Peso Específico	Relación de Poisson	Periodo
		Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (Kn/m ³)	μ	T (s)
Ls-14	0.00-25.00	392,3	152	12,8	0,35	0,75
Ls-15	0.00-25.00	408,6	155	12,92	0,35	0,72
Ls-16	0.00-25.00	416,6	158	12,98	0,35	0,71
Ls-17	0.00-25.00	396,3	162	12,83	0,35	0,74
				Promedio		0,73

Elaborado: Autor

3.1.3. Dimensiones de planta y elevación

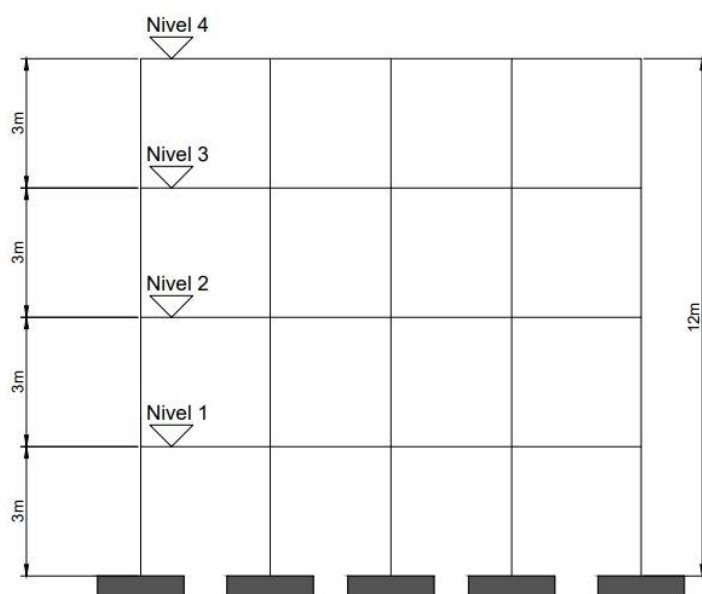
Para el modelo de estudio respecto a dimensiones de planta, se tiene que para la dirección “X”: 4 vanos de 3 m y 2.80 m cada uno dando una longitud total de 11.60 m en dirección X; para la dirección Y se tiene: 3 vanos de 4 m, 3.43 m y 3 m cada uno dando una longitud total de 10.43 m en dirección Y. Respecto a las dimensiones en elevación, la estructura para realizar este estudio se conforma por 4 pisos de altura con un valor de 3 m como altura de entrepiso.

Ilustración 9. Plano de Planta de la Estructura



Elaborado: Autor

Ilustración 10. Plano de Elevación de la Estructura



Elaborado: Autor

3.1.4. Características geotécnicas para los tipos de suelo

Tabla 2. Características Geotécnicas para los tipos de suelo

Tipo de Suelo	Arcilla Blanda
Zona de Estudio	Guayaquil
Factor de Zona Sísmica (Z)	0,40
Perfil de Suelo	D
Factor de Reducción Sísmica (R)	6
Coefficiente de Importancia (I)	1
Coefficiente de Configuración de Planta ($\emptyset P$)	0,90
Coefficiente de Configuración de Elevación ($\emptyset E$)	1,00
Peso Unitario γ (Kn/m³)	12,88
Coefficiente de Poisson (V)	0,35
Velocidad de Onda Promedio – Vs (m/s)	156,75

Elaborado: Autor

3.1.5. Secciones de elementos estructurales

La estructura propuesta, se conforma por elementos estructurales, en los cuales se realiza la verificación de su cumplimiento respecto a los requisitos de diseño que exige la (NEC – 15), para soportar cargas dinámicas. Para la losa tanto de entrepiso como de techo se considerará una losa nervada con 0.25 cm de espesor.

Tabla 3. Secciones de las Vigas Longitudinales y Transversales

Nivel	Sección de Vigas (m)	
	Dirección X	Dirección Y
1	0.25 x 0.30	0.25 x 0.40
2,3,4	0.25 x 0.30	0.25 x 0.40

Elaborado: Autor

Tabla 4. Secciones de las Columnas

Nivel	Sección de Columnas (m)			
	Esquineras	Laterales 1	Laterales 2	Centrales
1	0.35 x 0.40	0.35 x 0.40	0.45 x 0.45	0.45 x 0.45
2,3,4	0.35 x 0.40	0.35 x 0.40	0.45 x 0.45	0.45 x 0.45

Elaborado: Autor

La distribución de las rigideces y de amortiguamiento en cada modelo dinámico de interacción suelo-estructura, se realizó mediante el sistema de fundación de las zapatas esquineras, laterales y centrales; la rigidez fue colocada en la base de cada una de las columnas, a continuación, se presenta la geometría de las zapatas:

Tabla 5. Secciones de las Zapatas

Tipo de Suelo	Nivel de Piso	Sección de Zapatas (m)			Nivel de Desplante (m)
		Esquinas	Laterales	Centrales	
Arcilla Blanda	4	1.3 x 1.2 x 0.3	1.7 x 1.6 x 0.3	1.8 x 1.9 x 0.5	2

Elaborado: Autor

3.1.6. Acción sísmica

Respecto a la fuerza sísmica en dirección X e Y, fueron colocadas por medio de espectros de diseño que serán desarrollados en base a la normativa ecuatoriana (NEC-15), para el tipo de suelo que se considerara en el estudio. Para determinar el espectro de diseño se deben realizar los siguientes pasos:

- Determinar el período de vibración estimado de la estructura
- Determinar el valor del Factor Z
- Determinar el tipo de perfil de suelo para el Diseño Sísmico
- Determinar los coeficientes de perfil de suelo
- Determinar la categoría del edificio, coeficiente de importancia I y valor de R
- Determinar los componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño
- Curva de Espectro de diseño

3.1.6.1. Determinar el Período de Vibración estimado de la estructura

Para determinar el período de vibración estimado de la estructura empleamos la siguiente formula que presenta la NEC-15:

$$\text{Ec. (1)} \quad T = C_t * (h_n)^\alpha$$

Donde:

C_t Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura en metros.

T Período de Vibración

Ilustración 11. Componentes para determinar el período de Vibración

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Para nuestra estructura los valores a utilizar son los siguientes:

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.9$$

El período de vibración estimado de nuestra estructura se espera que sea igual o un poco mayor al obtenido realizando la formula. El cálculo obtuvo el siguiente resultado:

$$T = 0.055 * (12)^{0.9}$$

$$T = 0.514 \text{ s}$$

3.1.6.2. Determinar el valor del Factor Z

La ubicación a emplear para el desarrollo de este trabajo será la ciudad de Guayaquil, en Ecuador, con un suelo tipo “D”, para lo cual empleamos la tabla 19 (Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z) otorgada por la NEC-15, en específico la NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente.

Ilustración 12. Poblaciones ecuatorianas y valor del Factor Z

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
LA PUNTILLA	SAMBORONDON	SAMBORONDON	GUAYAS	0.40
LAUREL	JUNQUILLAL	SALITRE	GUAYAS	0.40
LAUREL	LAUREL	DAULE	GUAYAS	0.40
PUEBLO NUEVO	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
KILOMETRO VEINTE Y SEIS	VIRGEN DE FATIMA	SAN JACINTO DE YAGUACHI	GUAYAS	0.35
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Según la tabla el valor de Z para nuestra ubicación equivale a:

$$Z = 0.40$$

Ilustración 13. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Según la tabla de valores del factor Z en función de la zona sísmica empleada tenemos que la ubicación posee una alta caracterización de peligro sísmica.

3.1.6.3. Determinar el tipo de perfil de suelo para el Diseño Sísmico

El tipo de perfil de suelo es tipo “D”, la NEC nos proporciona la siguiente tabla:

Ilustración 14. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Además, se deben determinar los coeficientes del perfil del suelo para el cálculo del espectro de diseño.

- Fa:

Ilustración 15. Tipo de Suelo y factores de sitio Fa

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

$$F_a = 1.2$$

- F_d :

Ilustración 16. Tipo de Suelo y factores de sitio F_d

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

$$F_d = 1.19$$

- F_s :

Ilustración 17. Tipo de Suelo y factores de sitio F_s

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

$$F_s = 1.28$$

3.1.6.4. Determinar la categoría del edificio, coeficiente de importancia I y valor de R

Según la NEC-15 la estructura se clasificará en una de las categorías establecidas en la siguiente tabla, de la cual se adoptará el correspondiente factor de importancia “I”.

Ilustración 18. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

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

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

$$I = 1$$

Se trabajará con un valor de “R” igual a 6, debido a que no es un valor tan óptimo, pero se asemeja a los más cercano. Debido a que si se utiliza un valor de R mayor se comprende como un valor de reducción total.

3.1.6.5. Determinar los componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño

Se deben realizar los cálculos que se emplearán las obtener la curva del espectro de diseño:

$$\text{Ec. (2)} \quad T_0 = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_0 = 0.127$$

$$\text{Ec. (3)} \quad T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.7$$

Para el valor de “r”, este valor depende de la ubicación geográfica y el tipo de suelo empleando en el proyecto. Para todos los suelos se usa un valor igual a 1, con excepción del suelo tipo “E”, en este se emplea un valor igual a 1.5.

$$r = 1$$

También se deben definir los valores de la relación espectral η (S_a/Z), este valor varía dependiendo de la región del Ecuador en la que se realiza el proyecto, en este caso la región es la provincia de la costa por lo cual se utiliza el siguiente valor:

$$\eta = 1.80$$

Para el cálculo de “ S_a ” se plantean las siguientes condiciones:

$$T \leq T_0 \quad S_a(T) = Z * F_a * (1 + (\eta - 1) * \frac{T}{T_0})$$

$$T_0 < T \leq T_c \quad S_a(T) = \eta * Z * F_a$$

$$T > T_c \quad S_a(T) = Z * F_a * (1 + (\eta - 1) * \frac{T}{T_0})$$

Para el cálculo del espectro de respuesta inelástico de aceleraciones se realiza la siguiente operación:

$$\text{Ec. (4)} \quad R_i = R * \phi_E * \phi_P$$

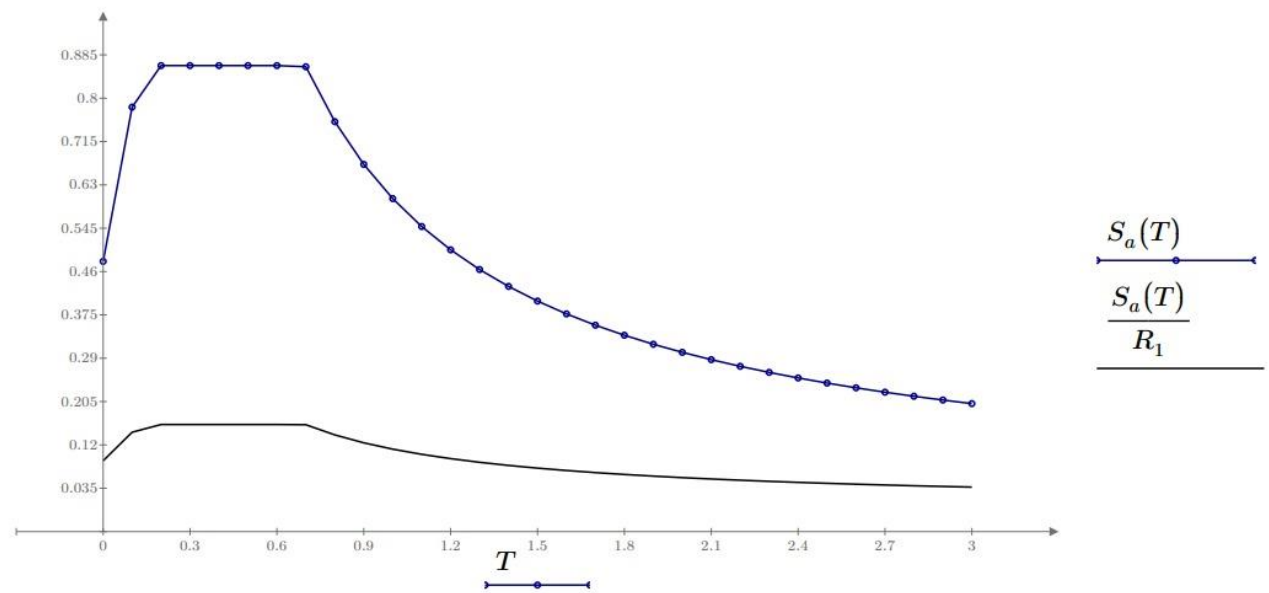
$$R_i = 6 * 1 * 0.9$$

$$R_i = 5.4$$

3.1.6.6. Curva de Espectro de diseño

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones, se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, lo cual se ve expresado en la siguiente figura:

Ilustración 19. Curva de Espectro de diseño



Elaborado: Autor

3.1.7. Análisis dinámico

La fuerza cortante que se presenta en el primer entrepiso de la estructura no puede ser menor que el 85% de la cortante obtenida por el método estático. En caso de que la fuerza cortante en el sismo dinámico sea menor que la fuerza cortante del sismo estático, dicha diferencia debe multiplicarse como un factor de aumento para el sismo dinámico.

Tabla 6. Verificación de la Cortante Basal

Tipo de Suelo	Tipo de Estructura	V_Dinámico (Ton)		85% V	Estático (Ton)		Control
		Sismo X	Sismo Y	Sismo X	Sismo Y	Sismo X	Sismo Y
Arcilla Blanda	4 niveles	60.12	60.12	50.53	51.4	OK	OK

Elaborado: Autor

3.2. Segunda Fase – Cálculos de Modelos Dinámicos

3.2.1. Modelo Dinámico D.D. Barkan – O.A. Saninov

El científico ruso D.D. Barkan como resultado de una gran variedad de investigaciones experimentales con la finalidad de determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, en el año 1948 propuso que se aplicarán las siguientes expresiones como coeficientes de rigidez, estas fórmulas fueron obtenidas por la investigación realizada por (Castro G. A., 2020). Para iniciar con el proceso de los calculo se deben seguir los siguientes pasos:

3.2.2. Calcular las Masas Traslacionales de las zapatas

Para calcular las masas traslacionales de las zapatas, tanto esquineras, laterales y centrales utilizaremos la siguiente fórmula:

- Masas traslacionales de las zapatas: M_t

$$\text{Ec. (5)} \quad M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{\text{zapata}}}{g} = \frac{\gamma_c * a * b * c}{g}$$

Tabla 7. Masas Traslacionales de las Zapatas

Masas Traslacionales	Zapatas		
	Esquineras	Laterales	Centrales
Mt $(\frac{ton*s^2}{m})$	0.114	0.200	0.418

Elaborado: Autor

3.2.3. Calcular las Masas Rotacionales de las zapatas

Para calcular las masas rotacionales de las zapatas, tanto esquineras, laterales y centrales utilizaremos la siguiente fórmula:

- Masa rotacional respecto a eje X: $M_{\varphi x'}$

$$\text{Ec. (6)} \quad M_{\varphi x'} = Mt * d^2 + Imx = Mt\left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(b^2+c^2)}{12}$$

- Masa rotacional respecto a eje Y: $M_{\varphi y'}$

$$\text{Ec. (7)} \quad M_{\varphi y'} = Mt * d^2 + Imy = Mt\left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(a^2+c^2)}{12}$$

- Masa rotacional respecto a eje Z: $M_{\psi z'}$

$$\text{Ec. (8)} \quad M_{\psi z'} = Imz = \frac{Mt(a^2+b^2)}{12}$$

Donde:

d Distancia desde el centro de gravedad de la masa de la zapata hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación

Imx, Imy, Imz Momentos de inercia respecto a x, y, z.

Tabla 8. Masas Rotacionales de las Zapatas

Masas Rotacionales	Zapatas		
	Esquineras	Laterales	Centrales
$M_{\phi x'} (ton * m * s^2)$	0.017	0.049	0.161
$M_{\phi y'} (ton * m * s^2)$	0.020	0.054	0.148
$M_{\psi z'} (ton * m * s^2)$	0.030	0.091	0.239

Elaborado: Autor

3.2.4. Cálculos de Pesos y Área de cada Zapata

Para calcular el peso y área de cada zapata se utilizan las siguientes fórmulas:

- Peso de Zapata: P_z

$$\text{Ec. (9)} \quad P = a * b * c * \gamma_c$$

- Área de Zapata: A_z

$$\text{Ec. (10)} \quad A_z = a * b$$

Tabla 9. Pesos y Áreas de cada Zapata

Pesos – Áreas – Zapatas			
	Esquineras	Laterales	Centrales
Área (m^2)	1.56	2.72	3.42
Peso (ton)	1.12	1.96	4.1

Elaborado: Autor

3.2.5. Cálculo de Presión Estática para cada Zapata

Para calcular la presión estática de cada zapata se utiliza la siguiente formula:

- Presión Estática:

$$\text{Ec. (11)} \quad P = \frac{P_{\text{TribEdif}} + P_{\text{Zap}}}{\dot{A}_{\text{Zap}}}$$

Donde:

P_{TribEdif} Peso Tributario de Edificio para cada Zapata

P_{Zap} Peso de la Zapata

$\dot{A}_{\text{Zap}}$ Área de la Zapata

Para calcular el peso tributario del edificio para cada zapata se utiliza el peso de todos los pisos de la edificación el cual se divide para el área del edificio.

Tabla 10. Pesos de cada piso de la Estructura

Pisos	D (Ton)	L (Ton)	W T= D + 0.25 L (Ton)
4	114.91	10.08	117.43
3	114.91	20.16	119.95
2	114.91	20.16	119.95
1	114.91	20.16	119.95
Sumatoria (Σ)			477.28

Elaborado: Autor

Una vez obtenida el sumatoria se la divide para el área del edificio, en nuestro caso el área del edificio equivale a:

$$\dot{A}_{\text{Edificio}} = 100.79 \text{ m}^2$$

Lo cual nos da como resultado el Peso Unitario equivalente a:

$$\text{Peso Unitario} = \frac{WT}{\dot{A}_{\text{Edificio}}}$$

$$Peso\ Unitario = 4.72 \frac{ton}{m^2}$$

Tabla 11. Área Tributaria de las Columnas

Columnas – Área Tributaria (m^2)		
Esquineras	Laterales	Centrales
3	5.8	10.77

Elaborado: Autor

Tabla 12. Presión Estática de las Zapatas

Presión Estática de Zapata			
	Esquineras	Laterales	Centrales
Presión Estática ($\frac{ton}{m^2}$)	9.83	10.82	16.11
Presión Estática ($\frac{kg}{cm^2}$)	0.983	1.082	1.611

Elaborado: Autor

3.2.6. Coeficiente P_o

Coeficiente determinado mediante experimentos realizados para $P = P_o$

$$P_o = 0.2 \frac{kg}{cm^2}$$

3.2.7. Calcular Coeficiente D_o

Para calcular el valor del coeficiente D_o embargo existe la posibilidad de utilizar los valores pertenecientes del coeficiente C_o cuando la presión estática $P_o = 0.2 \frac{kg}{cm^2}$, seleccionados de acuerdo con el tipo de suelo donde se encuentra la cimentación, empleando la siguiente ilustración.

Ilustración 20. Coeficiente C_o

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	$C_o (kg/cm^3)$
S1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3,0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2,2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2,6
S2	Suelos intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2,0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1,6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1,4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1,8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0,8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1,0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1,2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,75$)	0,6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0,6

Nota. Tomado de (Castro G. V., 2006)

Para calcular el coeficiente D_o se utiliza la siguiente formula:

- Coeficiente D_o :

$$\text{Ec. (12)} \quad D_o = \frac{1-\mu_s}{1-0.5\mu_s} * C_o$$

$$D_o = 0.63 \frac{kg}{cm^3}$$

3.2.8. Calcular los Coeficientes de Compresión y Desplazamiento

Este modelo a diferencia de otros modelos que se encargan de determinar los coeficientes de desplazamiento y rotación de la base de la cimentación utilizan las dimensiones de la base de cimentación, de tal forma no se consideran las propiedades inerciales del suelo,

es decir, estas fórmulas que emplearemos en esta investigación son dependientes con la base de la cimentación.

Para determinar los coeficientes de desplazamiento y rotación en la base de la cimentación deben emplearse las siguientes fórmulas:

- Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme: $C_x - C_y$

$$\text{Ec. (13)} \quad C_x = C_y = C_o \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

- Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\phi x}$

$$\text{Ec. (14)} \quad C_{\phi x} = C_o \left(1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A} \right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

- Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\phi y}$

$$\text{Ec. (15)} \quad C_{\phi y} = C_o \left(1 + \frac{2(3a+b)}{\Delta A} \right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

Donde:

C_x - Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

Δ - Coeficiente empírico igual a 1m

$C_z - C_{\phi x} - C_{\phi y}$ - Coeficiente de compresión elástica uniforme y no uniforme

p - Presión estática

$D_o - C_o$ - Coeficiente determinado a través de experimentos realizados para $P = P_o$

ν - Coeficiente de poisson del suelo

$a - b$ - Dimensiones de la cimentación en los ejes x e y

$a - b$ - Dimensiones de la cimentación en los ejes x e y

Tabla 13. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Esquinas

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	$C_x \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_y \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_z \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi x} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi y} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$
Arcilla	5876	5876	7458	12915	13370
Blanda					

Elaborado: Autor

Tabla 14. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Laterales

Zapatas Laterales					
Tipo de Suelo	$C_x \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_y \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_z \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi x} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi y} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$
Arcilla					
Blanda	5023	5023	6376	10754	11028

Elaborado: Autor

Tabla 15. Coeficientes de Compresión y Desplazamiento de Zapatas Centrales

Zapatas Centrales					
Tipo de Suelo	$C_x \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_y \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_z \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi x} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$	$C_{\phi y} \left(\frac{ton}{m^3}\right)$
Arcilla					
Blanda	5660	5660	7183	12229	11963

Elaborado: Autor

3.2.9. Determinar los Coeficientes de Rigidez de Desplazamiento y Compresión

- Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme: K_z

$$\text{Ec. (16)} \quad K_z = C_z * A$$

- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme $K_x - K_y$

$$\text{Ec. (17)} \quad K_x = K_y = C_x * A$$

- Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme: $K_{\phi x}$

$$\text{Ec. (18)} \quad K_{\phi x} = C_{\phi x} * I_x$$

- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme: $K_{\phi y}$

$$\text{Ec. (19)} \quad K_{\phi y} = C_{\phi y} * I_y$$

- Coeficiente de compresión elástica uniforme: C_z

$$\text{Ec. (20)} \quad C_z = C_o \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

Donde:

$C_z - C_{\phi}$ - Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

C_x - Coeficientes de desplazamiento elástico uniforme

A - Área de la base de la cimentación

$I_x - I_y$ - Momentos de inercia de la cimentación respecto a los ejes x e y

Tabla 16. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamiento de Zapatas

Esquinas

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	$K_x \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_y \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_z \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_{\phi x} \text{ (ton*m)}$	$K_{\phi y} \text{ (ton*m)}$
Arcilla	9166.56	9166.56	11634.48	2417.60	2937.39
Blanda					

Elaborado: Autor

Tabla 17. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamiento de Zapatas

Laterales

Zapatas Laterales					
Tipo de Suelo	$K_x \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_y \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_z \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_{\phi x} \text{ (ton*m)}$	$K_{\phi y} \text{ (ton*m)}$
Arcilla	13662.56	13662.56	17342.72	6240.19	7224.08
Blanda					

Elaborado: Autor

Tabla 18. Coeficientes de Rigidez de Compresión y Desplazamiento de Zapatas

Centrales

Zapatas Centrales					
Tipo de Suelo	$K_x \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_y \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K_z \left(\frac{ton}{m}\right)$	$K\phi_x \text{ (ton*m)}$	$K\phi_y \text{ (ton*m)}$
Arcilla	19357.2	19357.2	24565.86	12581.81	11046.63
Blanda					

Elaborado: Autor

3.2.10. Modelo Norma Rusa SNIP 2.02.05**3.2.11. Calcular las Masas Traslacionales de las zapatas**

Para calcular las masas traslacionales de las zapatas, tanto esquineras, laterales y centrales utilizaremos la siguiente fórmula:

- Masas traslacionales de las zapatas: M_t

$$\text{Ec. (21)} \quad M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{p_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c * a * b * c}{g}$$

Tabla 19. Masas Traslacionales de las Zapatas

Masas Traslacionales	Zapatas		
	Esquineras	Laterales	Centrales
$M_t \left(\frac{ton*s^2}{m}\right)$	0.114	0.200	0.418

Elaborado: Autor

3.2.12. Calcular las Masas Rotacionales de las zapatas

Para calcular las masas rotacionales de las zapatas, tanto esquineras, laterales y centrales utilizaremos la siguiente fórmula:

- Masa rotacional respecto a eje X: $M_{\varphi x'}$

$$\text{Ec. (22)} \quad M_{\varphi x'} = Mt * d^2 + Imx = Mt\left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(b^2+c^2)}{12}$$

- Masa rotacional respecto a eje Y: $M_{\varphi y'}$

$$\text{Ec. (23)} \quad M_{\varphi y'} = Mt * d^2 + Imy = Mt\left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(a^2+c^2)}{12}$$

- Masa rotacional respecto a eje Z: $M_{\psi z'}$

$$\text{Ec. (24)} \quad M_{\psi z'} = Imz = \frac{Mt(a^2+b^2)}{12}$$

Donde:

d Distancia desde el centro de gravedad de la masa de la zapata hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación

Imx, Imy, Imz Momentos de inercia respecto a x, y, z.

Tabla 20. Masas Rotacionales de las Zapatas

Masas Rotacionales	Zapatas		
	Esquineras	Laterales	Centrales
$M_{\varphi x'} (ton * m * s^2)$	0.017	0.049	0.161
$M_{\varphi y'} (ton * m * s^2)$	0.020	0.054	0.148
$M_{\psi z'} (ton * m * s^2)$	0.030	0.091	0.239

Elaborado: Autor

3.2.13. Coeficiente b_o

El coeficiente b_o se asume para suelos arenosos con un valor igual a 1; para arenas arcillosas un valor de 1.2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1.5.

$$\text{Ec. (25)} \quad b_o = 1.5 \, m^{-1}$$

3.2.14. Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme

Esta norma rusa SNIP 2.02.05-87 para los coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme, desplazamiento elástico uniforme y no uniforme se establecen las siguientes formulas:

- Coeficiente de compresión elástica uniforme: C_z

$$\text{Ec. (26)} \quad C_z = b_o * Ms \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Donde:

b_o Coeficiente empírico del suelo

Ms - Módulo de deformación del suelo

A_{10} - 10 m²

A - Área de la cimentación

Tabla 21. Coeficientes de Compresión Elástica de las Zapatas

Zapatas			
	Esquinas	Laterales	Centrales
$C_z \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right)$	6369.223	5261.169	4887.063

Elaborado: Autor

3.2.15. Cálculo de Coeficientes de Desplazamiento Elástico Uniforme, Compresión

Elástica no Uniforme, Desplazamiento Elástico no Uniforme

Para determinar los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme, desplazamiento elástico no uniforme se emplean las siguientes fórmulas:

- Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme: C_x

$$\text{Ec. (27)} \quad C_x = C_y = 0.7 * C_z$$

- Coeficiente de compresión elástica no uniforme: $C_{\varphi x}$

$$\text{Ec. (28)} \quad C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 * C_z$$

- Coeficiente de desplazamiento elástico no uniforme: C_{ψ}

$$\text{Ec. (29)} \quad C_{\psi z} = C_z$$

Tabla 22. Cálculo de Coeficientes de Desplazamiento Elástico Uniforme, Compresión Elástica no Uniforme, Desplazamiento Elástico no Uniforme

Zapatas			
	Esquineras	Laterales	Centrales
$C_x = C_y \left(\frac{ton}{m^3} \right)$	4458.456	3682.818	3420.994
$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} \left(\frac{ton}{m^3} \right)$	12738.446	10522.337	9774.125
$C_{\psi z} \left(\frac{ton}{m^3} \right)$	6369.223	5261.169	4887.063
Elaborado: Autor			

3.2.16. Cálculo de Coeficientes de Rigidez

Para los coeficientes de rigidez propuestos en la norma rusa SNIP 2.02.0587 se establecen las siguientes formulas:

- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme: $K_x - K_y$

$$\text{Ec. (30)} \quad K_x = K_y = C_x * A$$

- Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme: K_z

$$\text{Ec. (31)} \quad K_z = C_z * A$$

- Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme: $K_{\varphi x} - K_{\varphi y}$

$$\text{Ec. (32)} \quad K_{\varphi x} = C_{\varphi x} * I_x$$

$$\text{Ec. (33)} \quad K_{\varphi y} = C_{\varphi y} * I_y$$

- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme: $K_{\psi z}$

$$\text{Ec. (34)} \quad K_{\psi z} = C_{\psi z} * I_z$$

Donde:

A - Área de la base de la cimentación

$I_x - I_y$ - Momentos de inercia de la cimentación respecto a los ejes x e y

I_z - Momento polar de inercia

Tabla 23. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Esquinas

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	Kx = Ky $(\frac{ton}{m})$	Kz $(\frac{ton}{m})$	Kϕx (ton*m)	Kϕy (ton*m)	Kψz (ton*m)
Arcilla	6955.191	9935.988	2384.637	2798.636	2591.637
Blanda					

Elaborado: Autor

Tabla 24. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Laterales

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	Kx = Ky $(\frac{ton}{m})$	Kz $(\frac{ton}{m})$	Kϕx (ton*m)	Kϕy (ton*m)	Kψz (ton*m)
Arcilla	10017.265	14310.379	6105.762	6892.832	6499.297
Blanda					

Elaborado: Autor

Tabla 25. Coeficientes de Rigidez de Zapatas Centrales

Zapatas Centrales					
Tipo de Suelo	K_x = K_y ($\frac{ton}{m}$)	K_z ($\frac{ton}{m}$)	Kϕ_x (ton*m)	Kϕ_y (ton*m)	Kψ_z (ton*m)
Arcilla	11699.628	16713.754	10056.108	9025.427	9540.768
Blanda					

Elaborado: Autor

3.2.17. Cálculo del Parámetro de Amortiguamiento B_z

Respecto a las propiedades de amortiguación del suelo, debemos considerar las amortiguaciones relativas representadas como β , las cuales son determinadas mediante ensayos de laboratorio. En tal caso no existan datos de laboratorio, las propiedades de amortiguación se pueden obtener empleando las siguientes formulas:

- Vibraciones Verticales: B_z

$$\text{Ec. (35)} \quad B_z = 2 * \sqrt{\frac{E}{C_z * P_m}}$$

Donde:

E - Módulo de elasticidad de la base de cimentación

C_z - Coeficiente de compresión elástica uniforme

P_m - Presión estática media en la base de la cimentación

La presión estática media en la base de la cimentación se obtiene mediante el estudio de suelos, este es un valor experimental según el tipo de suelo, el cual no da un valor de:

- P_m : Presión Estática Media en la base de la Cimentación

$$\text{Ec. (36)} \quad P_m = 45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Tabla 26. Parámetro de Amortiguamiento de las Zapatas

Zapatas			
	Esquineras	Laterales	Centrales
$\beta_z \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right)$	0.3886	0.4276	0.4436

Elaborado: Autor

3.2.18. Cálculo del Parámetro de la Amortiguación Relativa en Arcilla Blanda

La capacidad portante del suelo se puede determinar mediante fórmulas, estudio de suelo o también se lo puede obtener mediante tablas.

Respecto a las amortiguaciones relativas para vibraciones horizontales y rotacionales respecto a los ejes x e y, la norma establece las siguientes formulas:

$$\text{Ec. (37)} \quad \beta_x = 0.6 * \beta_z$$

$$\text{Ec. (38)} \quad \beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0.5 * \beta_z$$

$$\text{Ec. (39)} \quad \beta_{\psi z} = 0.3 * \beta_z$$

Tabla 27. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Esquinas

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	β_x	β_y	$\beta_{\varphi x}$	$\beta_{\varphi y}$	$\beta_{\psi z}$
Arcilla	0.223	0.223	0.194	0.194	0.117
Blanda					
Elaborado: Autor					

Tabla 28. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Laterales

Zapatas Laterales					
Tipo de Suelo	β_x	β_y	$\beta_{\varphi x}$	$\beta_{\varphi y}$	$\beta_{\psi z}$
Arcilla	0.257	0.257	0.214	0.214	0.128
Blanda					
Elaborado: Autor					

Tabla 29. Parámetros de Amortiguación Relativa para Zapatas Centrales

Zapatas Centrales					
Tipo de Suelo	β_x	β_y	$\beta_{\varphi x}$	$\beta_{\varphi y}$	$\beta_{\psi z}$
Arcilla	0.226	0.266	0.222	0.222	0.133
Blanda					
Elaborado: Autor					

3.2.19. Cálculo de Características de Amortiguamiento del sistema suelo-cimentación

Para las características de amortiguamiento de la base de la cimentación se emplean las siguientes formulas:

$$\text{Ec. (40)} \quad B_x = B_y = 2 * \beta_x * \sqrt{K_x * M_x}$$

$$\text{Ec. (41)} \quad B_z = 2 * \beta_z * \sqrt{K_z * M_z}$$

$$\text{Ec. (42)} \quad B_{\varphi x} = 2 * \beta_{\varphi x} * \sqrt{K_{\varphi x} * M_{\varphi x}}$$

$$\text{Ec. (43)} \quad B_{\varphi y} = 2 * \beta_{\varphi y} * \sqrt{K_{\varphi y} * M_{\varphi y}}$$

$$\text{Ec. (44)} \quad B_{\psi z} = 2 * \beta_{\psi z} * \sqrt{K_{\psi z} * M_{\psi z}}$$

Donde:

β - Amortiguación relativa

K - Coeficientes de rigidez

M - Masa de cimentación

Tabla 30. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación –
Zapatas Esquinas

Zapatas Esquinas					
Tipo de Suelo	$B_x = B_y$ $(\frac{ton*s}{m})$	$B_z (\frac{ton*s}{m})$	$B\phi_x (ton*m*s)$	$B\phi_y (ton*m*s)$	$B\psi_z (ton*m*s)$
Arcilla Blanda	13.16	26.21	2.487	2.875	2.051

Elaborado: Autor

Tabla 31. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación –
Zapatas Laterales

Zapatas Laterales					
Tipo de Suelo	$B_x = B_y$ $(\frac{ton*s}{m})$	$B_z (\frac{ton*s}{m})$	$B\phi_x (ton*m*s)$	$B\phi_y (ton*m*s)$	$B\psi_z (ton*m*s)$
Arcilla Blanda	22.944	45.706	7.364	8.254	6.227

Elaborado: Autor

Tabla 32. Características de amortiguamiento del sistema Suelo-Cimentación –

Zapatas Centrales

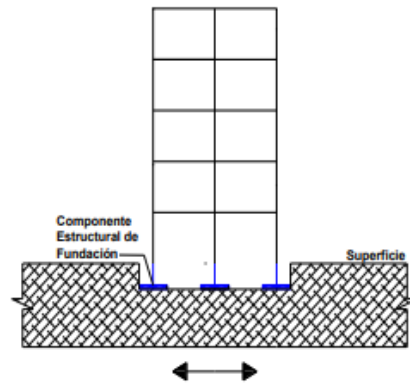
Zapatas Centrales					
Tipo de Suelo	$B_x = B_y$ $(\frac{ton*s}{m})$	$B_z (\frac{ton*s}{m})$	$B\phi_x (ton*m*s)$	$B\phi_y (ton*m*s)$	$B\psi_z (ton*m*s)$
Arcilla	37.244	74.192	17.835	16.204	12.705
Blanda					

Elaborado: Autor

3.3.Tercera Fase

Esta etapa se enfocará en el modelamiento y el análisis dinámico de la estructura mediante el tipo de análisis de modelo sísmico con base empotrada empleando el programa de análisis estructural ETABS.

Ilustración 21. Estructura considerando Enfoque Tradicional

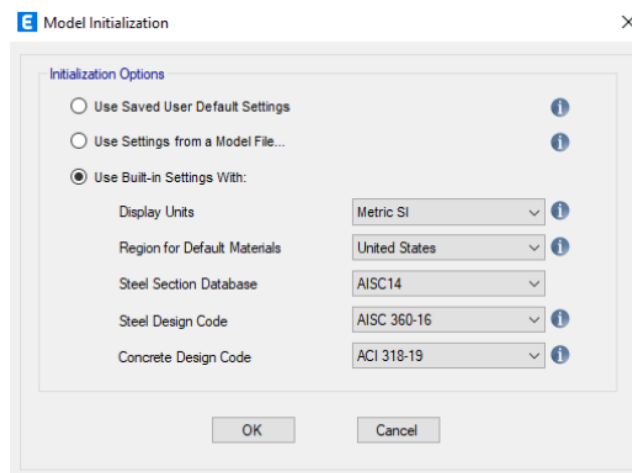


Nota. Tomado de (Viscarra et al., 2022)

3.3.1. Modelamiento de la Estructura en ETABS y analizar modelo Empotrado

3.3.2. Establecer el sistema métrico, diseño de código de acero y hormigón.

Ilustración 22. Sistema métrico, diseño de código de acero y hormigón.



Fuente: Etabs

3.3.3. Crear las rejillas o ejes en base a la estructura a analizar.

Ilustración 23. Sistema de rejillas o ejes.

Grid System Data

Grid System Name

TESIS - CERNA - CORDERO

System Origin

Global X0 m

Global Y0 m

Rotation0 deg

Story Range Option

☒ Default - All Stories

☐ User Specified

Top Story

Story4

Bottom Story

Base

Click to Modify/Show:

Reference Points...

Reference Planes...

Options

Bubble Size

1,25 m

Grid Color

(A) (D) (J) (C) (F) (G) (H)

(5) (7) (6) (4) (3) (2) (1)

Rectangular Grids

☒ Display Grid Data as Ordinates

☐ Display Grid Data as Spacing

Quick Start New Rectangular Grids...

X Grid Data

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	0	Yes	End
D	0.7	Yes	End
J	2.2	Yes	End
C	3.7	Yes	End
F	6.5	Yes	End
G	9.3	Yes	End

Add

Delete

Sort

Y Grid Data

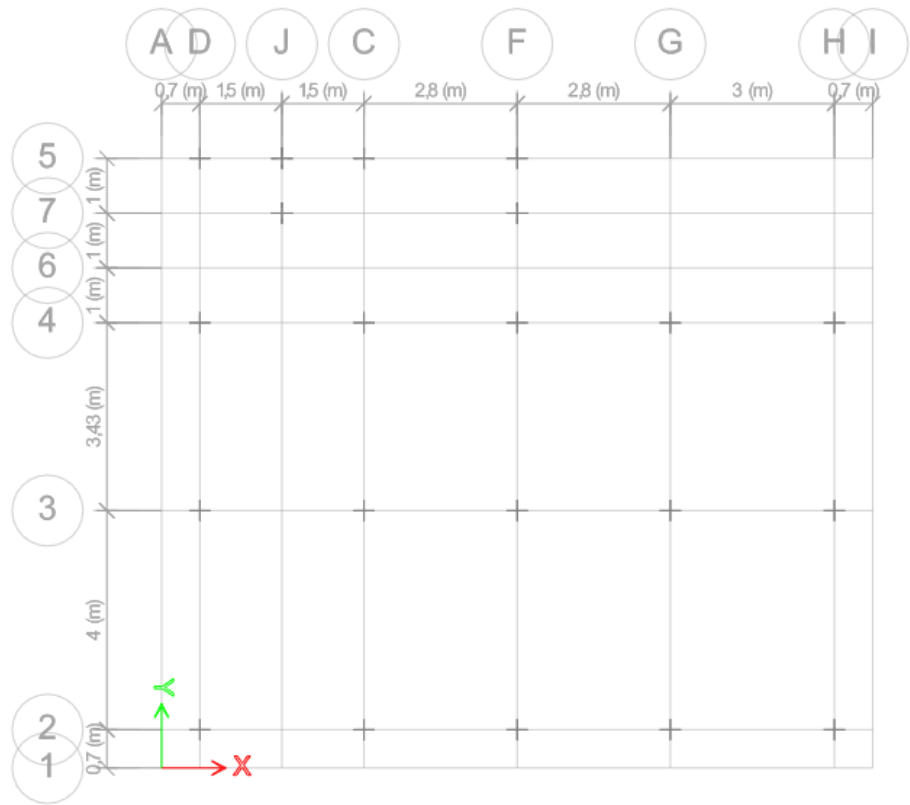
Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	Start
2	0.7	Yes	Start
3	4.7	Yes	Start
4	8.13	Yes	Start
6	9.13	Yes	Start
7	10.13	Yes	Start

Add

Delete

Sort

Fuente: Etabs



Fuente: Etabs

3.3.4. Definir los materiales.

Hormigón:

Ilustración 24. Definir Hormigón

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a Concrete material. The 'General Data' section includes fields for Material Name (set to 'C20'), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (magenta), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (2.4028 tonf/m³) and Mass per Unit Volume (0.245014 tonf-s³/m⁴). The 'Mechanical Property Data' section includes fields for Modulus of Elasticity, E (2043284.12 tonf/m²), Poisson's Ratio, U (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000099 1/C), and Shear Modulus, G (851368.38 tonf/m²). The 'Design Property Data' section has a button 'Modify/Show Material Property Design Data...'. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. The 'Modulus of Rupture for Cracked Deflections' section has radio buttons for 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' (selected) and 'User Specified'.

Fuente: Etabs

Acero:

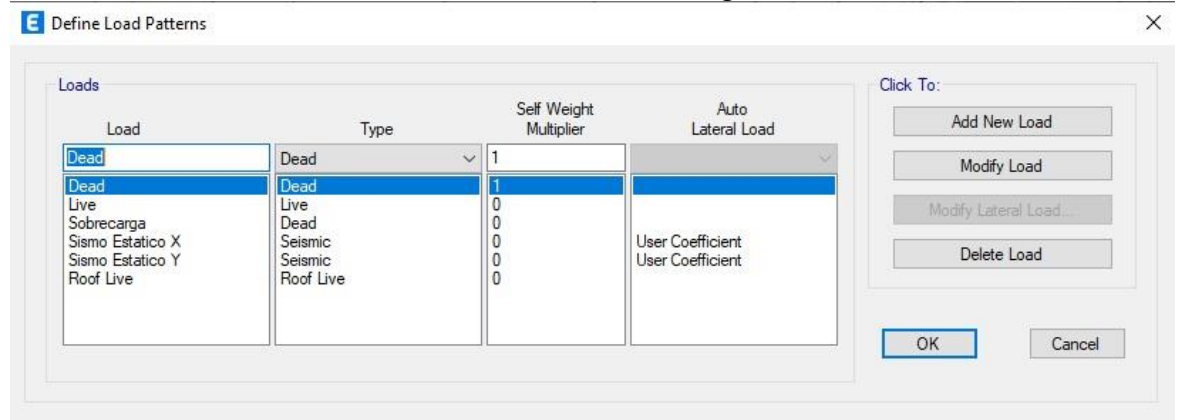
Ilustración 25. Definir Acero

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a Rebar material. The 'General Data' section includes fields for Material Name (set to 'A420'), Material Type (Rebar), Directional Symmetry Type (Uniaxial), Material Display Color (yellow), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (7.849 tonf/m³) and Mass per Unit Volume (0.80038 tonf-s³/m⁴). The 'Mechanical Property Data' section includes fields for Modulus of Elasticity, E (20389019.16 tonf/m²) and Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000117 1/C). The 'Design Property Data' section has a button 'Modify/Show Material Property Design Data...'. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. The 'Modulus of Rupture for Cracked Deflections' section has radio buttons for 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' (selected) and 'User Specified'.

Fuente: Etabs

3.3.5. Definir los casos de cargas.

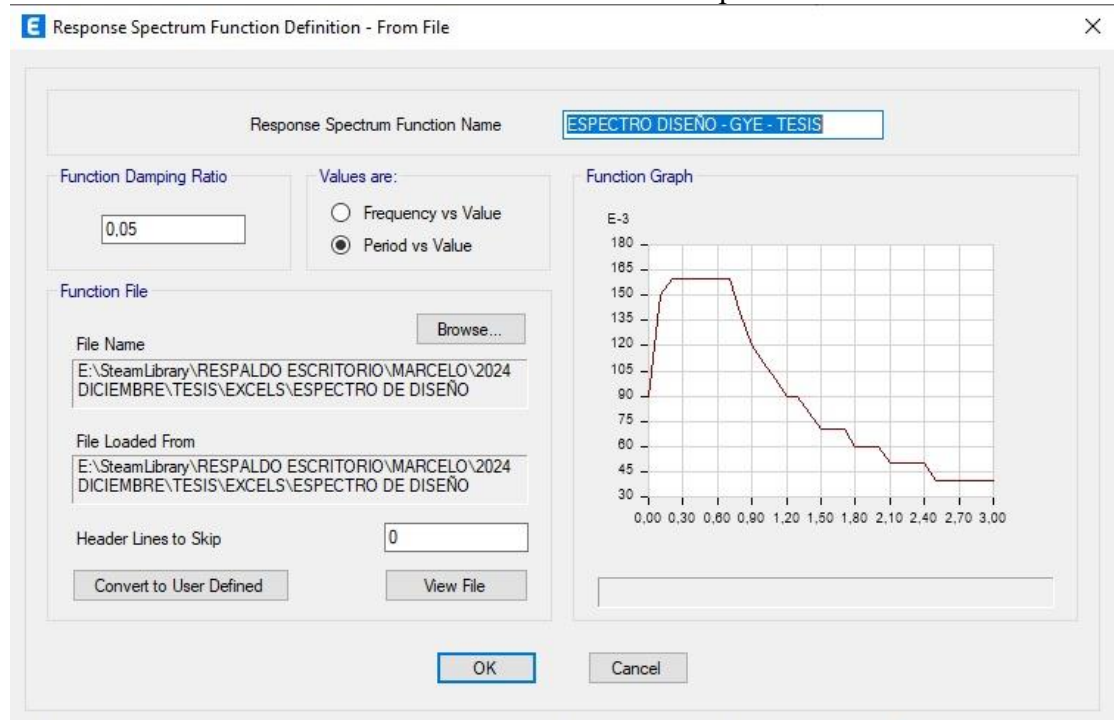
Ilustración 26. Definir casos de cargas



Fuente: Etabs

3.3.6. Crear la función del espectro.

Ilustración 27. Crear la función del espectro



Fuente: Etabs

3.3.7. Generar sismo dinámico.

Ilustración 28. Sismo Dinámico X

Load Case Data

General

Load Case Name

Sismo Dinamico - X

Design...

Load Case Type

Response Spectrum

Notes...

Mass Source

Previous (Carga Aplicativa)

Analysis Model

Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO DISEÑ...	9.81
Acceleration	U2	ESPECTRO DISEÑ	2.94

Add

Delete

☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case

Modal

Modal Combination Method

CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1

Rigid Frequency, f2

Periodic + Rigid Type

Earthquake Duration, td

Directional Combination Type

SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor

Modal Damping

Constant at 0.05

Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity

0 for All Diaphragms

Modify/Show...

OK

Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 29. Sismo Dinámico Y

Load Case Data

General

Load Case Name

Sismo Dinamico -Y

Design...

Load Case Type

Response Spectrum

Notes...

Mass Source

Previous (Carga Aplicativa)

Analysis Model

Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO DISEÑ...	9.81
Acceleration	U1	ESPECTRO DISEÑ	2.94

Add

Delete

☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case

Modal

Modal Combination Method

CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1

Rigid Frequency, f2

Periodic + Rigid Type

Earthquake Duration, td

Directional Combination Type

SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor

Modal Damping

Constant at 0.05

Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity

0 for All Diaphragms

Modify/Show...

OK

Cancel

Fuente: Etabs

3.3.8. Generar mass source.

Ilustración 30. Generar Mass Source

Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

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

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Dead	1
Sobrecarga	1

Mass Options

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

OK Cancel

Fuente: Etabs

3.3.9. Crear las secciones de los elementos.

Ilustración 31. Creación de sección de vigas longitudinales

Frame Section Property Data

General Data

Property Name:

Material:

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: m

Width: m

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Currently User Specified

Reinforcement

OK Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 32. Creación de sección de vigas transversales

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Vigas Transversales

Material: $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0,4 m

Width: 0,25 m

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 33. Creación de sección de columnas esquinas

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Columnas Esquinas

Material: $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0,4 m

Width: 0,35 m

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 34. Creación de sección de Columnas Laterales

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name:

Material:

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: m

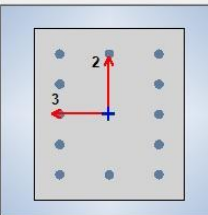
Width: m

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Currently User Specified

Reinforcement



Fuente: Etabs

Ilustración 35. Creación de sección de Columnas Laterales

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name:

Material:

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: m

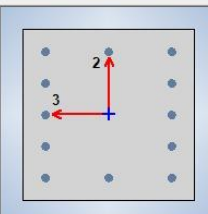
Width: m

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Currently User Specified

Reinforcement



Fuente: Etabs

Ilustración 36. Creación de sección de Columnas Centrales

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Columns Centrales

Material: $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.45 m

Width: 0.45 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

OK Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 37. Creación de sección de Losa Alivianada

Slab Property Data

General Data

Property Name: Losa Alivianada

Slab Material: $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Waffle

Overall Depth: 0.2 m

Slab Thickness: 0.05 m

Stem Width at Top: 0.1 m

Stem Width at Bottom: 0.1 m

Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 1-Axis: 0.5 m

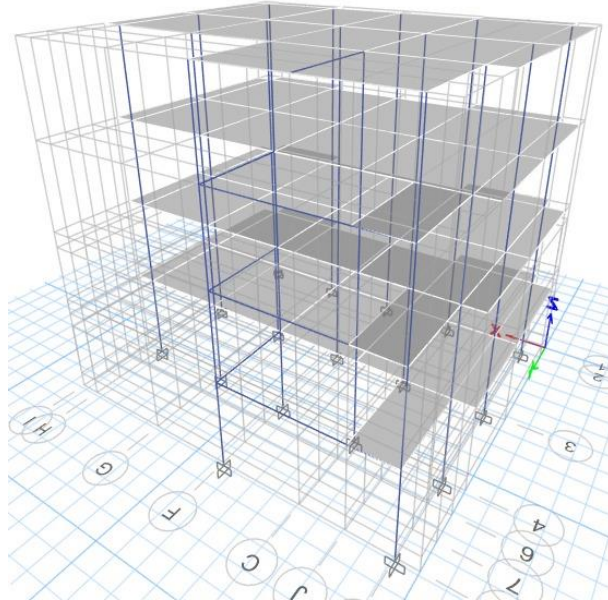
Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 2-Axis: 0.5 m

OK Cancel

Fuente: Etabs

3.3.10. Colocación de columnas, vigas y losas.

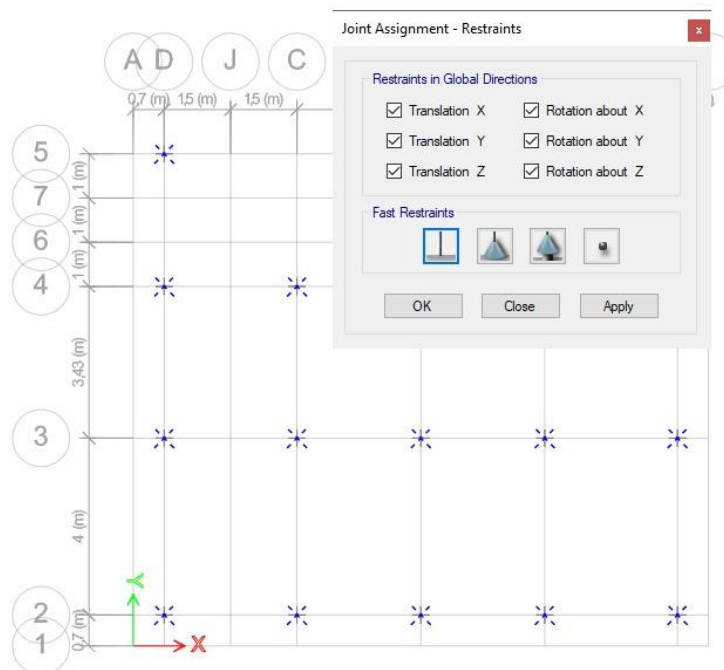
Ilustración 38. Colocación de columnas, vigas y losas.



Fuente: Etabs

3.3.11. Seleccionar apoyos en columnas.

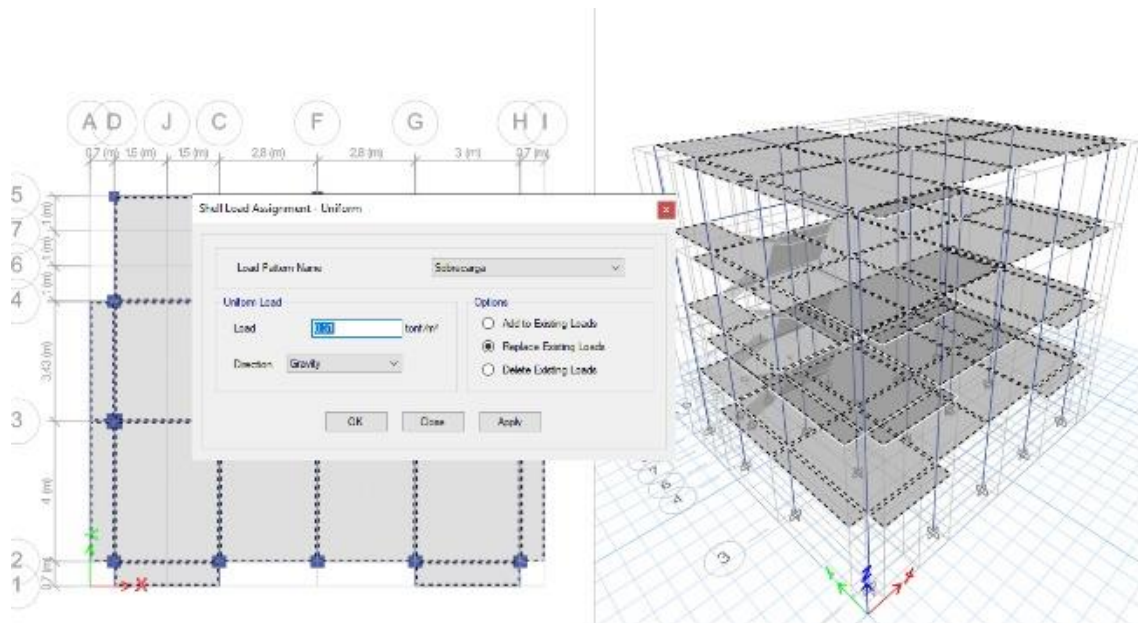
Ilustración 39. Colocar apoyos empotrados en las columnas



Fuente: Etabs

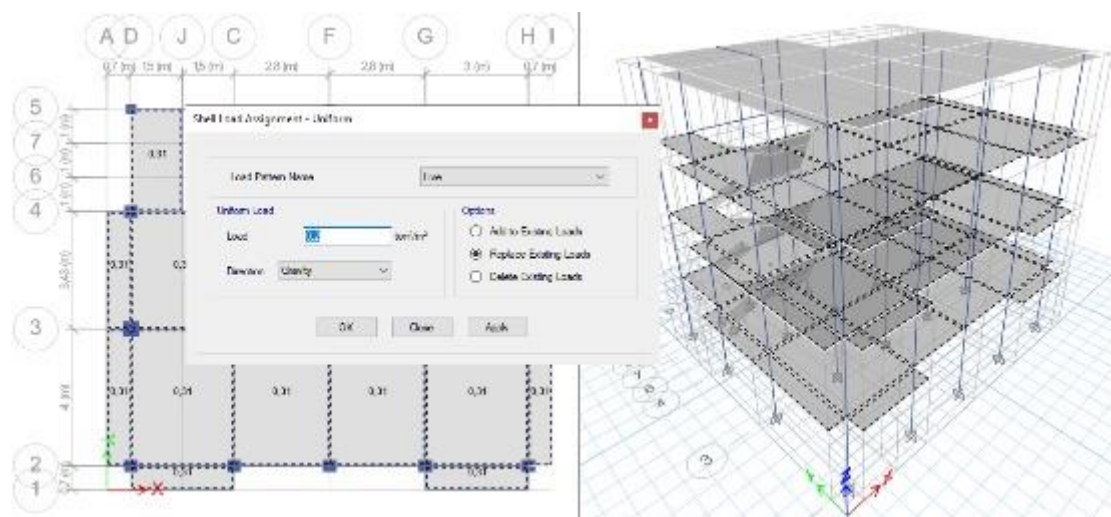
3.3.12. Colocar las cargas en las losas

Ilustración 40. Colocar la sobrecarga en la losa



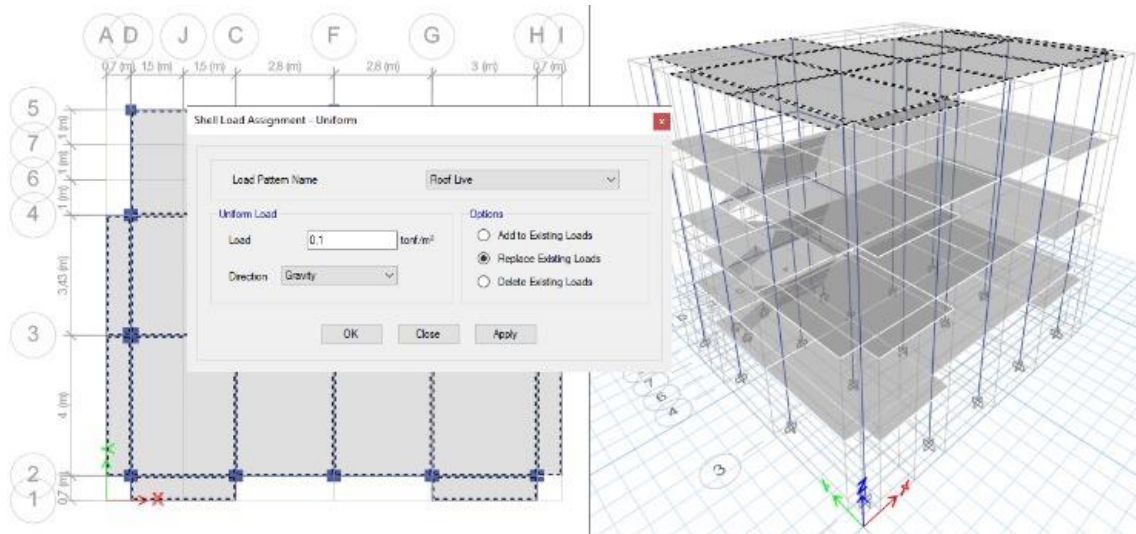
Fuente: Etabs

Ilustración 41. Colocar la carga viva – Piso 1-2-3



Fuente: Etabs

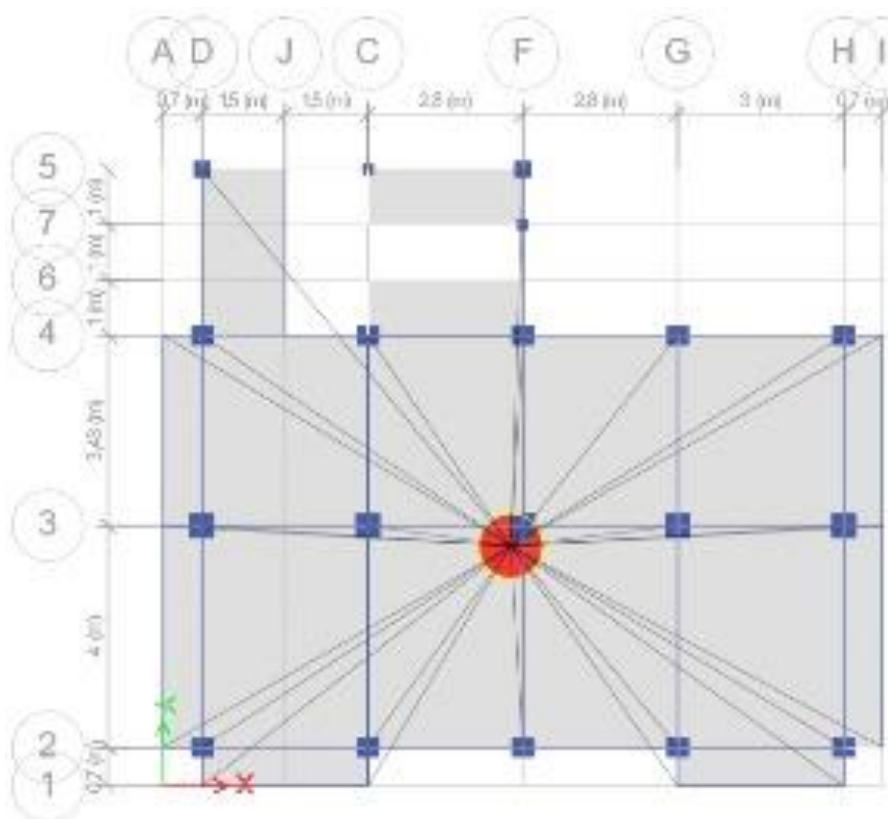
Ilustración 42. Colocar la carga viva – Piso 4



Fuente: Etabs

3.3.13. Colocar Diafragmas

Ilustración 43. Colocar los diafragmas – Piso 1-2-3-4



Fuente: Etabs

3.3.14. Resultados – Modelo Empotrado

- Períodos de Vibración

Ilustración 44. Períodos de Vibración – Modelo Empotrado

TABLE: Modal Participating Mass Ratios		
Case	Mode	Period
		sec
Modal	1	0.658
Modal	2	0.633
Modal	3	0.589
Modal	4	0.197
Modal	5	0.195
Modal	6	0.183
Modal	7	0.106
Modal	8	0.104
Modal	9	0.1
Modal	10	0.074
Modal	11	0.071
Modal	12	0.069

Elaborado: Autor

- Fuerzas Cortantes en la Base

Ilustración 45. Fuerzas Cortantes en la Base – Empotrado

TABLE: Base Reactions												
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	m	m	m
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	1	-60.1232	0	0	0	-539.5516	287.1202	0	0	0
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	2	-60.1232	0	0	0	-539.5516	299.0504	0	0	0
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	3	-60.1232	0	0	0	-539.5516	275.1899	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-60.1232	0	539.5516	0	-372.9059	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-60.1232	0	539.5516	0	-386.8406	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-60.1232	0	539.5516	0	-358.9712	0	0	0
Sismo Dinámico - X	LinRespSpec	Max		50.5272	15.5679	0	137.9169	449.7808	282.4027	0	0	0
Sismo Dinámico -Y	LinRespSpec	Max		15.3083	51.4027	0	455.2869	136.2559	322.6059	0	0	0

Fuente: Etabs

- Desplazamientos en Techo

Ilustración 46. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.7884	0.0236	0.000206	0.000687	0.000779
Story4	2	56	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.7169	0.0238	0.000183	0.000685	0.000779
Story4	3	66	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.7884	0.02	0.000185	0.000823	0.000779
Story4	4	61	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.7169	0.0165	0.000213	0.000878	0.000779
Story4	5	71	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.4824	0.7884	0.0063	0.000255	0.000869	0.000779
Story4	7	86	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.6613	0.0072	0.000176	0.000535	0.000779
Story4	8	91	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.6032	0.0054	0.000162	0.000564	0.000779
Story4	9	96	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.6208	0.0065	0.000163	0.000535	0.000779
Story4	10	101	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.6613	0.0075	0.000143	0.000561	0.000779
Story4	11	106	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.6032	0.0051	0.000132	0.000612	0.000779
Story4	12	111	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.6208	0.0069	0.000163	0.000685	0.000779
Story4	13	116	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.7884	0.0193	0.000233	0.00084	0.000779
Story4	14	121	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.7169	0.0194	0.000212	0.00084	0.000779
Story4	15	36	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.6613	0.0008	0.000198	0.000683	0.000779
Story4	16	41	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.6032	0.0009	0.000179	0.000678	0.000779
Story4	17	46	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.6208	0.0009	0.000183	0.000684	0.000779
Story4	6	1	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.4824	0.6032	0.0056	0.000156	0.000797	0.000779
Story4	18	7	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.7481	0.0661	0.000133	0.000581	0.000779
Story4	20	8	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.7481	0.0689	0.000109	0.00066	0.000779
Story4	21	15	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.7481	0.0706	0.000096	0.000745	0.000779
Story4	22	19	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9479	0.7169	0.03	0.000149	0.000398	0.000779
Story4	23	23	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9479	0.6208	0.0156	0.000142	0.000269	0.000779
Story4	24	27	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9479	0.6613	0.0171	0.000153	0.00027	0.000779
Story4	25	31	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9479	0.7884	0.0306	0.000169	0.000398	0.000779
Story4	26	75	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		1.9745	0.8248	0.066	0.000141	0.000583	0.000779
Story4	27	79	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1473	0.8248	0.0686	0.000119	0.000657	0.000779
Story4	28	83	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3186	0.8248	0.0719	0.000082	0.000707	0.000779
Story4	19	137	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.4824	0.6613	0.0154	0.000014	0.000297	0.000779
Story4	31	5	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.1544	0.6057	0	0	0	0.000779

Fuente: Etabs

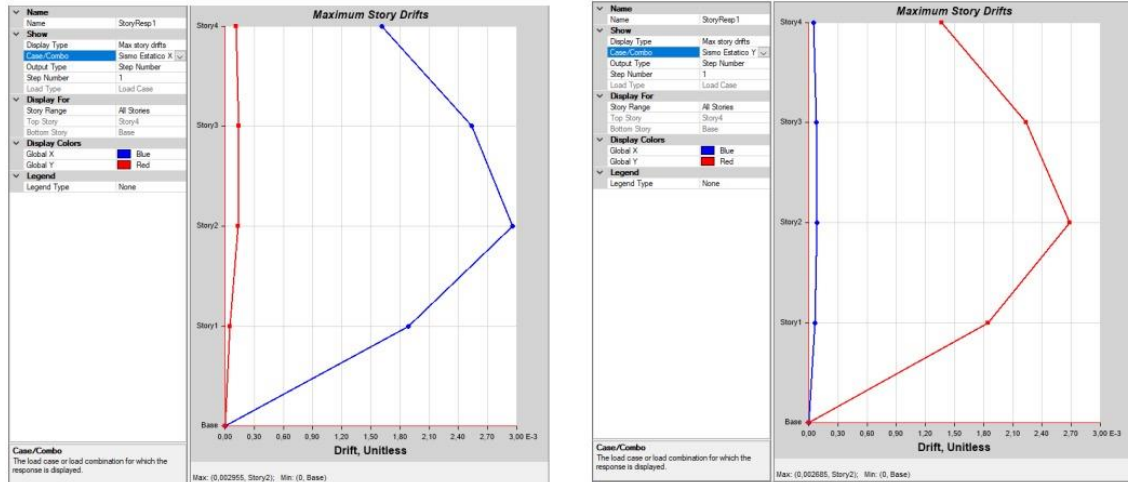
Ilustración 47. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	2.179	0.0191	0.000584	0.000224	0.000612
Story4	2	56	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	1.8534	0.0187	0.000489	0.00022	0.000612
Story4	3	66	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	2.179	0.0142	0.000481	0.000256	0.000612
Story4	4	61	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	1.8534	0.0215	0.000494	0.000271	0.000612
Story4	5	71	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8196	2.179	0.0166	0.000624	0.000317	0.000612
Story4	7	86	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	2.0765	0.0192	0.000555	0.000172	0.000612
Story4	8	91	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	1.9914	0.0177	0.000535	0.000183	0.000612
Story4	9	96	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	1.9178	0.017	0.000509	0.000174	0.000612
Story4	10	101	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	2.0765	0.0206	0.000448	0.000173	0.000612
Story4	11	106	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	1.9914	0.0166	0.000434	0.000189	0.000612
Story4	12	111	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	1.9178	0.0214	0.000505	0.000212	0.000612
Story4	13	116	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	2.179	0.0062	0.000639	0.000254	0.000612
Story4	14	121	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	1.8534	0.0068	0.000543	0.000254	0.000612
Story4	15	36	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	2.0765	0.0027	0.000618	0.000207	0.000612
Story4	16	41	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	1.9914	0.0028	0.00059	0.000205	0.000612
Story4	17	46	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	1.9178	0.0029	0.000562	0.000207	0.000612
Story4	6	1	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8196	1.9914	0.0102	0.000495	0.000266	0.000612
Story4	18	7	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	1.8407	0.027	0.000298	0.000183	0.000612
Story4	20	8	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	1.8407	0.0213	0.0003	0.0002	0.000612
Story4	21	15	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	1.8407	0.0293	0.000289	0.000229	0.000612
Story4	22	19	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6605	1.8534	0.0485	0.000417	0.000137	0.000612
Story4	23	23	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6605	1.9178	0.0489	0.000432	0.000089	0.000612
Story4	24	27	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6605	2.0765	0.0541	0.000475	0.000105	0.000612
Story4	25	31	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6605	2.179	0.0549	0.000494	0.000125	0.000612
Story4	26	75	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6509	2.2045	0.0235	0.000341	0.000198	0.000612
Story4	27	79	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6499	2.2045	0.0208	0.000343	0.000198	0.000612
Story4	28	83	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7189	2.2045	0.0236	0.000246	0.000222	0.000612
Story4	19	137	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8196	2.0765	0.0476	0.000046	0.000104	0.000612
Story4	31	5	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.6517	1.9992	0	0	0	0.000612

Fuente: Etabs

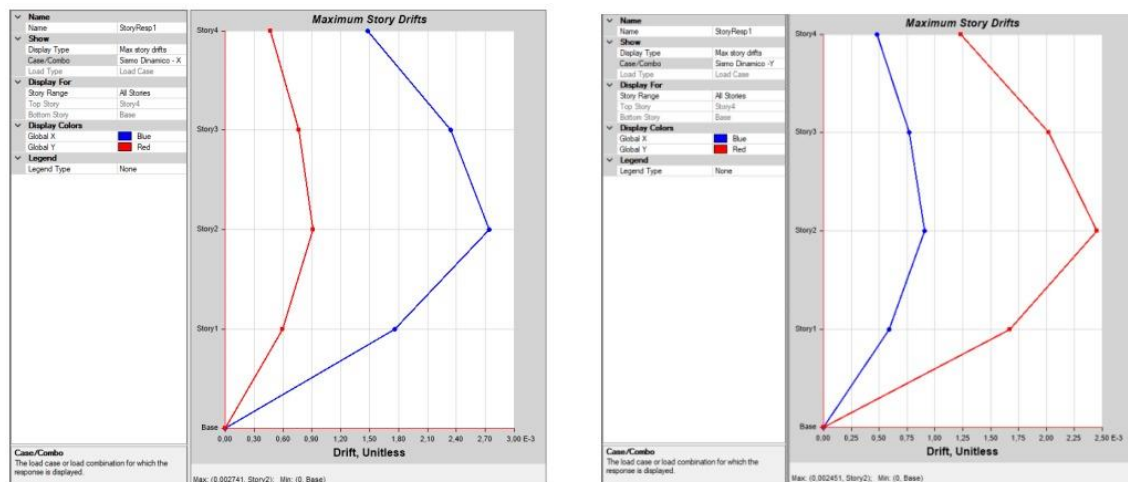
- Derivas de Piso

Ilustración 48. Derivas – Sismos Estáticos



Fuente: Etabs

Ilustración 49. Derivas – Sismos Dinámicos



Fuente: Etabs

Ilustración 50. Revisión de derivas – Modelo Empotrado

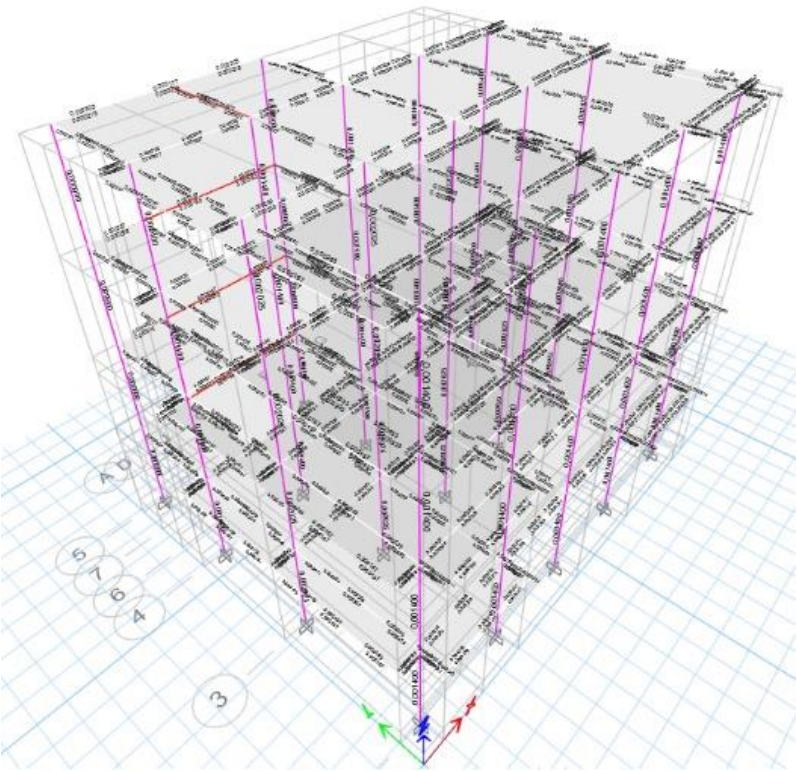
MAX DRIFTS			
SISMO ESTATICO X	SISMO ESTATICO Y	SISMO DINAMICO X	SISMO DINAMICO Y
0.002955	0.002685	0.002741	0.002451

Δ_X	1.32975	<2%
Δ_Y	1.20825	
PORCENTAJE %		

Elaborado: Autor

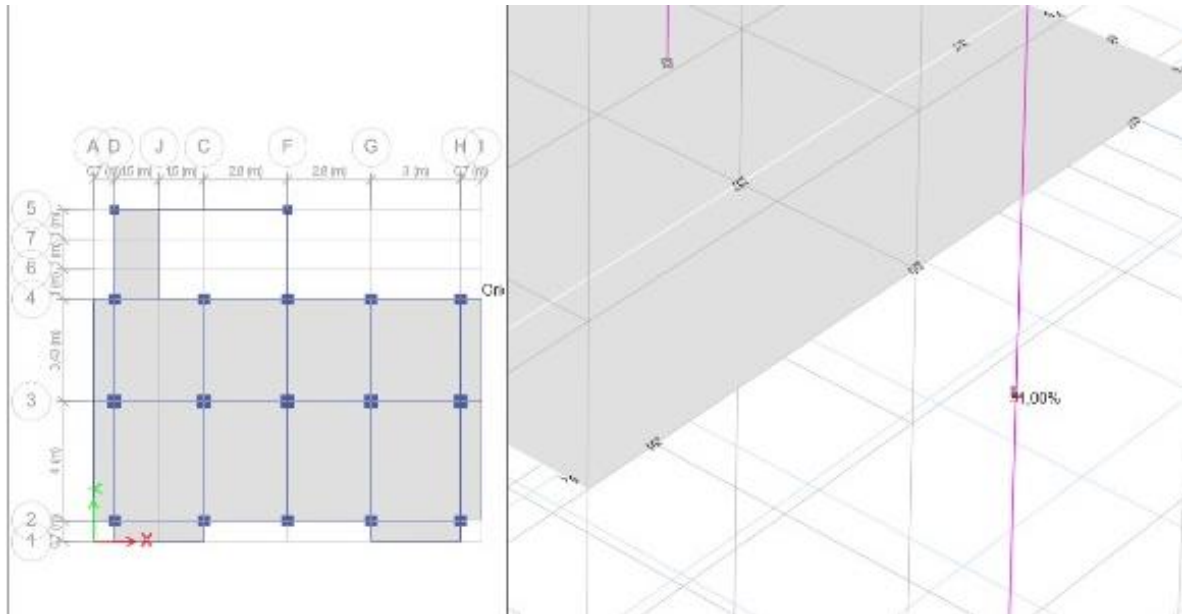
- **Revisión de Aceros**

Ilustración 51. Revisión de aceros – Modelo Empotrado



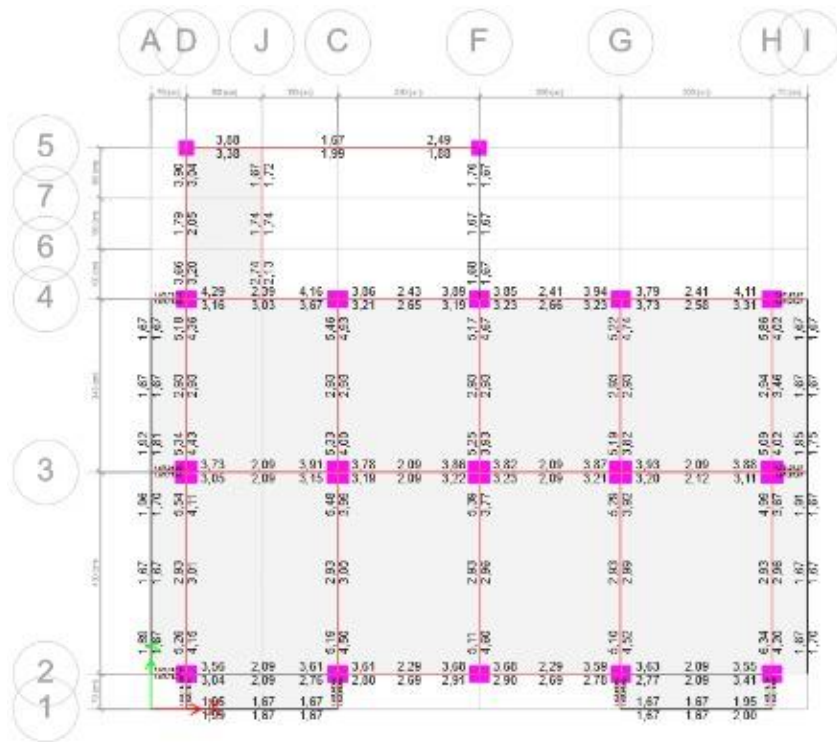
Elaborado: Autor

Ilustración 52. Revisión de aceros en Columnas – Modelo Empotrado



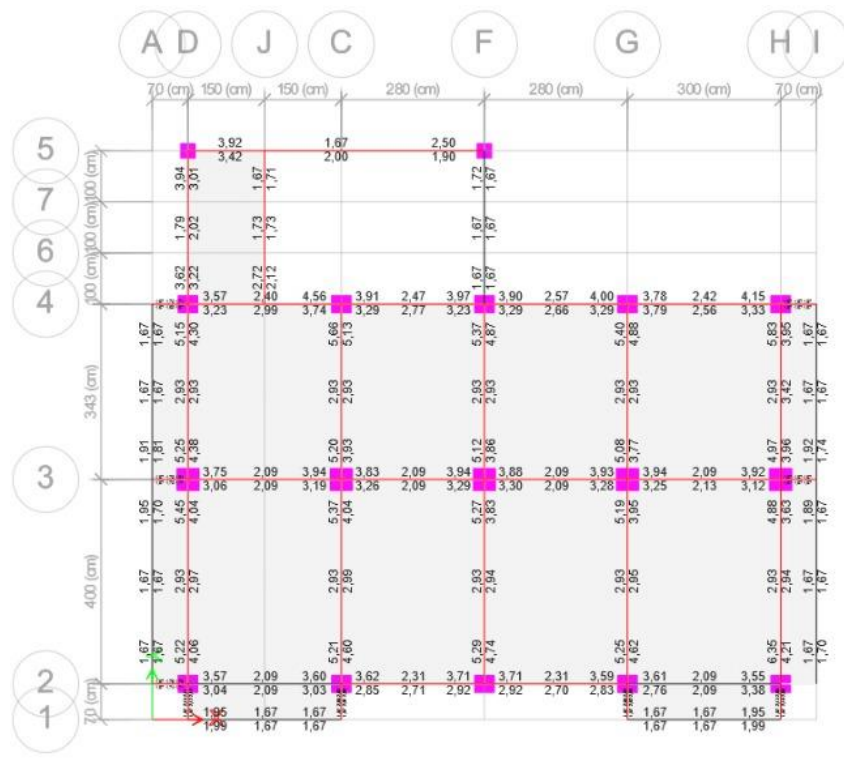
Elaborado: Autor

Ilustración 53. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo Empotrado



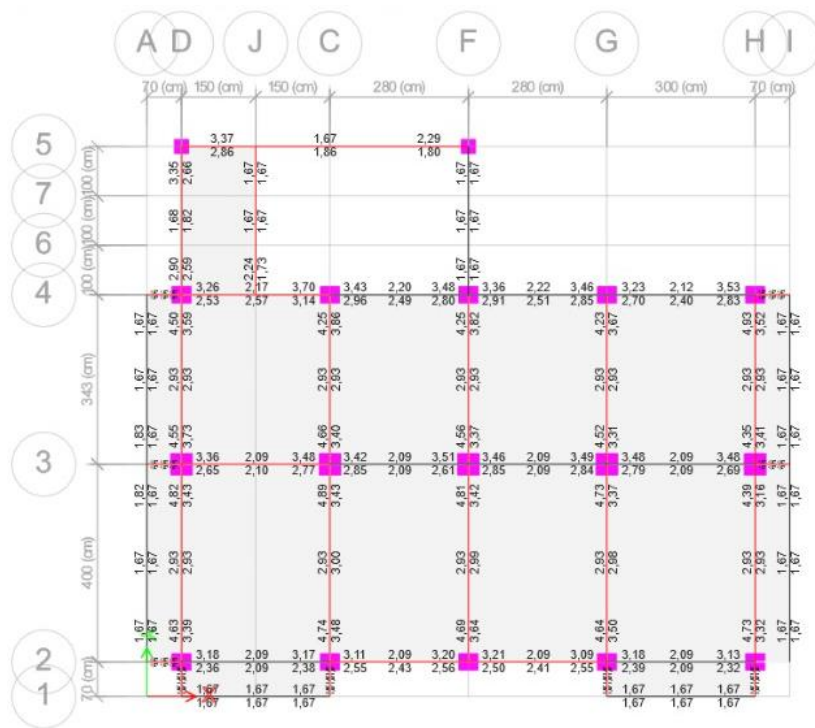
Elaborado: Autor

Ilustración 54. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo Empotrado



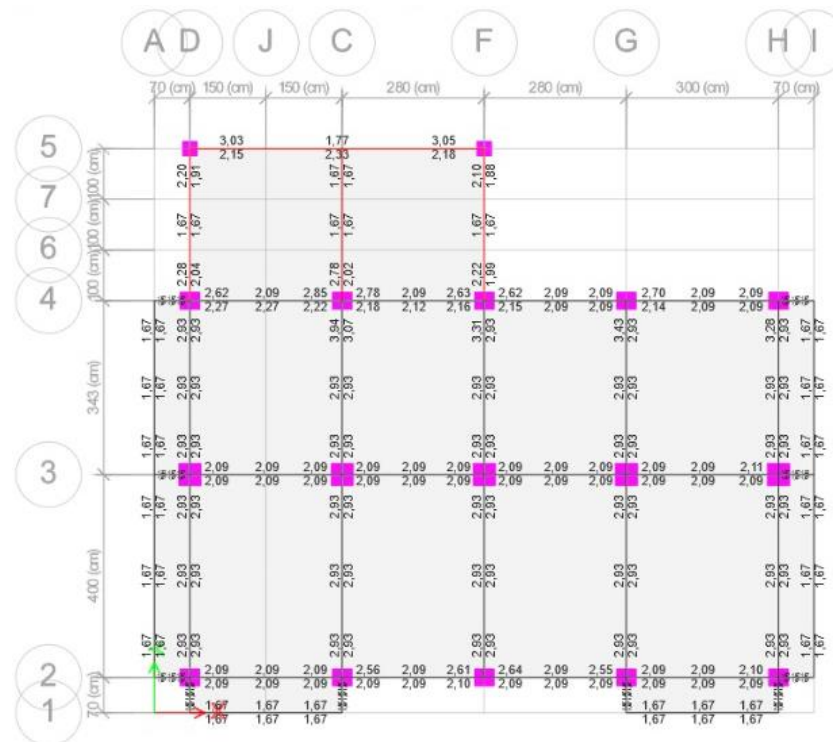
Elaborado: Autor

Ilustración 55. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – Modelo Empotrado



Elaborado: Autor

Ilustración 56. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo Empotrado

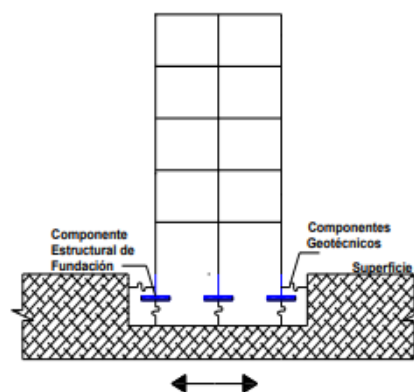


Elaborado: Autor

3.4. Tercera Fase

La tercera etapa corresponde al análisis dinámico de la estructura considerando la interacción suelo – estructura, empleando los factores obtenidos en base a los resultados obtenido del desarrollo de los modelos dinámicos: D.D. Barkan – O.A. Saninov y Norma Rusa SNIP 2.02.05. utilizando el programa de análisis estructural ETABS.

Ilustración 57. Estructura considerando ISE



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

En la segunda y tercera fase respectivamente se realizaron los correspondientes análisis dinámicos modal espectral, este método nos permite determinar los desplazamientos, fuerzas internas en los elementos de las estructuras y las formas de vibración de la estructura.

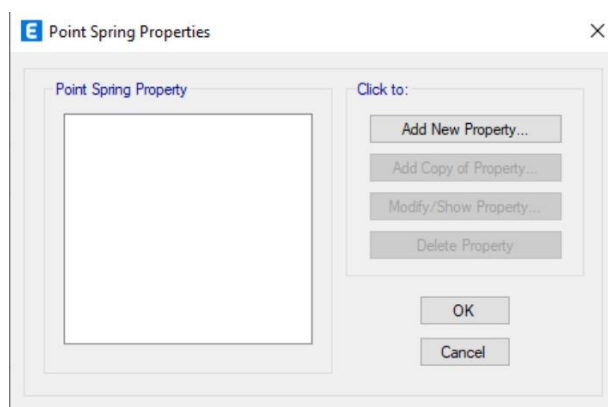
3.4.1. Modelo Dinámico – D.D. Barkan – Resultado

Para obtener los resultados mediante Etabs, para el modelo Dinámico – D.D. Barkan, se deben realizar los siguientes pasos:

- Definir los resortes:

En Etabs los resortes se los define empleando la herramienta “Point Spring Properties”.

Ilustración 58. Point Spring Properties



Fuente: Etabs

Ilustración 59. Definir los resortes para las Zapatas Esquinas

The dialog box 'Point Spring Property Data' is shown with the following settings:

- General Data:**
 - Property Name: Rigidez Esquinas
 - Display Color: Blue (with 'Change...' button)
 - Property Notes: (with 'Modify/Show Notes...' button)
- Spring Stiffness Options:**
 - ☒ User Specified/Link Properties
 - ☐ Based on Soil Profile and Footing Dimensions
- Simple Spring Stiffness in Global Directions:**
 - Translation X: 9166.56 tonf/in
 - Translation Y: 8166.56 tonf/in
 - Translation Z: 11634.48 tonf/in
 - Rotation about X-Axis: 2417.68 tonf-m/rad
 - Rotation about Y-Axis: 2937.30 tonf-m/rad
 - Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad
- Single Joint Links at Point:**

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle

(Add, Delete buttons)

Buttons: OK, Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 60. Definir los resortes para las Zapatas Laterales

The dialog box 'Point Spring Property Data' is shown with the following settings:

- General Data:**
 - Property Name: Rigidez Laterales
 - Display Color: Blue (with 'Change...' button)
 - Property Notes: (with 'Modify/Show Notes...' button)
- Spring Stiffness Options:**
 - ☒ User Specified/Link Properties
 - ☐ Based on Soil Profile and Footing Dimensions
- Simple Spring Stiffness in Global Directions:**
 - Translation X: 13962.56 tonf/in
 - Translation Y: 13962.56 tonf/in
 - Translation Z: 17342.72 tonf/in
 - Rotation about X-Axis: 5240.19 tonf-m/rad
 - Rotation about Y-Axis: 7224.68 tonf-m/rad
 - Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad
- Single Joint Links at Point:**

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle

(Add, Delete buttons)

Buttons: OK, Cancel

Fuente: Etabs

Ilustración 61. Definir los resortes para las Zapatas Centrales

Point Spring Property Data

General Data

Property Name: Rigidez Central

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

☒ User Specified/Link Properties ☐ Based on Soil Profile and Footing Dimensions

Simple Spring Stiffness in Global Directions

Translation X: 19357.2 tonf/m

Translation Y: 19357.2 tonf/m

Translation Z: 24565.86 tonf/m

Rotation about X-Axis: 12561.61 tonf-m/rad

Rotation about Y-Axis: 11046.63 tonf-m/rad

Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad

Single Joint Links at Point

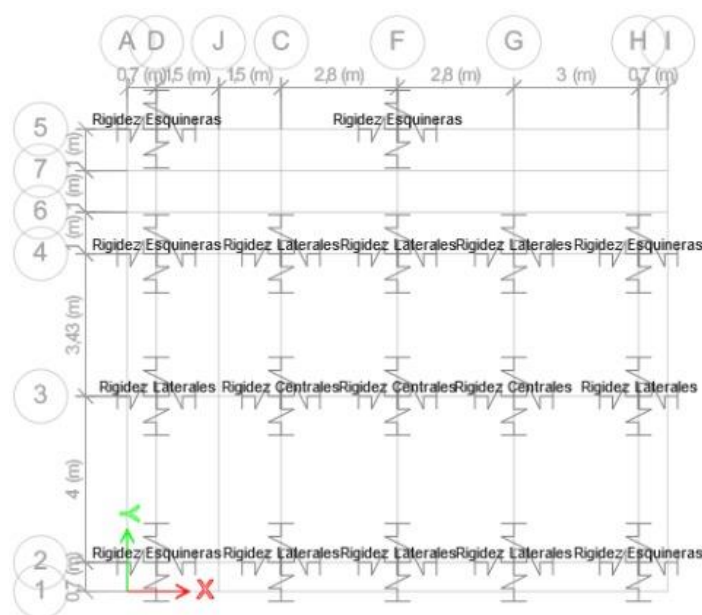
Link Property	Axial Direction	Axis Z Angle
---------------	-----------------	--------------

OK Cancel

Fuente: Etabs

Posterior a definir los resortes se deben colocar estos en cada una de las zapatas según su clasificación:

Ilustración 62. Colocación de resortes en cada Zapata



Fuente: Etabs

Posterior a colocar los resortes se debe realizar el análisis mediante el programa para obtener los resultados.

- Períodos de Vibración

Ilustración 63. Períodos de Vibración – Modelo D.D. Barkan

TABLE: Modal Participating Mass Ratios		
Case	Mode	Period
		sec
Modal	1	0.718
Modal	2	0.695
Modal	3	0.649
Modal	4	0.212
Modal	5	0.21
Modal	6	0.199
Modal	7	0.112
Modal	8	0.11
Modal	9	0.106
Modal	10	0.076
Modal	11	0.073
Modal	12	0.071

Elaborado: Autor

- Fuerzas Cortantes de la Base

Ilustración 64. Fuerzas Cortantes en la Base – D.D. Barkan

TABLE: Base Reactions												
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	m	m	m
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	1	-61.6648	0	0	0	-553.3863	294.4822	0	0	0
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	2	-61.6648	0	0	0	-553.3863	306.7184	0	0	0
Sismo Estático X	LinStatic	Step By Step	3	-61.6648	0	0	0	-553.3863	282.2461	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-61.6648	0	553.3863	0	-382.4676	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-61.6648	0	553.3863	0	-396.7596	0	0	0
Sismo Estático Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-61.6648	0	553.3863	0	-368.1756	0	0	0
Sismo Dinámico -X	LinRespSpec	Max		51.3113	16.2144	0	141.3249	449.2001	283.2098	0	0	0
Sismo Dinámico -Y	LinRespSpec	Max		15.6076	53.3652	0	465.0067	136.6518	337.4354	0	0	0

Fuente: Etabs

- Desplazamientos de Techo

Ilustración 65. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.9238	0.1055	0.000248	0.000858	0.000828
Story4	2	56	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.825	0.1053	0.000221	0.000856	0.000828
Story4	3	66	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.9238	0.0852	0.000229	0.000976	0.000828
Story4	4	61	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.825	0.0797	0.000264	0.001009	0.000828
Story4	5	71	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8414	0.9238	0.0284	0.00031	0.000952	0.000828
Story4	7	86	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.7948	0.0238	0.000213	0.000667	0.000828
Story4	8	91	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.7323	0.0209	0.000201	0.000617	0.000828
Story4	9	96	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.7405	0.0219	0.000199	0.000667	0.000828
Story4	10	101	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.7948	0.0232	0.000183	0.000664	0.000828
Story4	11	106	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.7323	0.0194	0.00017	0.000655	0.000828
Story4	12	111	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.7405	0.025	0.000216	0.000784	0.000828
Story4	13	116	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.9238	0.0881	0.000273	0.00098	0.000828
Story4	14	121	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.825	0.0873	0.000256	0.000979	0.000828
Story4	15	36	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.7948	0.0089	0.000243	0.000795	0.000828
Story4	16	41	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.7323	0.0027	0.000223	0.000744	0.000828
Story4	17	46	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.7405	0.0091	0.000226	0.000794	0.000828
Story4	6	1	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8414	0.7323	0.0202	0.000163	0.000861	0.000828
Story4	18	7	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.8539	0.1594	0.000172	0.000766	0.000828
Story4	20	8	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.8539	0.1472	0.000168	0.000818	0.000828
Story4	21	15	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.8539	0.1415	0.000168	0.000887	0.000828
Story4	22	19	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3052	0.825	0.1121	0.000188	0.00062	0.000828
Story4	23	23	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3052	0.7405	0.0346	0.000176	0.000462	0.000828
Story4	24	27	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3052	0.7948	0.0375	0.00019	0.000463	0.000828
Story4	25	31	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3052	0.9238	0.1131	0.000211	0.000621	0.000828
Story4	26	75	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3318	0.9607	0.1594	0.000185	0.000767	0.000828
Story4	27	79	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5044	0.9607	0.1483	0.000165	0.000821	0.000828
Story4	28	83	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.6763	0.9607	0.1475	0.000122	0.000871	0.000828
Story4	19	137	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8414	0.7948	0.0321	0.000027	0.000258	0.000828
Story4	35	5	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5115	0.7354	0	0	0	0.000828

Fuente: Etabs

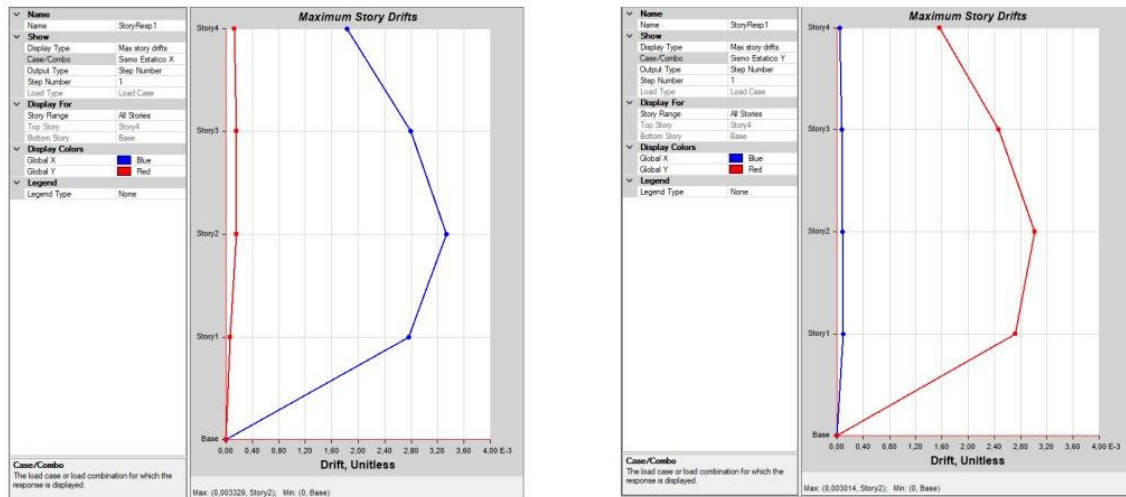
Ilustración 66. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico Y

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.5759	0.0918	0.000715	0.000265	0.000582
Story4	2	56	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.286	0.0906	0.000643	0.000267	0.000582
Story4	3	66	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.5759	0.0636	0.000598	0.000303	0.000582
Story4	4	61	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.286	0.0999	0.00071	0.000311	0.000582
Story4	5	71	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.9242	2.5759	0.0659	0.000678	0.000339	0.000582
Story4	7	86	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.4866	0.0748	0.000679	0.000205	0.000582
Story4	8	91	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.4117	0.0689	0.000661	0.000191	0.000582
Story4	9	96	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.3458	0.0699	0.000642	0.00021	0.000582
Story4	10	101	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.4866	0.0732	0.000566	0.000204	0.000582
Story4	11	106	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.4117	0.063	0.000553	0.000202	0.000582
Story4	12	111	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.3458	0.0802	0.000683	0.000244	0.000582
Story4	13	116	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.5759	0.0285	0.000773	0.000297	0.000582
Story4	14	121	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.286	0.029	0.000726	0.000297	0.000582
Story4	15	36	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.4866	0.009	0.000761	0.000241	0.000582
Story4	16	41	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.4117	0.0088	0.000736	0.000226	0.000582
Story4	17	46	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.3458	0.0093	0.000721	0.000241	0.000582
Story4	6	1	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.9242	2.4117	0.0403	0.000526	0.000309	0.000582
Story4	18	7	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.2737	0.0984	0.000442	0.000236	0.000582
Story4	20	8	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.2737	0.0465	0.000496	0.000249	0.000582
Story4	21	15	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.2737	0.1058	0.000525	0.000272	0.000582
Story4	22	19	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7452	2.286	0.1302	0.000565	0.000211	0.000582
Story4	23	23	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7452	2.3458	0.1109	0.000564	0.000141	0.000582
Story4	24	27	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7452	2.4866	0.1182	0.0006	0.000144	0.000582
Story4	25	31	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7452	2.5759	0.1359	0.000626	0.000199	0.000582
Story4	26	75	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7412	2.598	0.0955	0.000483	0.00024	0.000582
Story4	27	79	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.761	2.598	0.0461	0.00049	0.000249	0.000582
Story4	28	83	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.8313	2.598	0.0703	0.00038	0.000273	0.000582
Story4	19	137	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.9242	2.4866	0.1013	0.000022	0.000112	0.000582
Story4	35	5	Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		0.7631	2.4187	0	0	0	0.000582

Fuente: Etabs

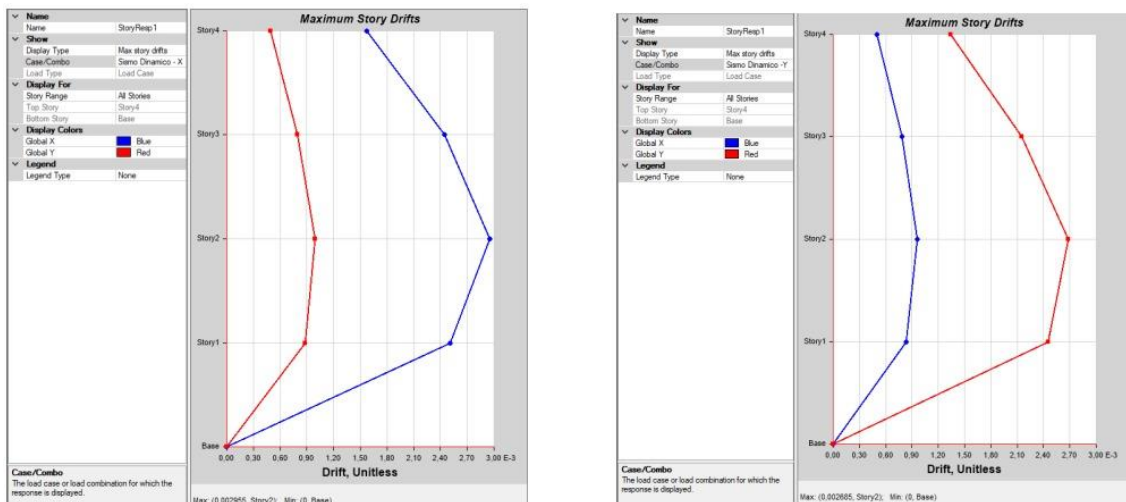
- Derivas de Piso

Ilustración 67. Derivas – Sismos Estáticos



Fuente: Etabs

Ilustración 68. Derivas – Sismos Dinámicos



Fuente: Etabs

Ilustración 69. Revisión de derivas – Modelo D.D. Barkan

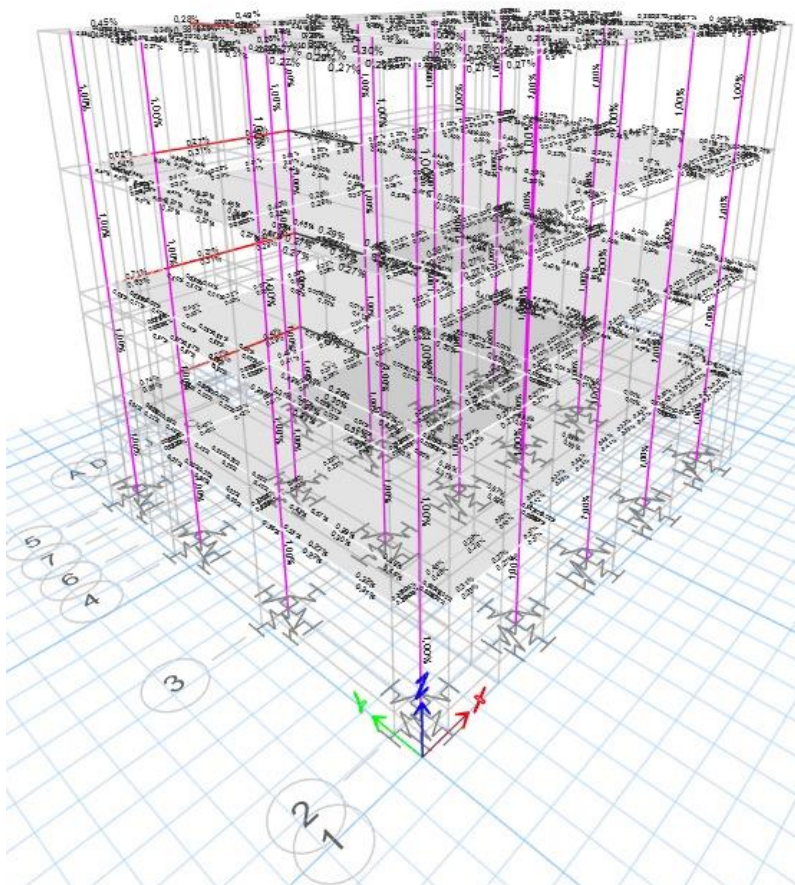
MAX DRIFTS			
SISMO ESTATICO X	SISMO ESTATICO Y	SISMO DINAMICO X	SISMO DINAMICO Y
0.003329	0.003014	0.002955	0.002685

Δ_X	1.49805	<2%
Δ_Y	1.3563	
	PORCENTAJE %	

Elaborado: Autor

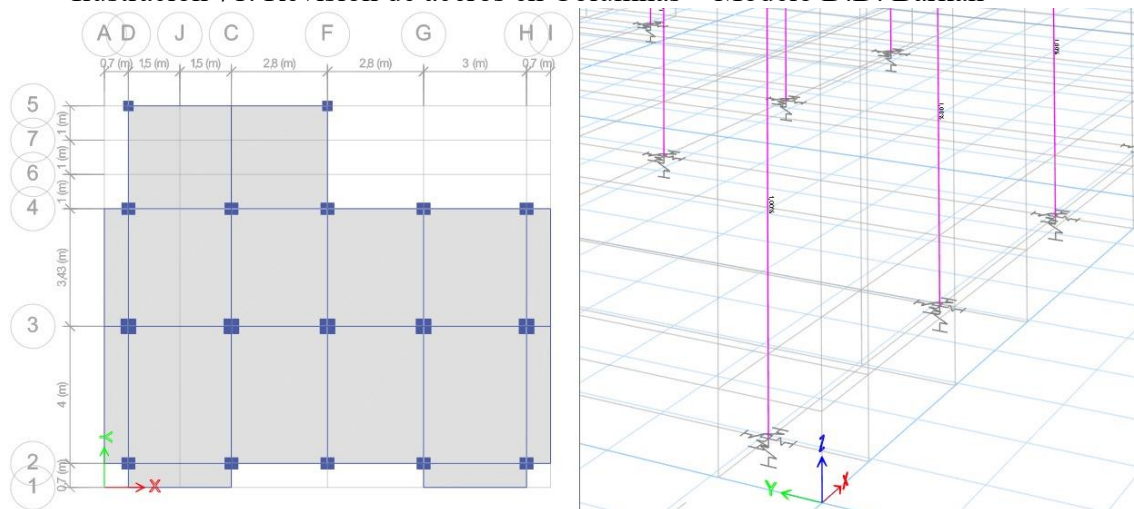
- **Revisión de Aceros**

Ilustración 70. Revisión de aceros – Modelo D.D. Barkan



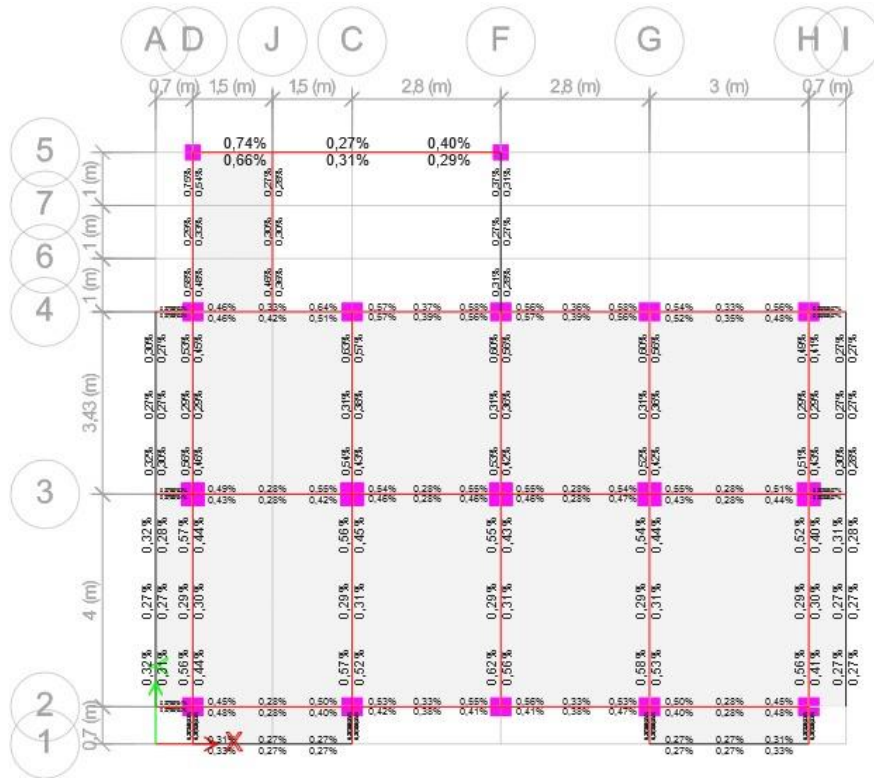
Elaborado: Autor

Ilustración 71. Revisión de aceros en Columnas – Modelo D.D. Barkan



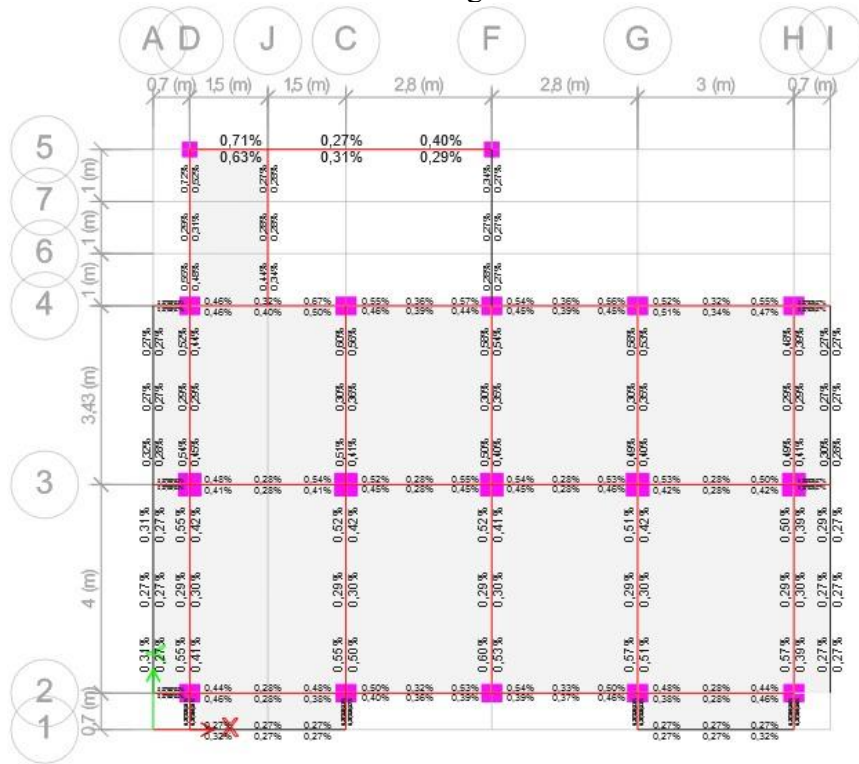
Elaborado: Autor

Ilustración 72. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo D.D. Barkan



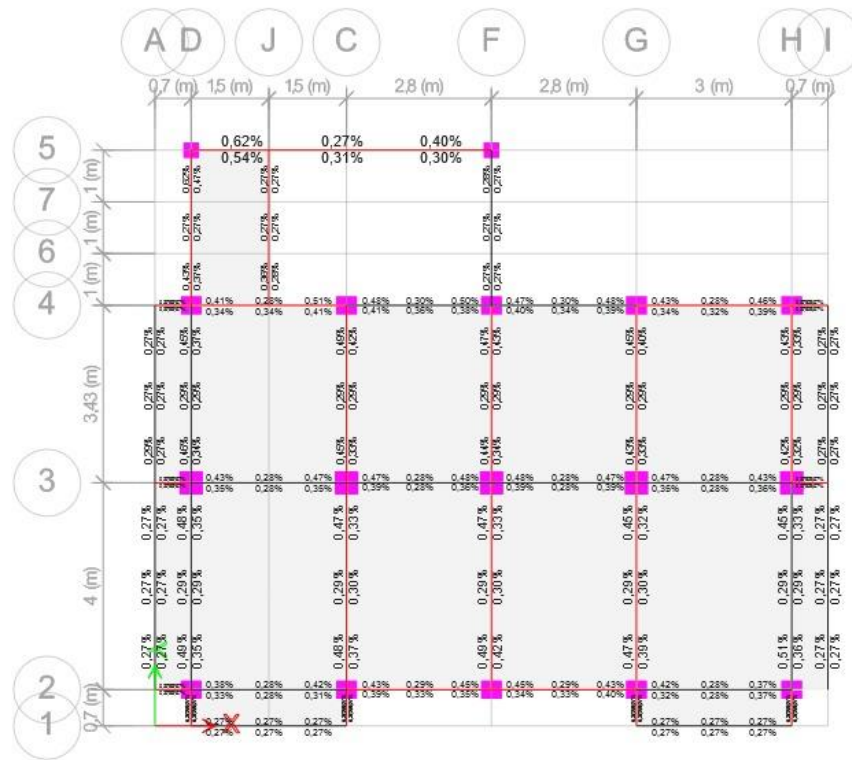
Elaborado: Autor

Ilustración 73. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo D.D. Barkan



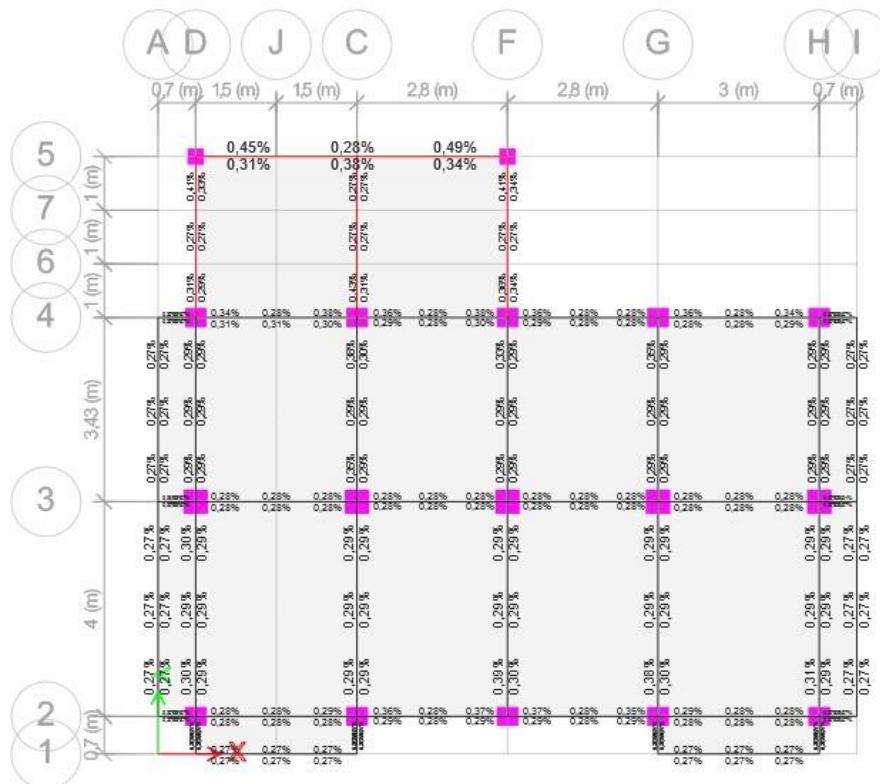
Elaborado: Autor

Ilustración 74. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – D.D. Barkan



Elaborado: Autor

Ilustración 75. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo D.D. Barkan



Elaborado: Autor

3.4.2. Modelo Dinámico – Norma Rusa – Resultado

Para obtener los resultados mediante Etabs, para el modelo Dinámico Norma Rusa, se deben realizar los siguientes pasos:

- Definir los resortes de amortiguamiento:

Ilustración 76. Definir los resortes para las Zapatas Esquinas

Fuente: Etabs

Fuente: Etabs

Ilustración 77. Definir los resortes para las Zapatas Laterales

Link Property Data

General

Link Property Name: **L-LATERAL** P-Delta Parameters: **Modify/Show...**

Link Type: **Linear** Acceptance Criteria: **Modify/Show...**

Link Property Notes: **Modify/Show Notes...** None specified

Total Mass and Weight

Mass: **0** tonf-s²/m Rotational Inertia 1: **0** tonf-m-s²

Weight: **0** tonf Rotational Inertia 2: **0** tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: **0** tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: **1** m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: **1** m²

Directional Properties

Direction	Fixed	Properties	Direction	Fixed
☒ U1	☐	Modify/Show for All...	☒ R1	☐
☒ U2	☐		☒ R2	☐
☒ U3	☐		☒ R3	☐

Fix All **Clear All**

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: **1**

OK **Cancel**

Fuente: Etabs

Linear Link/Support Directional Properties

Link/Support Property Name: **L-LATERAL**

Directional Control

Direction	Fixed
☒ U1	☐ Yes
☒ U2	☐ Yes
☒ U3	☐ Yes
☒ R1	☐ Yes
☒ R2	☐ Yes
☒ R3	☐ Yes

Shear Distance

U2: **0** m

U3: **0** m

Note: Distance is measured with respect to J-End of the link object

Stiffness Values Used For All Load Cases

☒ Stiffness Is Uncoupled ☐ Stiffness Is Coupled **i**

U1	U2	U3	R1	R2	R3
10017,265	10017,265	14310,379	6105,762	6892,832	6499,297

Damping Values Used For All Load Cases

☒ Damping Is Uncoupled ☐ Damping Is Coupled **i**

U1	U2	U3	R1	R2	R3
22,944	22,944	45,706	7,364	8,254	6,227

OK **Cancel**

Fuente: Etabs

Ilustración 78. Definir los resortes para las Zapatas Centrales

Link Property Data

General

Link Property Name: L-CENTRAL

Link Type: Linear

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...

None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 tonf-s²/m

Weight: 0 tonf

Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	Properties	Direction	Fixed
☒ U1	☐	Modify/Show for All...	☒ R1	☐
☒ U2	☐		☒ R2	☐
☒ U3	☐		☒ R3	☐

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Fuente: Etabs

Linear Link/Support Directional Properties

Link/Support Property Name: L-CENTRAL

Directional Control

Direction	Fixed
☒ U1	☐ Yes
☒ U2	☐ Yes
☒ U3	☐ Yes
☒ R1	☐ Yes
☒ R2	☐ Yes
☒ R3	☐ Yes

Shear Distance

U2: 0 m

U3: 0 m

Note: Distance is measured with respect to J-End of the link object

Stiffness Values Used For All Load Cases

☒ Stiffness is Uncoupled ☐ Stiffness is Coupled

U1	U2	U3	R1	R2	R3
11699,628	11699,628	16713,754	10056,108	9025,427	9540,768

Damping Values Used For All Load Cases

☒ Damping is Uncoupled ☐ Damping is Coupled

U1	U2	U3	R1	R2	R3
37,244	37,244	74,192	17,835	16,204	12,705

OK Cancel

Fuente: Etabs

Posterior se colocan las rigideces y amortiguamiento en la herramienta spring.

Ilustración 79. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Esquinas

The screenshot shows the 'Point Spring Property Data' dialog box with the following settings:

- General Data:**
 - Property Name: **Rigidez Esquinas**
 - Display Color: **Blue** (with a 'Change...' button)
 - Property Notes: (with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Spring Stiffness Options:**
 - ☒ User Specified/Link Properties
 - ☐ Based on Soil Profile and Footing Dimensions
- Simple Spring Stiffness in Global Directions:**
 - Translation X: 0 tonf/m
 - Translation Y: 0 tonf/m
 - Translation Z: 0 tonf/m
 - Rotation about X-Axis: 0 tonf-m/rad
 - Rotation about Y-Axis: 0 tonf-m/rad
 - Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad
- Single Joint Links at Point:**

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle
L-ESQUINERA	-Z	0

(Buttons: Add, Delete)

At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: Etabs

Ilustración 80. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Lateral

The screenshot shows the 'Point Spring Property Data' dialog box with the following settings:

- General Data:**
 - Property Name: **Rigidez Lateral**
 - Display Color: **Blue** (with a 'Change...' button)
 - Property Notes: (with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Spring Stiffness Options:**
 - ☒ User Specified/Link Properties
 - ☐ Based on Soil Profile and Footing Dimensions
- Simple Spring Stiffness in Global Directions:**
 - Translation X: 0 tonf/m
 - Translation Y: 0 tonf/m
 - Translation Z: 0 tonf/m
 - Rotation about X-Axis: 0 tonf-m/rad
 - Rotation about Y-Axis: 0 tonf-m/rad
 - Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad
- Single Joint Links at Point:**

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle
L-LATERAL	-Z	0

(Buttons: Add, Delete)

At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: Etabs

Ilustración 81. Colocar los valores de Rigidez y Amortiguamiento – Zapatas Centrales

Fuente: Etabs

Posterior a colocar los resortes se debe realizar el análisis mediante el programa para obtener los resultados.

- Períodos de Vibración

Ilustración 82. Períodos de Vibración – Modelo Norma Rusa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios		
Case	Mode	Period
		sec
Modal	1	0.734
Modal	2	0.708
Modal	3	0.644
Modal	4	0.215
Modal	5	0.211
Modal	6	0.197
Modal	7	0.112
Modal	8	0.111
Modal	9	0.106
Modal	10	0.076
Modal	11	0.073
Modal	12	0.071

Elaborado: Autor

- Fuerzas Cortantes de la Base

Ilustración 83. Fuerzas Cortantes en la Base – Norma Rusa

TABLE: Base Reactions												
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	m	m	m
Sismo Estatico X	LinStatic	Step By Step	1	-61.6648	0	0	0	-553.3863	294.4822	0	0	0
Sismo Estatico X	LinStatic	Step By Step	2	-61.6648	0	0	0	-553.3863	306.7184	0	0	0
Sismo Estatico X	LinStatic	Step By Step	3	-61.6648	0	0	0	-553.3863	282.2461	0	0	0
Sismo Estatico Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-61.6648	0	553.3863	0	-382.4676	0	0	0
Sismo Estatico Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-61.6648	0	553.3863	0	-396.7596	0	0	0
Sismo Estatico Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-61.6648	0	553.3863	0	-368.1756	0	0	0
Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		50.2971	15.9707	0	139.4079	439.7077	275.5188	0	0	0
Sismo Dinamico - Y	LinRespSpec	Max		15.3358	52.4508	0	457.6861	134.0944	332.3276	0	0	0

Fuente: Etabs

- Desplazamientos de Techo

Ilustración 84. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico X

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.9086	0.1534	0.000269	0.000937	0.00072
Story4	2	56	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.8136	0.1512	0.000243	0.000935	0.00072
Story4	3	66	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.9086	0.1214	0.000257	0.001049	0.00072
Story4	4	61	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.8136	0.1198	0.000291	0.001076	0.00072
Story4	5	71	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8809	0.9086	0.0449	0.00034	0.000998	0.00072
Story4	7	86	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.8058	0.0368	0.000235	0.000734	0.00072
Story4	8	91	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.7545	0.0321	0.000225	0.000653	0.00072
Story4	9	96	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.7552	0.0344	0.000224	0.000734	0.00072
Story4	10	101	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.8058	0.0327	0.000208	0.00072	0.00072
Story4	11	106	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.7545	0.0289	0.000195	0.000689	0.00072
Story4	12	111	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.7552	0.0384	0.000248	0.000839	0.00072
Story4	13	116	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.9086	0.1315	0.000294	0.00105	0.00072
Story4	14	121	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.8136	0.1299	0.00028	0.001047	0.00072
Story4	15	36	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.8058	0.0205	0.00027	0.000855	0.00072
Story4	16	41	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.7545	0.0041	0.000251	0.000787	0.00072
Story4	17	46	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.7552	0.0207	0.000253	0.000854	0.00072
Story4	6	1	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8809	0.7545	0.0304	0.000167	0.000902	0.00072
Story4	18	7	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.8347	0.2109	0.000192	0.000852	0.00072
Story4	20	8	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.8347	0.195	0.0002	0.000897	0.00072
Story4	21	15	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.8347	0.1863	0.000207	0.00096	0.00072
Story4	22	19	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3624	0.8136	0.1584	0.00021	0.000724	0.00072
Story4	23	23	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3624	0.7552	0.0485	0.0002	0.000557	0.00072
Story4	24	27	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3624	0.8058	0.0519	0.000212	0.000558	0.00072
Story4	25	31	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3624	0.9086	0.162	0.000232	0.000727	0.00072
Story4	26	75	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.3904	0.9381	0.2128	0.000209	0.000853	0.00072
Story4	27	79	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5637	0.9381	0.197	0.000193	0.000902	0.00072
Story4	28	83	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.7277	0.9381	0.1889	0.00015	0.00095	0.00072
Story4	19	137	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.8809	0.8058	0.0428	0.000046	0.000225	0.00072
Story4	31	5	Sismo Dinamico - X	LinRespSpec	Max		2.5705	0.7573	0	0	0	0.00072

Fuente: Etabs

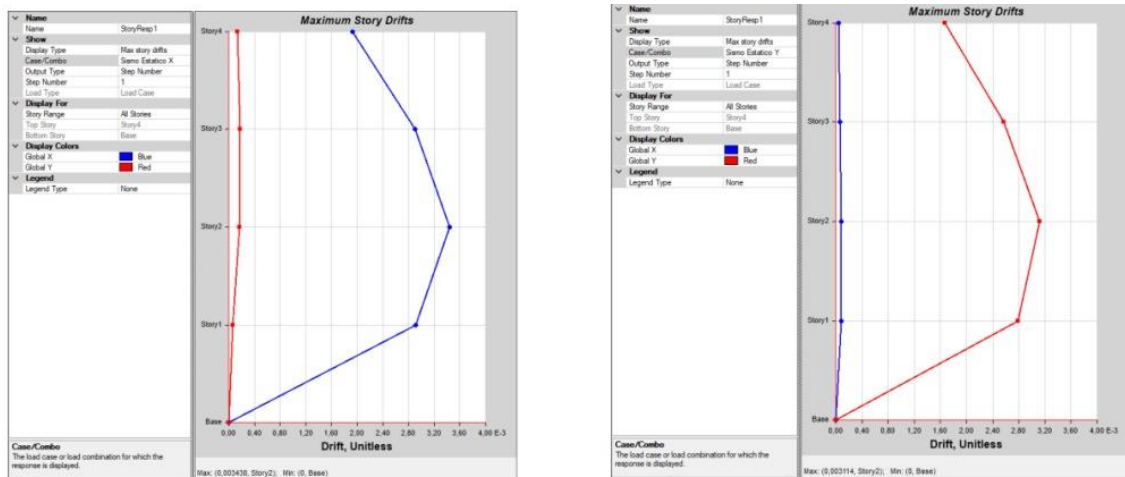
Ilustración 85. Desplazamientos de Techo – Sismo Dinámico Y

TABLE: Joint Displacements - Absolute												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	1	51	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.604	0.1369	0.000792	0.000286	0.000421
Story4	2	56	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.3722	0.1349	0.000736	0.000288	0.000421
Story4	3	66	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.604	0.0922	0.000667	0.000324	0.000421
Story4	4	61	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.3722	0.1458	0.000829	0.00033	0.000421
Story4	5	71	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.9067	2.604	0.1002	0.000717	0.000348	0.000421
Story4	7	86	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.5371	0.1131	0.000755	0.000224	0.000421
Story4	8	91	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.4788	0.1054	0.000739	0.0002	0.000421
Story4	9	96	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.4249	0.1079	0.000726	0.000228	0.000421
Story4	10	101	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.5371	0.1045	0.000639	0.000221	0.000421
Story4	11	106	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.4788	0.0931	0.000626	0.000212	0.000421
Story4	12	111	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.4249	0.118	0.00079	0.000261	0.000421
Story4	13	116	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.604	0.0426	0.00085	0.000319	0.000421
Story4	14	121	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.3722	0.0422	0.00083	0.000319	0.000421
Story4	15	36	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.5371	0.0145	0.000847	0.00026	0.000421
Story4	16	41	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.4788	0.0133	0.000825	0.00024	0.000421
Story4	17	46	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.4249	0.0143	0.000816	0.00026	0.000421
Story4	6	1	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.9067	2.4788	0.0632	0.000547	0.000335	0.000421
Story4	18	7	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.3607	0.1427	0.000534	0.00026	0.000421
Story4	20	8	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.3607	0.0614	0.000609	0.000273	0.000421
Story4	21	15	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.3607	0.1524	0.000655	0.000294	0.000421
Story4	22	19	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7395	2.3722	0.1808	0.000656	0.000242	0.000421
Story4	23	23	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7395	2.4249	0.1548	0.000649	0.00017	0.000421
Story4	24	27	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7395	2.5371	0.1619	0.000677	0.00017	0.000421
Story4	25	31	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7395	2.604	0.1862	0.000704	0.000234	0.000421
Story4	26	75	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7424	2.6203	0.1417	0.000568	0.000262	0.000421
Story4	27	79	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7807	2.6203	0.0619	0.000576	0.000275	0.000421
Story4	28	83	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.8394	2.6203	0.0987	0.00046	0.000296	0.000421
Story4	19	137	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.9067	2.5371	0.137	0.000024	0.000117	0.000421
Story4	31	5	Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		0.7828	2.4843	0	0	0	0.000421

Fuente: Etabs

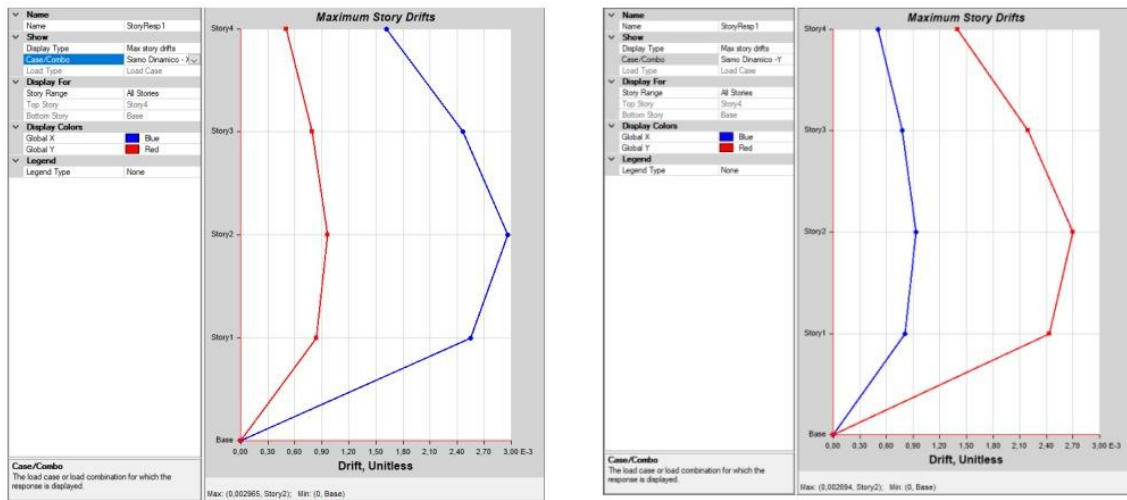
- Derivas de Piso

Ilustración 86. Derivas – Sismos Estáticos



Fuente: Etabs

Ilustración 87. Derivas – Sismos Dinámicos



Fuente: Etabs

Ilustración 88. Revisión de derivas – Modelo Norma Rusa

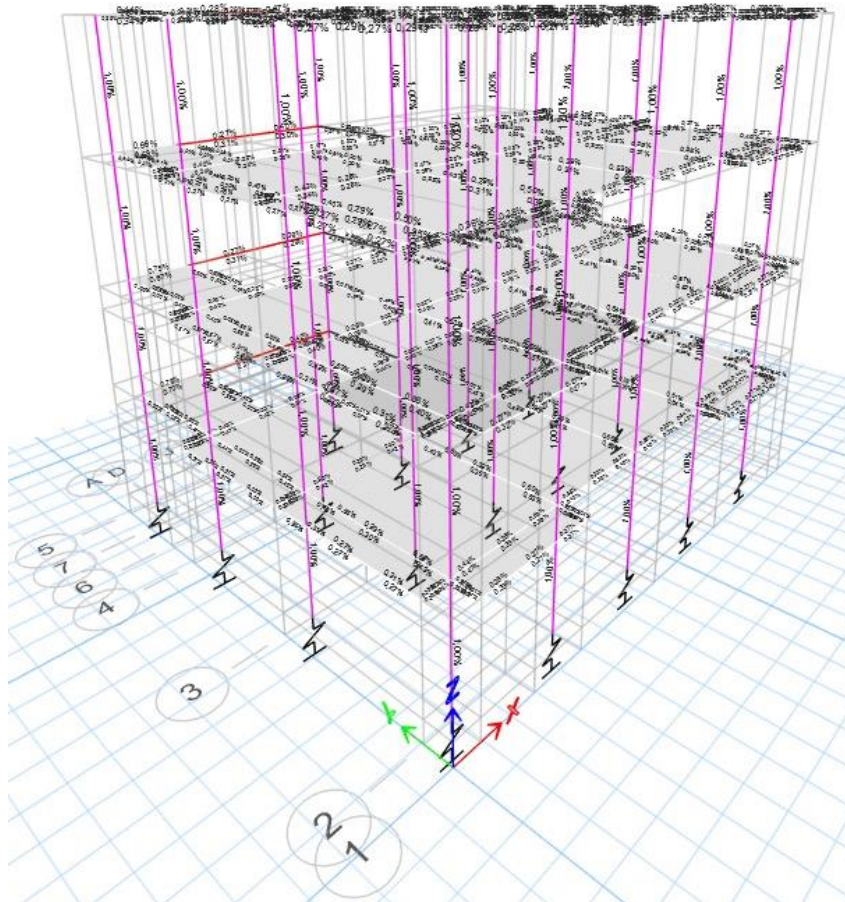
MAX DRIFTS			
SISMO ESTATICO X	SISMO ESTATICO Y	SISMO DINAMICO X	SISMO DINAMICO Y
0.003438	0.003114	0.002965	0.002694

Δ_X	1.5471	<2%
Δ_Y	1.4013	
	PORCENTAJE %	

Elaborado: Autor

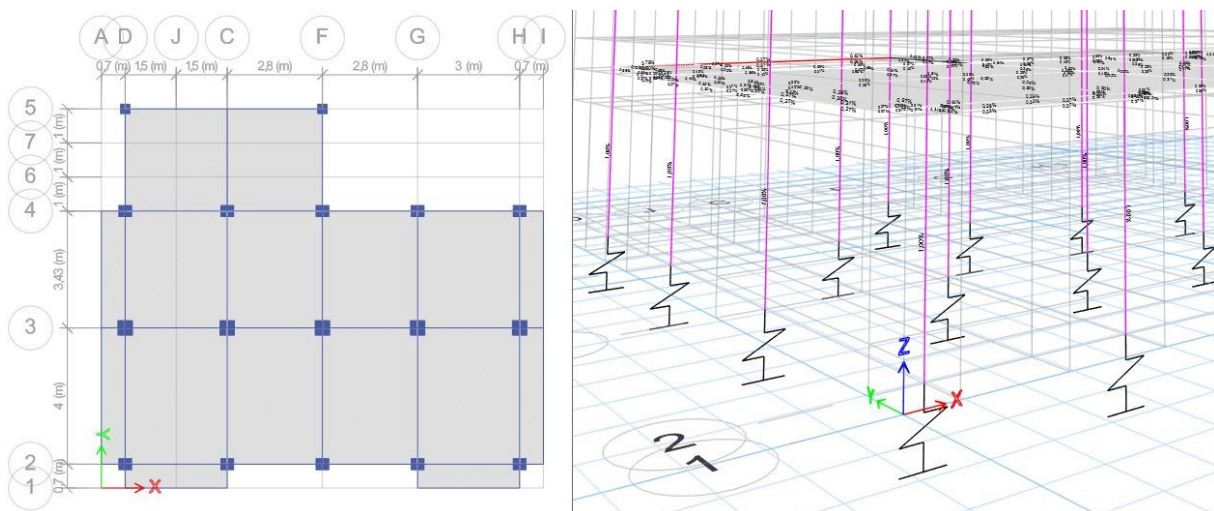
- Revisión de Aceros

Ilustración 89. Revisión de aceros – Modelo Norma Rusa



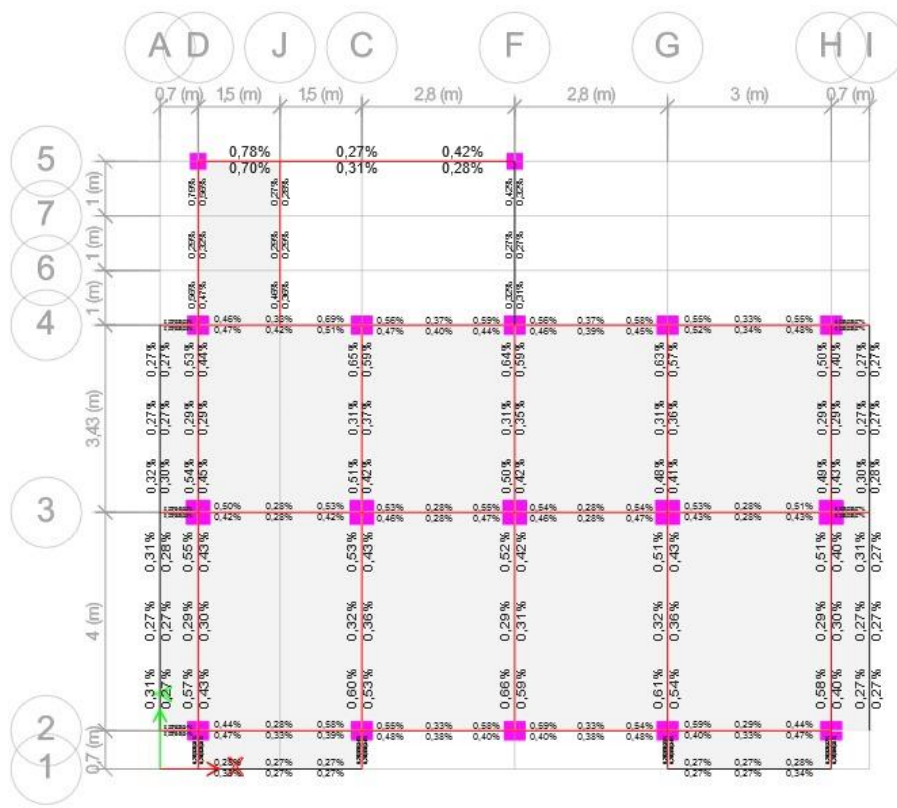
Elaborado: Autor

Ilustración 90. Revisión de aceros en Columnas – Modelo Norma Rusa



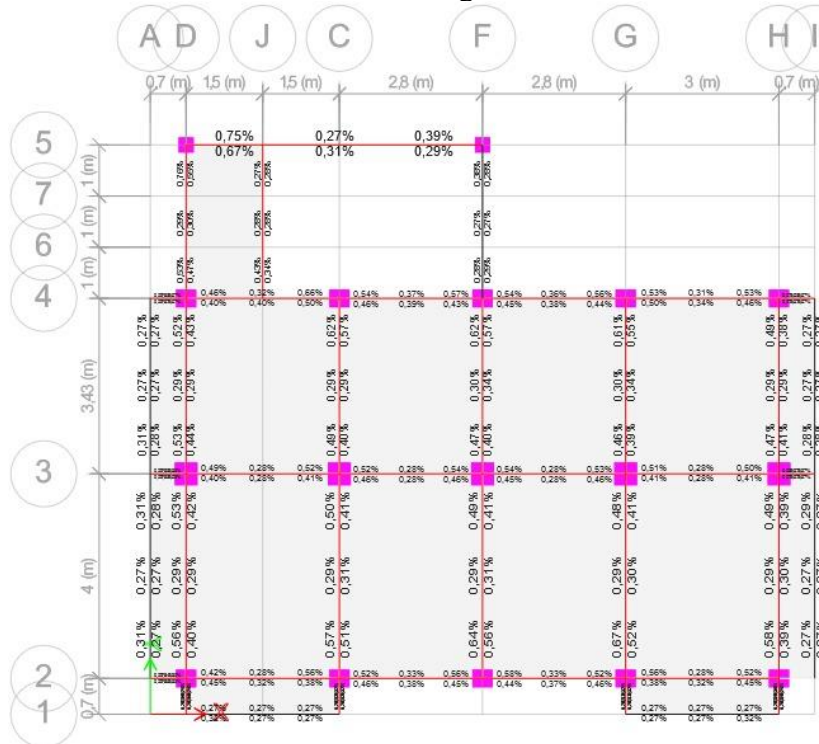
Elaborado: Autor

Ilustración 91. Revisión de aceros en Vigas – Piso 1 – Modelo Norma Rusa



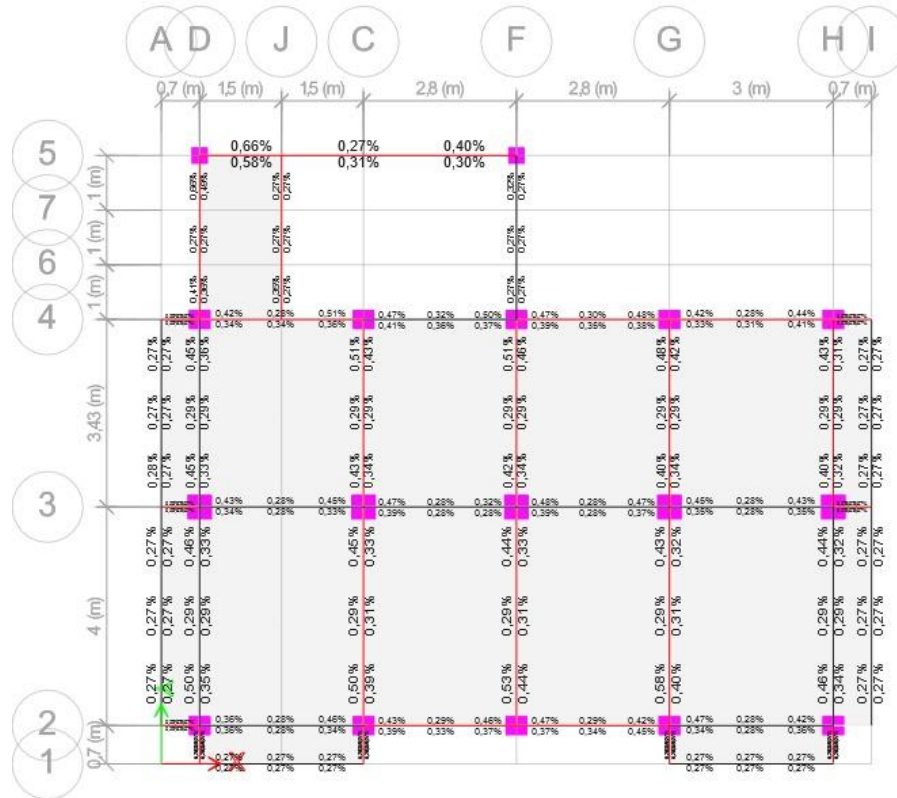
Elaborado: Autor

Ilustración 92. Revisión de aceros en Vigas – Piso 2 – Modelo Norma Rusa



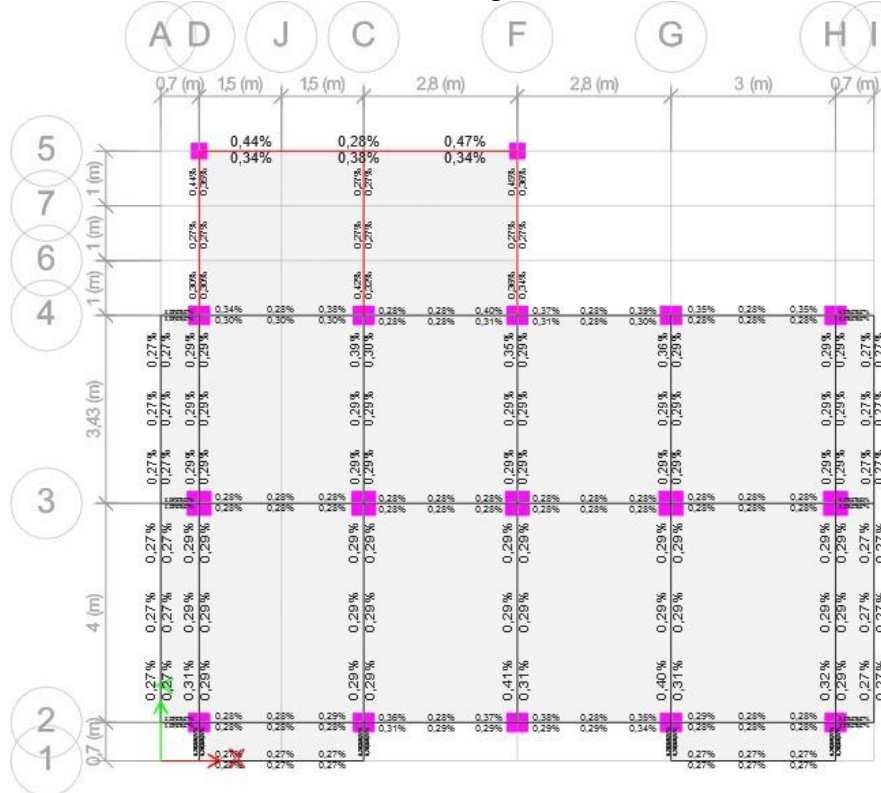
Elaborado: Autor

Ilustración 93. Revisión de aceros en Vigas – Piso 3 – Modelo Norma Rusa



Elaborado: Autor

Ilustración 94. Revisión de aceros en Vigas – Piso 4 – Modelo Norma Rusa



Elaborado: Autor

3.5. Cuarta Fase – Comparativa de Resultados

En esta etapa se realizó el análisis comparativo de los resultados obtenidos de los desplazamientos, fuerzas internas, formas de vibración entre otros parámetros importantes del comportamiento dinámico de la estructura.

- Períodos de Vibración

En la tabla 33, se pueden apreciar los valores obtenidos respecto a período de vibración, resultados de los modelos dinámicos experimentales (D.D. Barkan; Norma Rusa), y el modelo con base empotrada.

Tabla 33. Comparativa de Períodos de Vibración

Período Fundamental de Vibración T(s)		
Método	Arcilla Blanda	
		Dif (%)
Empotrado	0.658	
D.D. Barkan	0.718	9.12
Norma Rusa	0.734	11.55

Elaborado: Autor

Sabiendo que el período del suelo de arcilla blanda es 0.73 s como se aprecia en la tabla 1, el resultado del período de vibración respecto al modelo de la Norma Rusa nos indica que la estructura y el suelo se encuentran en un estado de resonancia. En caso de no considerarse la ISE, para este caso, se estaría produciendo un problema en el diseño estructural de la edificación.

Ilustración 95. Comparación de períodos de vibración



Elaborado: Autor

- Fuerzas Cortantes en la Base

En la tabla 34 se muestran los valores obtenidos respecto a las fuerzas cortantes en la base en ambas direcciones, X e Y, resultado de los modelos dinámicos (D.D. Barkan; Norma Rusa), y modelo con base empotrada.

Tabla 34. Comparativa de las Fuerzas Cortantes en la Base

Cortante en la Base (Sismo X – Y) – Arcilla Blanda (Vx; Vy – Ton)		
Método	Arcilla Blanda	
		Dif (%)
Empotrado	60.12	
D.D. Barkan	61.66	2.56
Norma Rusa	61.66	2.56

Elaborado: Autor

- Desplazamientos en Techo

En la tabla 35 se pueden apreciar los desplazamientos de techo en ambas direcciones, X e Y, resultado de los modelos dinámicos (D.D. Barkan; Norma Rusa), y modelo con base empotrada.

Tabla 35. Comparativa de los Desplazamiento de Techo

Desplazamientos de Techo (Sismo X – Y) – Arcilla Blanda (dx; dy – cm)				
Método	Arcilla Blanda			
	Sismo Dinámico X		Sismo Dinámico Y	
	Dif (%)		Dif (%)	
Empotrado	2.4824		2.2045	
D.D. Barkan	2.8414	14.46	2.5980	17.85
Norma Rusa	2.8809	16.05	2.6203	18.86
Elaborado: Autor				

- Derivas de Piso

En la tabla 36, se presentan los valores para la máxima deriva de piso de la estructura para cada método de estudio. El valor de control utilizado para deriva es menor o igual al 2%, tal como se encuentra especificado en la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-DS-15).

Tabla 36. Comparativa de las Derivas de Piso

Derivas de Piso máximas (Sismo X – Y) – Arcilla Blanda (%)				
Método	Arcilla Blanda			
	Sismo Dinámico X		Sismo Dinámico Y	
	Dif (%)		Dif (%)	
Empotrado	1.329		1.208	
D.D. Barkan	1.498	12.72	1.356	12.25
Norma Rusa	1.547	16.40	1.401	15.98

Elaborado: Autor

4. Conclusión

Se realizaron los cálculos correspondientes para estimar el comportamiento real de la estructura frente a movimientos telúricos, además se estableció la geometría de la planta y la altura de entre piso de la edificación empleada para los análisis. Para realizar el trabajo de manera más detallada se dividió mediante fases, para tener una mejor comprensión de todos los pasos y factores importantes que se deben tomar en cuenta al momento de estudiar los comportamientos de ISE para una edificación.

Con la obtención de los parámetros de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para los distintos modelos dinámicos empleados para esta investigación, fueron asignados para cada modelo estructural en las zapatas, estableciendo resortes para las zapatas centrales, laterales y esquineras en el software ETABS, para realizar el correspondiente análisis ISE.

Se modeló la estructura con los parámetros del suelo obtenidos, colocando el espectro de diseño calculado para el tipo de suelo y la zona especificada para colocar los valores en el software. Además de colocar los correspondientes resultados respecto a los cálculos de los modelos dinámicos, D.D. Barkan y Norma Rusa, en cada una de las zapatas de la estructura. También fue necesario realizar los cálculos de los pesos de los pisos de la estructura, como dato necesario para calcular las rigideces de ambos modelos.

Posterior a colocar todos los valores necesarios en el software, se realizó el análisis de los 3 modelos diferentes: modelo empotrado, modelo dinámico D.D. Barkan y modelo dinámico Norma Rusa, para analizar los resultados respecto a: los períodos de vibración, fuerzas cortantes en la base, desplazamientos de techo y derivas de piso. La comparativa de los 2 modelos dinámicos utilizados en esta investigación, nos permite observar que la influencia de la interacción suelo-estructura respecto a las características dinámicas de la

estructura, es mayor cuando se utiliza el modelo experimental de la Norma Rusa, mientras que la menor influencia se ve en el modelo experimental D.D. Barkan.

En cuanto al período de vibración se determinó que el modelo más influyente fue el modelo dinámico Norma Rusa, aumentando el período de vibración respecto al modelo con base empotrada, presentando una coincidencia con el período de vibración del suelo (estrato de arcilla blanca) del cual se obtuvo un valor de 0.73 s, y para el modelo dinámico se obtuvo un valor de 0.734 s, una diferencia de aproximadamente 11.55% respecto al modelo empotrado, debido a que los períodos de la estructura respecto a las del suelo son relativamente cercanos la estructura esta en resonancia, este estado de resonancia entre la cimentación y el suelo se produce cuando el período de vibración de la estructura se iguala al período de vibración del suelo, esta coincidencia puede provocar daños estructurales como: balanceo de la estructura ocasionando el volcamiento o colapso.

El efecto de la resonancia sobre las estructuras se comprende como una amplificación de las fuerzas sísmicas ocasionando graves daños en estructurales y colapsos parciales y/o totales, se debe tener en cuenta que dependiendo de la localización de la fuente del sismo y de las propiedades o características del suelo se producen diferentes ondas sísmicas que generan los movimientos de masa del suelo.

5. Bibliografía

- Aguilar, R., & Ortiz, D. (2017). Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando la interacción suelo - estructura. Departament de Ciències de la Terra i la Construcció, Universitat de les Forces Armades ESPES.
- Angulo, D. S. (2013). Peligrosidad Sísmica Del Golfo de Guayaquil. Sangolquí: Escuela Politécnica Del Ejército, Carrera de Ingeniería Civil.
- Arancibia C, F. (24 de Agosto de 2013). Ingeniería Sísmica y la construcción Civil. Modos de vibración de un edificio: <https://ingenieriasismicaylaconstruccioncivil.blogspot.com/2013/08/modos-de-vibracion-de-un-edificio.html>
- Basualdo, R. S. (2019). Fundamentos del análisis dinámico de estructuras. Perú: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Caicedo, M. D. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones . Cali: Universidad del Valle, Departamento de Tecnología - Escuela de Arquitectura.
- Castro, G. A. (2020). Interacción Suelo Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas. Lima: Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.
- Castro, G. V. (2006). Interacción Sísmica Suelo - Estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Asamblea Nacional de Rectores.
- Castro, G. V. (2006). Interacción Sísmica Suelo-Estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Castro, G. V. (2009). Interacción Sísmica Suelo-Estructura En Edificaciones Con Zapatas Aisladas. Lima: Asamblea Nacional de Rectores.
- Earth, G. (s.f.). Ubicación de ensayos geotécnicos.
- EPN, I. G. (16 de Abril de 2018). Instituto Geofísico - EPN. Dos años después del terremoto de pedernales: Actualización Sísmica: <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-actualizacion-sismica>

- Figuerola, A. L. (2005). ¿Qué es y para qué sirve un Estudio Geoténico en Edificación? Las Palmas de Gran Canaria: Colegio de Arquitectos de Canarias - Demarcación de Gran Canaria.
- Jimenez, A. (23 de Julio de 2024). Inesa Tech - Civil, engineering school and consulting . Análisis Modal Espectral: <https://www.inesa-tech.com/blog/analisis-modal-espectral/>
- Jiménez, V., E, S. B., E, G., I, B. Z., G, V. C., I, S., . . . M, M. T. (2017). Parámetros para la construcción de un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico del suelo debajo de la universidad de Guayaquil - Ecuador. Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.
- LIS. (18 de Agosto de 2023). Universidad de Costa Rica, LIS (Laboratorio de Ingeniería Sísmica). Modos de vibración de un edificio: <https://www.lis.ucr.ac.cr/527>
- Liu Lei, W. X. (2023). Determination and verification of parameters for the discrete elemnt modeling of single disc covering of flexible straw with soil. Biosystems Engineering.
- Llanos, F. H., & Catacora, L. G. (2019). Influencia de la interacción suelo - estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en el ciudad de Juliaca. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura .
- Macias, S. A. (2024). Análisis Comparativo de Cimentaciones Aisladas y Combinadas para un Edificación de Hormigón Armado en la ciudad de Guayaquil. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana Sede Guayaquil, Carrera de Ingeniería Civil.
- Martínez, P. Q., & Angulo, E. R. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de dieño para la Ciudad de Cuenca. Coyoacán: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mora, I. E. (2012). Actualización de la evaluación del riesgo sísmico en edificios de hormigón armado en los sectores con mayor riesgo sísmico de Guayaquil. Guayaquil: Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil.

- NEC-SE-DS. (2015). Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Nina, N. E. (2024). Evaluación de la Respuesta Sísmica de un Edificio Aporticado Considerando Interacción Suelo - Estructura. Piura: Universidad César Vallejo.
- Pastor, J. L., Tomás, R., Cano, M., & Adri. (2018). Estudio comparativo del potencial de licuación de suelos usando las normas españolas y el Eurocódigo. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana . <https://doi.org/10.18268>
- Piqueras, V. Y. (29 de Marzo de 2019). Universidad Politecnica de Valencia. La zapata aislada: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/29/>
- Quesada, F. B. (2008). Evaluación de Potencial de Licuefacción en Suelos. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción.
- Rafferty, J. P. (17 de Septiembre de 2024). Britannica . Licuefacción del suelo: <https://www.britannica.com/science/soil-liquefaction>
- Ramirez, R. E. (2017). Análisis Dinámico Modal Espectral para un modelo estructural de 3 niveles. Universidad Distrital Fransisco José De Caldas, Facultad Tecnológica - Laboratorio de Construcciones Civiles y Ingeniería Civil.
- Raúl Oliveira, G. V. (2023). Interacción Suelo-Estructura para edificaciones con platea de cimentación por los modelos estático y dinámico. Uruguay: Universidad de Montevideo.
- Salvador, D. D. (2021). Estudio de vulnerabilidad sísmica de los edificios de Guayaquil. Etecam. <https://doi.org/10.51736/eta.vi.9>
- Theurer, M., G, V., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en la escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Varela, C. T. (2019). Caracterización Estatigráfica de los Suelos de Guaaquil. Guayaquil: Universidad Espíritu Santo, UEES.
- Yanez, J. A. (2024). Diseño de un edificio con estructura metálica sismorresistente de 3 pisos para uso de un centro comercial en la urbanización vista San Eduardo,

cantón Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Civil, Sede Guayaquil.

Yepes, H., Jean-Luc, C., & Bertrand, G. (1994). Estudio del riesgo sísmico en el Ecuador. Resúmenes de las comunicaciones presentadas en el ciclo de conferencias por los 20 años del ORSTOM en Ecuador. Quito: Institut de Recherche pour le développement. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010006891>

Espectros de Diseño

Para determinar el espectro de diseño de la locación a utilizar se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Determinar el periodo de Vibración

Para nuestro proyecto los valores a emplear serán los siguientes:

$$C_t = 0.055 \quad \alpha = 0.9 \quad H = 3 \text{ m} \quad h_n = 12 \text{ m} \quad T = C_t \cdot (h_n)^\alpha$$

$$T_c = 0.51 \text{ s}$$

- Paso 2: Determinar el valor del Factor de Z

La ubicación otorgada para nuestro proyecto es en la provincia de Manabí, en el cantón Portoviejo, con un suelo tipo B. Para esto empleamos la NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismorresistente, empleando la tabla 19, denominada "Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z".

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
LA PUNTILLA	SAMBORONDON	SAMBORONDON	GUAYAS	0.40
LAUREL	JUNQUILLAL	SALITRE	GUAYAS	0.40
LAUREL	LAUREL	DAULE	GUAYAS	0.40
PUEBLO NUEVO	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
KILOMETRO VEINTE Y SEIS	VIRGEN DE FATIMA	SAN JACINTO DE YAGUACHI	GUAYAS	0.35
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

$$Z := 0.4$$

Ilustración 1- Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Tipo de perfil de Suelo (TP)

$$TP := \text{"D"}$$

Ilustración 2 - Clasificación de los perfiles del suelo

- Paso 3: Determinar coeficientes de perfil de Suelo F_a , F_d , F_s

F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos del sitio.

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

$$F_a := 1.2$$

Ilustración 3 - Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente F_d que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos del sitio.

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

$$F_d := 1.19$$

Ilustración 4 - Tipo de suelo y Factores de sitio F_b

F_s : Comportamiento no lineal de los suelos.

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente F_d que consideran el comportamiento no lineal en suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

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

$$F_s := 1.28$$

Ilustración 5 - Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

- Paso 4: Categoría de edificio y coeficiente de importancia I

La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la siguiente tabla y se adoptará el correspondiente factor de importancia I.

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

$$CI := 1$$

Ilustración 6 - Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Trabajaremos con un R con un valor de 6, debido a que es un valor no tan óptimo pero se asemeja a lo más cercano. Ya que si utilizamos un R con un valor de 8 se comprende como un valor de reducción total, en cambio si utilizamos un R con valor de 5 o 4 las secciones mínimas de los elementos estructurales resultarán sobredimensionadas.

$$R := 6$$

- Paso 5: Componentes Horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño

Espectro Elástico horizontal de diseño en aceleraciones:

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, lo cual se ve expresado en la siguiente figura, es consistente con:

- El factor de zona sísmica Z
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .

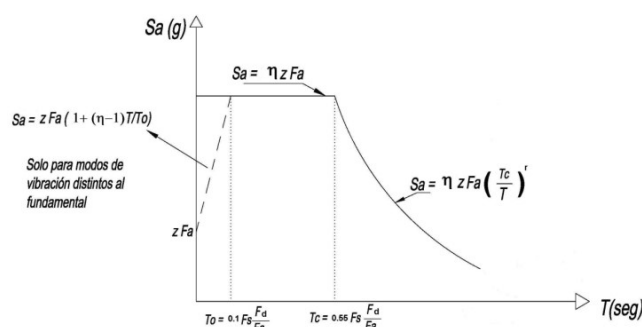


Ilustración 7 - Espectro Sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Donde:

- η Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamiento relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.
- S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
- T Período fundamental de vibración de la estructura.
- $T := 0, 0.1 \dots 3$
- T_0 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$$T_0 := 0.1 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} = 0.127$$

T_c Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$$T_c := 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} = 0.7$$

Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad "g".

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

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

Donde:

r Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyo valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

$r = 1$ Para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$$r := \text{if}(TP = \text{"E"}, 1.5, 1) = 1$$

$r = 1.5$ Para tipo de suelo E.

Se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

$\eta = 1.80$ Provincias de la Costa (excepto esmeraldas).

$\eta = 2.48$ Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta = 2.60$ Provincias del oriente.

- Cálculo de S_a

Para el cálculo se tienen las siguientes condiciones:

$$T \leq T_0 \quad S_{a1}(T) := Z \cdot F_a \cdot \left(1 + (\eta - 1) \cdot \frac{T}{T_0} \right)$$

$$T_0 < T \leq T_c \quad S_{a2}(T) := \eta \cdot Z \cdot F_a$$

$$T > T_c \quad S_{a3}(T) := \eta \cdot Z \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)^r$$

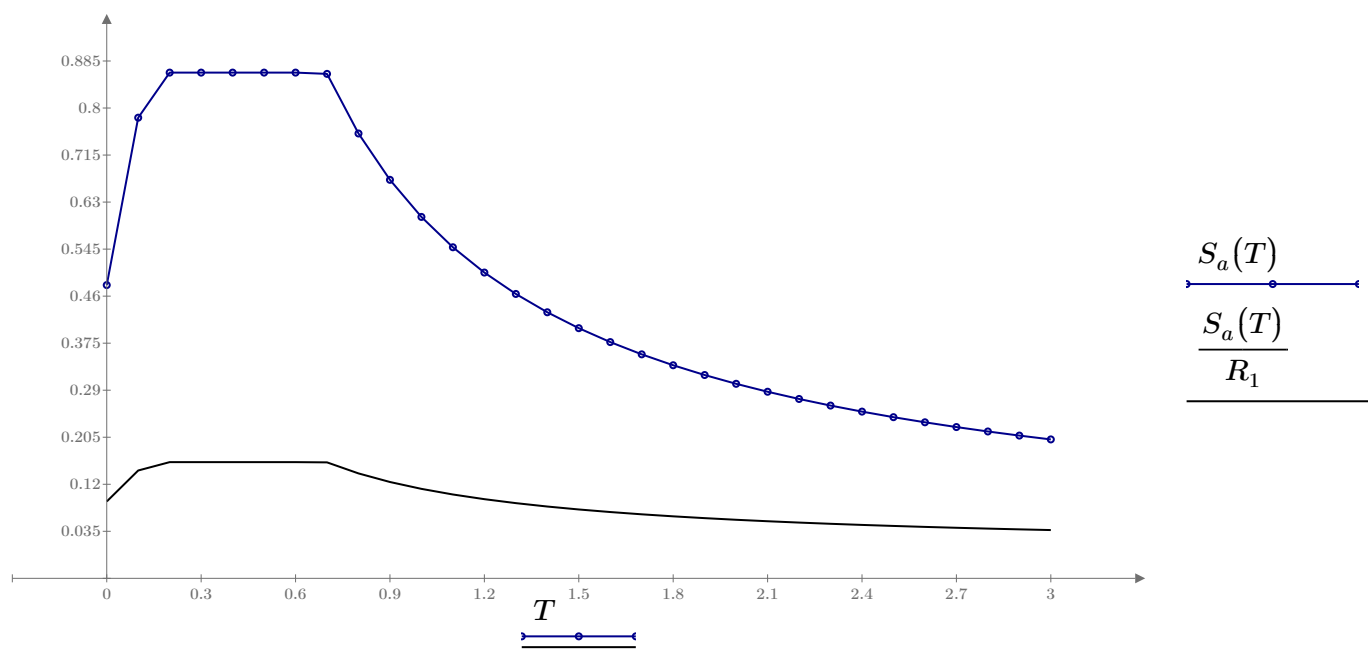
$$S_a(T) := \text{if}(T \leq T_0, S_{a1}(T), \text{if}(T \leq T_c, S_{a2}(T), S_{a3}(T)))$$

Para el cálculo del espectro de respuesta inelástico de aceleraciones:

$$R_I := R \cdot \phi_E \cdot \phi_P$$

$$R_I = 5.4$$

Periodo fundamental de vibración de la estructura.	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	Espectro de respuesta inelástico de aceleraciones
$T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \\ 1.6 \\ 1.7 \\ 1.8 \\ 1.9 \\ 2 \\ 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \\ 2.5 \\ 2.6 \\ 2.7 \\ 2.8 \\ 2.9 \\ 3 \end{bmatrix}$	$S_a(T) = \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.78 \\ 0.86 \\ 0.86 \\ 0.86 \\ 0.86 \\ 0.86 \\ 0.86 \\ 0.75 \\ 0.67 \\ 0.6 \\ 0.55 \\ 0.5 \\ 0.46 \\ 0.43 \\ 0.4 \\ 0.38 \\ 0.35 \\ 0.34 \\ 0.32 \\ 0.3 \\ 0.29 \\ 0.27 \\ 0.26 \\ 0.25 \\ 0.24 \\ 0.23 \\ 0.22 \\ 0.22 \\ 0.21 \\ 0.2 \end{bmatrix}$	$\frac{S_a(T)}{R_I} = \begin{bmatrix} 0.089 \\ 0.145 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.14 \\ 0.124 \\ 0.112 \\ 0.102 \\ 0.093 \\ 0.086 \\ 0.08 \\ 0.074 \\ 0.07 \\ 0.066 \\ 0.062 \\ 0.059 \\ 0.056 \\ 0.053 \\ 0.051 \\ 0.049 \\ 0.047 \\ 0.045 \\ 0.043 \\ 0.041 \\ 0.04 \\ 0.039 \\ 0.037 \end{bmatrix}$



Interacción Sísmica Suelo - Estructura) con cimentaciones superficiales

Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para aulas de centro educativos, proyectada en la población de Tumbaco, provincia del Pichincha, con un sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4 metros. Se requiere realizar un análisis de interacción suelo - estructura, considerando el suelo del perfil de roca de rigidez media, empleando los siguientes datos:

- Datos del concreto

- Resistencia a la compresión del concreto $f_c := 210 \frac{kg}{cm^2}$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c := 15100 \cdot \sqrt{210} = 218819.79$
- Coeficiente de Poisson del Concreto $\mu_c := 0.2$
- Profundidad de desplante (Contacto con zapata) $Pd := 1 \text{ m}$
- Columnas (Esquineras, Laterales, Centrales) $b_c := 45 \text{ cm}$ $a_c := 45 \text{ cm}$
- Vigas Longitudinales $b_l := 25 \text{ cm}$ $h_l := 30 \text{ cm}$
- Vigas Transversales $b_t := 25 \text{ cm}$ $h_t := 40 \text{ cm}$
- Peso específico del hormigón $\gamma_c := 2.4 \frac{ton}{m^3}$
- Aceleración de la gravedad $g := 9.81 \frac{m}{s^2}$

- Datos del concreto

- Coeficiente de Poisson del Suelo: $\mu_s := 0.35$
- Modulo de Elasticidad del Suelo : $\varepsilon_s := 109.47 \text{ MPa}$
- Densidad del Suelo : $\rho_{s1} := 0.13 \text{ ton} \cdot \frac{s^2}{m^4}$ $\rho_{s2} := 1.3 \text{ kN} \cdot \frac{s^2}{m^4}$ $A_{10} := 10 \text{ m}^2$
 $\Phi_s := 0.833$
- Coeficiente Empírico del suelo : $b_o := 1.5 \text{ m}^{-1}$
- Modulo de Deformación Suelo : $M_s := 11.79 \text{ MPa}$

$$M_s := 11.79 \text{ MPa} \cdot \frac{101.97162 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}}{1 \text{ MPa}} = 1202.25 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_o := 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Se pide:

- Calcular las masas de las zapatas.
- Calcular las masas rotacionales de las zapatas.
- Determinar los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Barkan D.D.
- Modelar con ETABS y determinar los 8 primeros periodos de vibración.
- Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones.
- Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en cuales surgen dichas fuerzas internas.

1- Calcular las masas de las zapatas - MODELO BARKAN D.D.

Del libro "Interacción Suelo - Estructura en edificios altos" del Ph.D. Genner Villareal Castro, para calcular masas de cimentaciones tipo cabezal con pilotes, plateas de cimentación y zapatas aisladas, teniendo en consideración que en los dos primeros casos se considerará como placa rectangular delgada, debido a que la proporción de dos de sus lados respecto al tercero es muy grande. En cambio, para el caso de zapatas aisladas, debe considerarse como paralelepípedo rectangular. Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales x, y, z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo - zapata, indicados como x', y', z'.

- Masas Traslacionales

$$Mt = Mx = My = Mz = \frac{P_{Zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{Zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

Donde:

P_{Zapata} Peso de la zapata

a, b, c Dimensiones de la zapata

$\gamma_c = 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ Peso específico del hormigón

$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Aceleración de la gravedad

$$Mt = Mx = My = Mz = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

Zapata Esquinera	Zapata Lateral	Zapata Central
$az_e := 1.3 \text{ m}$	$az_l := 1.7 \text{ m}$	$az_c := 1.8 \text{ m}$
$bz_e := 1.2 \text{ m}$	$bz_l := 1.6 \text{ m}$	$bz_c := 1.9 \text{ m}$
$cz_e := 0.3 \text{ m}$	$cz_l := 0.3 \text{ m}$	$cz_c := 0.5 \text{ m}$
$Mx_e := \frac{\gamma_c \cdot az_e \cdot bz_e \cdot cz_e}{g} = 0.114 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	$Mx_l := \frac{\gamma_c \cdot az_l \cdot bz_l \cdot cz_l}{g} = 0.2 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	
	$Mx_c := \frac{\gamma_c \cdot az_c \cdot bz_c \cdot cz_c}{g} = 0.418 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	

Esquinera	Lateral	Central
$Mx_e = 0.114 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	$Mx_l = 0.2 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	$Mx_c = 0.418 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$

2- Calcular las masas rotacionales de las zapatas - MODELO BARKAN D.D.

$$I_{ex'} := \left(\frac{Mx_e \cdot (bz_e^2 + cz_e^2)}{12} \right) = 0.015 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{ey'} := \left(\frac{Mx_e \cdot (az_e^2 + cz_e^2)}{12} \right) = 0.017 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\phi x'} := Mx_e \cdot \left(\frac{cz_e}{2} \right)^2 + I_{ex'} = 0.017 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\phi y'} := Mx_e \cdot \left(\frac{cz_e}{2} \right)^2 + I_{ey'} = 0.020 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{e\Psi_z'} := \left(\frac{Mx_e \cdot (az_e^2 + bz_e^2)}{12} \right) = 0.03 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\phi z'} := I_{e\Psi_z'} = 0.030 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{lx'} := \left(\frac{Mx_l \cdot (bz_l^2 + cz_l^2)}{12} \right) = 0.044 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{ly'} := \left(\frac{Mx_l \cdot (az_l^2 + cz_l^2)}{12} \right) = 0.05 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{l\phi x'} := Mx_l \cdot \left(\frac{cz_l}{2} \right)^2 + I_{lx'} = 0.049 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{l\phi y'} := Mx_l \cdot \left(\frac{cz_l}{2} \right)^2 + I_{ly'} = 0.054 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{l\Psi_z'} := \left(\frac{Mx_l \cdot (az_l^2 + bz_l^2)}{12} \right) = 0.091 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{l\phi z'} := I_{l\Psi_z'} = 0.091 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{cx'} := \left(\frac{Mx_c \cdot (bz_c^2 + cz_c^2)}{12} \right) = 0.135 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{cy'} := \left(\frac{Mx_c \cdot (az_c^2 + cz_c^2)}{12} \right) = 0.122 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{c\phi x'} := Mx_c \cdot \left(\frac{cz_c}{2} \right)^2 + I_{cx'} = 0.161 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{c\phi y'} := Mx_c \cdot \left(\frac{cz_c}{2} \right)^2 + I_{cy'} = 0.148 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$I_{c\Psi_z'} := \left(\frac{Mx_c \cdot (az_c^2 + bz_c^2)}{12} \right) = 0.239 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{c\phi z'} := I_{c\Psi_z'} = 0.239 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

Esquinera

$$M_{e\phi x'} = 0.017 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\phi y'} = 0.02 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\phi z'} = 0.03 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

Lateral

$$M_{l\varphi x'} = 0.049 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{l\varphi y'} = 0.054 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{l\varphi z'} = 0.091 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Central

$$M_{c\varphi x'} = 0.161 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{c\varphi y'} = 0.148 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{c\varphi z'} = 0.239 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

3- Determinar los coeficientes de rigidez - MODELO BARKAN D.D. - O.A. SANINOV

De acuerdo al libro "Interacción Sísmica Suelo - Estructura en edificaciones con Zapatas Aisladas" del Ph.D. Genner Villareal Castro.

Para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, el científico ruso D.D. Barkan en el año 1948 propuso utilizar la formula 2.4 del mismo texto pag. 29. Que son las siguientes expresiones:

$$K_x = K_y = C_x \cdot A$$

$$K_z = C_z \cdot A$$

$$K_{\phi x} = C_{\phi} \cdot I_x$$

Donde:

K_x	Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en X	
K_y	Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en Y	
K_z	Coeficiente de rigidez de compresión elástico uniforme	
$K_{\phi x}$	Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme alrededor del eje X	
$K_{\phi y}$	Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme alrededor del eje Y	
$K_{\psi z}$	Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme	
A	Área de la base de la cimentación	$A = a \cdot b$
I_x	Momento de Inercia alrededor del eje X	$I_x = \frac{a \cdot b^3}{12}$
I_y	Momento de Inercia alrededor del eje Y	$I_y = \frac{b \cdot a^3}{12}$
C_x	Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme en X	
C_y	Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme en Y	
C_z	Coeficiente de compresión elástica uniforme	
$C_{\phi x}$	Coeficiente de compresión elástica no uniforme alrededor del eje X	

$C_{\phi y}$ Coeficiente de compresión elástica no uniforme alrededor del eje Y

$C_{\Psi z}$ Coeficiente de desplazamiento elástico no uniforme

Los coeficientes de compresión y desplazamiento de la base en el modelo D.D. Barkan - O.A. Saninov por la fórmula 2.6 del mismo texto pag. 30 es:

$$C_x = C_y = D_o \cdot \left(1 + \frac{2(a+b)}{A \cdot A} \right) \cdot \sqrt{\frac{P}{P_o}}$$

$$C_z = C_o \cdot \left(1 + \frac{2(a+b)}{A \cdot A} \right) \cdot \sqrt{\frac{P}{P_o}}$$

$$C_{\phi x} = C_o \cdot \left(1 + \frac{2(a+3b)}{A \cdot A} \right) \cdot \sqrt{\frac{P}{P_o}}$$

$$C_{\phi y} = C_o \cdot \left(1 + \frac{2(b+3a)}{A \cdot A} \right) \cdot \sqrt{\frac{P}{P_o}}$$

Donde:

$C_o; D_o$ Coeficiente determinado mediante experimentos realizados para $P = P_o$ $P_o = 0.2 \frac{kg}{cm^2}$

$a; b$ Dimensiones de la cimentación en el plano

A Dimensiones de la cimentación en el plano

P Presión estática

Para calcular la presión estática para cada zapata se utiliza la siguiente expresión:

$$P = \frac{PTE + PZ}{AZ}$$

Donde:

PTE Peso Tributario del Edificio para cada Zapata

PZ Peso de la Zapata

AZ Área de la Zapata

Coeficiente C_o (Balasto Inicial)

Tabla 2.1 Del mismo texto pag. 31.

Tipo de Perfil de Suelo	Característica de la Base de Fundación	Suelo	C_o (kg/cm ³)
<i>S1</i>	Roca o Suelos muy Rígidos	Arcilla y Arena Arcillosa Dura	3.0
		Arena Compacta ($Il < 0$)	2.2
		Cascajo, Grava, Canto Rodado, Arena Densa.	2.6
<i>S2</i>	Suelos Intermedios	Arcilla y Arena Arcillosa Plástica ($0.25 < Il \leq 0.5$)	2.0
		Arena Plástica ($0 < Il \leq 0.5$)	1.6
		Arena Polvorosa Medio Densa y Densa ($e \leq 0.8$)	1.4
		Arenas de Grano Fino, Mediano y Grueso, Independientes de su Densidad y Humedad	1.8
		Arcilla y Arena Arcillosa de Baja Plasticidad ($0.5 < Il \leq 0.75$)	$C_o := 0.8 \frac{kg}{cm^3}$
<i>S3</i>	Suelos Flexibles o con Estratos de Gran Espesor	Arena Plástica ($0.5 < Il \leq 1$)	1.0
		Arena Polvorosa, Saturada, Porosa ($e > 0.8$)	1.2
<i>S4</i>	Condiciones Excepcionales	Arcilla y Arena Arcillosa muy Blanda ($Il > 0.75$)	0.6
		Arena Movediza ($Il > 1$)	0.6

Coefficiente D_o

Formula 27 del mismo texto pag. 30.

$$D_o = \frac{1 - \mu_s}{1 - 0.5 \mu_s} \cdot C_o$$

Donde:

μ_s Coeficiente de Poisson del Suelo

Peso Sísmico

$$\begin{aligned}
 D_4 &:= 114.91 \text{ ton} & L_4 &:= 10.08 \text{ ton} & W_4 &:= D_4 + 0.25 L_4 = 117.43 \text{ ton} \\
 D_3 &:= 114.91 \text{ ton} & L_3 &:= 20.16 \text{ ton} & W_3 &:= D_3 + 0.25 L_3 = 119.95 \text{ ton} \\
 D_2 &:= 114.91 \text{ ton} & L_2 &:= 20.16 \text{ ton} & W_2 &:= D_2 + 0.25 L_2 = 119.95 \text{ ton} \\
 D_1 &:= 114.91 \text{ ton} & L_1 &:= 20.16 \text{ ton} & W_1 &:= D_1 + 0.25 L_1 = 119.95 \text{ ton} \\
 \\
 WT &:= W_4 + W_3 + W_2 + W_1 = 477.28 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

<i>Pisos</i>	D (T)	L (T)	$W = D + 0.25 L$ (T)
4	$D_4 = 114.91 \text{ ton}$	$L_4 = 10.08 \text{ ton}$	$W_4 = 117.43 \text{ ton}$
3	$D_3 = 114.91 \text{ ton}$	$L_3 = 20.16 \text{ ton}$	$W_3 = 119.95 \text{ ton}$
2	$D_2 = 114.91 \text{ ton}$	$L_2 = 20.16 \text{ ton}$	$W_2 = 119.95 \text{ ton}$
1	$D_1 = 114.91 \text{ ton}$	$L_1 = 20.16 \text{ ton}$	$W_1 = 119.95 \text{ ton}$
		(Σ)	$WT = 477.28 \text{ ton}$

Presión Estática para cada Zapata

$$Aze := az_e \cdot bz_e = 1.56 \text{ m}^2$$

$$Azl := az_l \cdot bz_l = 2.72 \text{ m}^2$$

$$Azc := az_c \cdot bz_c = 3.42 \text{ m}^2$$

$$Pze := cz_e \cdot Aze \cdot \gamma_c = 1.12 \text{ ton}$$

$$Pzl := cz_l \cdot Azl \cdot \gamma_c = 1.96 \text{ ton}$$

$$Pzc := cz_c \cdot Azc \cdot \gamma_c = 4.1 \text{ ton}$$

$$A_{edf} := 100.79 \text{ m}^2 \quad WT = 477.28 \text{ ton}$$

$$P_{unit} := \frac{WT}{A_{edf}} = 4.74 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Esquinas

Laterales

Centrales

$$Ate := 3 \text{ m}^2$$

$$Atl := 5.8 \text{ m}^2$$

$$Atc := 10.77 \text{ m}^2$$

$$P_{trib_edf_Ze} := P_{unit} \cdot Ate$$

$$P_{trib_edf_Zl} := P_{unit} \cdot Atl$$

$$P_{trib_edf_Zc} := P_{unit} \cdot Atc$$

$$P_{trib_edf_Ze} = 14.21 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_Zl} = 27.47 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_Zc} = 51 \text{ ton}$$

$$P_{trib_Ze} := P_{trib_edf_Ze} + Pze$$

$$P_{trib_Zl} := P_{trib_edf_Zl} + Pzl$$

$$P_{trib_Zc} := P_{trib_edf_Zc} + Pzc$$

$$P_{trib_Ze} = 15.33 \text{ ton}$$

$$P_{trib_Zl} = 29.42 \text{ ton}$$

$$P_{trib_Zc} = 55.1 \text{ ton}$$

$$P_{ze} := \frac{P_{trib_Ze}}{Aze}$$

$$P_{zl} := \frac{P_{trib_Zl}}{Azl}$$

$$P_{zc} := \frac{P_{trib_Zc}}{Azc}$$

Esquinas

Lateral

Central

$$P_{ze} = 9.83 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{zl} = 10.82 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{zc} = 16.11 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{zel} := 0.983 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{zll} := 1.082 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{zcl} := 1.611 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Coefficiente Co (Balasto Inicial)

Tabla 2.1 Del mismo texto pag. 31.

Perfil de Roca de Rigidez Media

$$\mu_s = 0.35$$

$$Co = 0.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Coefficiente Do

Formula 27 del mismo texto pag. 30.

$$Do := \frac{1 - \mu_s}{1 - 0.5 \mu_s} \cdot Co$$

$$Do = 0.63 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad \Delta := 1$$

Coefficientes de Compresión y Desplazamiento

Esquinas

$$Cx_Ze := ((1 \cdot (m) Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_e + bz_e \rangle}{\Delta \cdot (Aze)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zel}{Po}}$$

$$Cx_Ze = 5.876 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$Cx_Ze := 5876 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cy_Ze := ((1 \cdot (m) Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_e + bz_e \rangle}{\Delta \cdot (Aze)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zel}{Po}}$$

$$Cy_Ze = 5.876 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$Cy_Ze := 5876 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cz_Ze := ((1 \cdot (m) Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_e + bz_e \rangle}{\Delta \cdot (Aze)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zel}{Po}}$$

$$Cz_Ze = 7.458 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$Cz_Ze := 7458 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\phi x_Ze := (1 \cdot (m) Co) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_e + 3 bz_e \rangle}{\Delta \cdot Aze} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zel}{Po}}$$

$$C\phi x_Ze = 12.915 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$C\phi x_Ze := 12915 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\phi y_Ze := (1 \cdot (m) Co) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle bz_e + 3 az_e \rangle}{\Delta \cdot Aze} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zel}{Po}}$$

$$C\phi y_Ze = 13.37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$C\phi y_Ze := 13370 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Laterales

$$Cx_Zl := ((1 \cdot (\mathbf{m}) \text{ Do})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{\mathbf{m}} \right) + \left(\frac{2 \langle az_l + bz_l \rangle}{\Delta \cdot (Azl)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zll}{Po}}$$

$$Cx_Zl = 5.023 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{cm}^3}$$

$$\boxed{Cx_Zl} := 5023 \frac{\mathbf{ton}}{\mathbf{m}^3}$$

$$Cy_Zl := ((1 \cdot (\mathbf{m}) \text{ Do})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{\mathbf{m}} \right) + \left(\frac{2 \langle az_l + bz_l \rangle}{\Delta \cdot (Azl)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zll}{Po}}$$

$$Cy_Zl = 5.023 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{cm}^3}$$

$$\boxed{Cy_Zl} := 5023 \frac{\mathbf{ton}}{\mathbf{m}^3}$$

$$Cz_Zl := ((1 \cdot (\mathbf{m}) \text{ Co})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{\mathbf{m}} \right) + \left(\frac{2 \langle az_l + bz_l \rangle}{\Delta \cdot (Azl)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zll}{Po}}$$

$$Cz_Zl = 6.376 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{cm}^3}$$

$$\boxed{Cz_Zl} := 6376 \frac{\mathbf{ton}}{\mathbf{m}^3}$$

$$C\phi x_Zl := (1 \cdot (\mathbf{m}) \text{ Co}) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{\mathbf{m}} \right) + \left(\frac{2 \langle az_l + 3 \text{ } bz_l \rangle}{\Delta \cdot Azl} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zll}{Po}}$$

$$C\phi x_Zl = 10.754 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{cm}^3}$$

$$\boxed{C\phi x_Zl} := 10754 \frac{\mathbf{ton}}{\mathbf{m}^3}$$

$$C\phi y_Zl := (1 \cdot (\mathbf{m}) \text{ Co}) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{\mathbf{m}} \right) + \left(\frac{2 \langle bz_l + 3 \text{ } az_l \rangle}{\Delta \cdot Azl} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zll}{Po}}$$

$$C\phi y_Zl = 11.028 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{cm}^3}$$

$$\boxed{C\phi y_Zl} := 11028 \frac{\mathbf{ton}}{\mathbf{m}^3}$$

Centrales

$$Cx_Zc := ((1 \cdot (m) \text{ Do})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_c + bz_c \rangle}{\Delta \cdot (Azc)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zcl}{Po}}$$

$$Cx_Zc = 5.66 \frac{kg}{cm^3}$$

$$Cx_Zc := 5660 \frac{ton}{m^3}$$

$$Cy_Zc := ((1 \cdot (m) \text{ Do})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_c + bz_c \rangle}{\Delta \cdot (Azc)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zcl}{Po}}$$

$$Cy_Zc = 5.66 \frac{kg}{cm^3}$$

$$Cy_Zc := 5660 \frac{ton}{m^3}$$

$$Cz_Zc := ((1 \cdot (m) \text{ Co})) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_c + bz_c \rangle}{\Delta \cdot (Azc)} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zcl}{Po}}$$

$$Cz_Zc = 7.183 \frac{kg}{cm^3}$$

$$Cz_Zc := 7183 \frac{ton}{m^3}$$

$$C\phi x_Zc := (1 \cdot (m) \text{ Co}) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle az_c + 3 bz_c \rangle}{\Delta \cdot Azc} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zcl}{Po}}$$

$$C\phi x_Zc = 12.229 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C\phi x_Zc := 12229 \frac{ton}{m^3}$$

$$C\phi y_Zc := (1 \cdot (m) \text{ Co}) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \langle bz_c + 3 az_c \rangle}{\Delta \cdot Azc} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{P_zcl}{Po}}$$

$$C\phi y_Zc = 11.963 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C\phi y_Zc := 11963 \frac{ton}{m^3}$$

Coeficientes de Rigidez de Desplazamiento y Compresión

Esquineras

$$Kx_{Ze} := Cx_{Ze} \cdot Aze = 9166.56 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{Ze} := Cy_{Ze} \cdot Aze = 9166.56 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{Ze} := Cz_{Ze} \cdot Aze = 11634.48 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi x_{Ze} := C\varphi x_{Ze} \cdot \frac{az_e \cdot bz_e^3}{12} = 2417.69 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi y_{Ze} := C\varphi y_{Ze} \cdot \frac{bz_e \cdot az_e^3}{12} = 2937.39 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Laterales

$$Kx_{Zl} := Cx_{Zl} \cdot Azl = 13662.56 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{Zl} := Cy_{Zl} \cdot Azl = 13662.56 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{Zl} := Cz_{Zl} \cdot Azl = 17342.72 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi x_{Zl} := C\varphi x_{Zl} \cdot \frac{az_l \cdot bz_l^3}{12} = 6240.19 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi y_{Zl} := C\varphi y_{Zl} \cdot \frac{bz_l \cdot az_l^3}{12} = 7224.08 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Centrales

$$Kx_{Zc} := Cx_{Zc} \cdot Azc = 19357.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{Zc} := Cy_{Zc} \cdot Azc = 19357.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{Zc} := Cz_{Zc} \cdot Azc = 24565.86 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi x_{Zc} := C\varphi x_{Zc} \cdot \frac{az_c \cdot bz_c^3}{12} = 12581.81 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi y_{Zc} := C\varphi y_{Zc} \cdot \frac{bz_c \cdot az_c^3}{12} = 11046.63 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Modelo NORMA RUSA Modelo Dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

1- Calcular las masas de las zapatas - MODELO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

Del libro "Interacción Suelo - Estructura en edificios altos" del Ph.D. Genner Villareal Castro, para calcular masas de cimentaciones tipo cabezal con pilotes, plateas de cimentación y zapatas aisladas, teniendo en consideración que en los dos primeros casos se considerará como placa rectangular delgada, debido a que la proporción de dos de sus lados respecto al tercero es muy grande. En cambio, para el caso de zapatas aisladas, debe considerarse como paralelepípedo rectangular. Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales x, y, z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo - zapata, indicados como x', y', z'.

- Masas Traslacionales

$$Mt = Mx = My = Mz = \frac{P_{Zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{Zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

Donde:

P_{Zapata} Peso de la zapata

a, b, c Dimensiones de la zapata

$\gamma_c = 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ Peso específico del hormigón

$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Aceleración de la gravedad

$$Mt = Mx = My = Mz = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

Zapata Esquinera	Zapata Lateral	Zapata Central
$az_{e2} := 1.3 \text{ m}$	$az_{l2} := 1.7 \text{ m}$	$az_{c2} := 1.8 \text{ m}$
$bz_{e2} := 1.2 \text{ m}$	$bz_{l2} := 1.6 \text{ m}$	$bz_{c2} := 1.9 \text{ m}$
$cz_{e2} := 0.3 \text{ m}$	$cz_{l2} := 0.3 \text{ m}$	$cz_{c2} := 0.5 \text{ m}$
$Mt1 := \frac{\gamma_c \cdot az_{e2} \cdot bz_{e2} \cdot cz_{e2}}{g} = 0.114 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	$Mt2 := \frac{\gamma_c \cdot az_{l2} \cdot bz_{l2} \cdot cz_{l2}}{g} = 0.2 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	
	$Mt3 := \frac{\gamma_c \cdot az_{c2} \cdot bz_{c2} \cdot cz_{c2}}{g} = 0.418 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$	

*Esquinera**Lateral**Central*

$$Mt1 = 0.114 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

$$Mt2 = 0.2 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

$$Mt3 = 0.418 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

2- Calcular las masas rotacionales de las zapatas - MODELO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

$$I_{ex}'2 := \left(\frac{Mt1 \cdot (bz_e^2 + cz_e^2)}{12} \right) = 0.015 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{ey}'2 := \left(\frac{Mt1 \cdot (az_{e2}^2 + cz_{e2}^2)}{12} \right) = 0.017 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{e\varphi x}'2 := Mt1 \cdot \left(\frac{cz_{e2}}{2} \right)^2 + I_{ex}'2 = 0.017 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{e\varphi y}'2 := Mt1 \cdot \left(\frac{cz_{e2}}{2} \right)^2 + I_{ey}'2 = 0.020 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{e\Psi z}'2 := \left(\frac{Mt1 \cdot (az_{e2}^2 + bz_{e2}^2)}{12} \right) = 0.03 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{e\varphi z}'2 := I_{e\Psi z}'2 = 0.030 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{lx}'2 := \left(\frac{Mt2 \cdot (bz_{l2}^2 + cz_{l2}^2)}{12} \right) = 0.044 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{ly}'2 := \left(\frac{Mt2 \cdot (az_{l2}^2 + cz_{l2}^2)}{12} \right) = 0.05 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{l\varphi x}'2 := Mt2 \cdot \left(\frac{cz_{l2}}{2} \right)^2 + I_{lx}'2 = 0.049 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{l\varphi y}'2 := Mt2 \cdot \left(\frac{cz_{l2}}{2} \right)^2 + I_{ly}'2 = 0.054 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{l\Psi z}'2 := \left(\frac{Mt2 \cdot (az_{l2}^2 + bz_{l2}^2)}{12} \right) = 0.091 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{l\varphi z}'2 := I_{l\Psi z}'2 = 0.091 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{cx}'2 := \left(\frac{Mt3 \cdot (bz_{c2}^2 + cz_{c2}^2)}{12} \right) = 0.135 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{cy}'2 := \left(\frac{Mt3 \cdot (az_{c2}^2 + cz_{c2}^2)}{12} \right) = 0.122 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{c\varphi x}'2 := Mt3 \cdot \left(\frac{cz_{c2}}{2} \right)^2 + I_{cx}'2 = 0.161 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{c\varphi y}'2 := Mt3 \cdot \left(\frac{cz_{c2}}{2} \right)^2 + I_{cy}'2 = 0.148 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$I_{c\Psi z}'2 := \left(\frac{Mt3 \cdot (az_{c2}^2 + bz_{c2}^2)}{12} \right) = 0.239 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M_{c\varphi z}'2 := I_{c\Psi z}'2 = 0.239 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Esquinas

$$M_{e\varphi x'2} = 0.017 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\varphi y'2} = 0.02 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{e\varphi z'2} = 0.03 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

Lateral

$$M_{l\varphi x'2} = 0.049 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{l\varphi y'2} = 0.054 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{l\varphi z'2} = 0.091 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

Central

$$M_{c\varphi x'2} = 0.161 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{c\varphi y'2} = 0.148 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

$$M_{c\varphi z'2} = 0.239 \text{ ton} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^2$$

3- Calculamos Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme

$$Cz = bo \cdot Es \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Donde:

bo Coeficiente (m^{-1}) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1.2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1.5.

Coeficiente Empírico del suelo : $bo = 1.5 \text{ } m^{-1}$ *Valor Experimental según tipo de suelo*

Es Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación, kPa (T/m²), determinadas por las tablas 3 y 4 del anexo de la investigación (144) o en forma experimental.

Módulo de Elasticidad del Suelo : $Es = 109.47 \text{ MPa}$

$$A_{10} = 10 \text{ } m^2$$

Es Área de la base de la cimentación

Módulo de Deformación Suelo : $Ms = 1202.245 \frac{\text{ton}}{m^2}$

Esquinera

$$Cz_{Ze2} := bo \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{az_e \cdot bz_e}} \right) = 6369.223 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

Laterales

$$Cz_{Zl2} := bo \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{az_l \cdot bz_l}} \right) = 5261.169 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

Centrales

$$Cz_{Zc2} := bo \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{az_c \cdot bz_c}} \right) = 4887.0625 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

4- Calculo de Coeficientes de Desplazamiento Elástico Uniforme, Compresión Elástica no Uniforme, Desplazamiento Elástico no Uniforme

$$Cx = Cy = 0.7 \cdot Cz \qquad C\varphi x = 2 \cdot Cz$$

Esquinas

$$Cx_Ze1 := 0.7 \cdot Cz_Ze2 = 4458.456 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cy_Ze1 := 0.7 \cdot Cz_Ze2 = 4458.456 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\varphi x_Ze1 := 2 \cdot Cz_Ze2 = 12738.446 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\varphi y_Ze1 := 2 \cdot Cz_Ze2 = 12738.446 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\Psi z_Ze1 := Cz_Ze2 = 6369.223 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Laterales

$$Cx_Zl1 := 0.7 \cdot Cz_Zl2 = 3682.818 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cy_Zl1 := 0.7 \cdot Cz_Zl2 = 3682.818 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\varphi x_Zl1 := 2 \cdot Cz_Zl2 = 10522.337 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\varphi y_Zl1 := 2 \cdot Cz_Zl2 = 10522.337 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\Psi z_Zl1 := Cz_Zl2 = 5261.169 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Centrales

$$Cx_Zc1 := 0.7 \cdot Cz_Zc2 = 3420.944 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cy_Zc1 := 0.7 \cdot Cz_Zc2 = 3420.944 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\varphi x_Zc1 := 2 \cdot Cz_Zc2 = 9774.125 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C\phi y_{Zc1} := 2 \cdot C z_{Zc2} = 9774.125 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$C\psi z_{Zc1} := C z_{Zc2} = 4887.062 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$\text{Densidad del Suelo : } \rho s1 = 0.13 \frac{\text{ton}}{m^4} \cdot \frac{s^2}{m^4} \quad \rho s2 = 1.3 \frac{kN}{m^4} \cdot \frac{s^2}{m^4} \quad \Phi_s = 0.833$$

5- Calculo de Coeficientes de Rigidez

Esquinas

$$Kx_Zel := Cx_Zel \cdot az_{e2} \cdot bz_{e2} = 6955.191 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_Zel := Cy_Zel \cdot az_{e2} \cdot bz_{e2} = 6955.191 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_Zel := Cz_Zel \cdot az_{e2} \cdot bz_{e2} = 9935.988 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\phi x_Zel := C\phi x_Zel \cdot \frac{az_{e2} \cdot bz_{e2}^3}{12} = 2384.637 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\phi y_Zel := C\phi y_Zel \cdot \frac{bz_{e2} \cdot az_{e2}^3}{12} = 2798.636 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\Psi z_Zel := C\Psi z_Zel \cdot \left(\frac{az_{e2} \cdot bz_{e2}^3}{12} + \frac{bz_{e2} \cdot az_{e2}^3}{12} \right) = 2591.637 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Laterales

$$Kx_Zl1 := Cx_Zl1 \cdot az_{l2} \cdot bz_{l2} = 10017.265 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_Zl1 := Cy_Zl1 \cdot az_{l2} \cdot bz_{l2} = 10017.265 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_Zl1 := Cz_Zl1 \cdot az_{l2} \cdot bz_{l2} = 14310.379 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\phi x_Zl1 := C\phi x_Zl1 \cdot \frac{az_{l2} \cdot bz_{l2}^3}{12} = 6105.762 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\phi y_Zl1 := C\phi y_Zl1 \cdot \frac{bz_{l2} \cdot az_{l2}^3}{12} = 6892.832 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\Psi z_Zl1 := C\Psi z_Zl1 \cdot \left(\frac{az_{l2} \cdot bz_{l2}^3}{12} + \frac{bz_{l2} \cdot az_{l2}^3}{12} \right) = 6499.297 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Centrales

$$Kx_Zc1 := Cx_Zc1 \cdot az_{c2} \cdot bz_{c2} = 11699.628 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_Zc1 := Cy_Zc1 \cdot az_{c2} \cdot bz_{c2} = 11699.628 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_Zc1 := Cz_Zc2 \cdot az_{c2} \cdot bz_{c2} = 16713.754 \frac{\text{ton}}{m}$$

$$K\phi x_Zc1 := C\phi x_Zc1 \cdot \frac{az_{c2} \cdot bz_{c2}^3}{12} = 10056.108 \text{ ton} \cdot m$$

$$K\phi y_Zc1 := C\phi y_Zc1 \cdot \frac{bz_{c2} \cdot az_{c2}^3}{12} = 9025.427 \text{ ton} \cdot m$$

$$K\Psi z_Zc1 := C\Psi z_Zc1 \cdot \left(\frac{az_{c2} \cdot bz_{c2}^3}{12} + \frac{bz_{c2} \cdot az_{c2}^3}{12} \right) = 9540.768 \text{ ton} \cdot m$$

Se asignaron las propiedades de los resortes traslacionales y rotacionales a través del elemento SPRING. Para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 se liberó la rotación alrededor del eje vertical, debido a la existencia del coeficiente de rigidez $K_{\Psi z}$.

6- Calculo de Parámetro de Amortiguamiento

$$\beta_z = 6 \cdot \sqrt{\frac{Ms}{Cz \cdot Pm}}$$

Donde:

Ms Módulo de Elasticidad del suelo de fundación

Cz Coeficiente de Compresión Elástica Uniforme

Pm Presión Estática Media en la base de la Cimentación

$$Pm := 45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \text{Valor Experimental según tipo de suelo}$$

$$Cz_Ze2 = 6369.223 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cz_Zl2 = 5261.169 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$Cz_Zc2 = 4887.062 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Esquinas

Laterales

Centrales

$Pm1 := 45$	$Cze := 6369.247$	$Ms1 := 1202.25$
	$Czl := 5261.189$	
	$Czc := 4887.062$	

$$\beta_{ze} := 6 \cdot \sqrt{\frac{Ms1}{Cze \cdot Pm1}}$$

$$\beta_{ze} = 0.3886$$

$$\beta_{zl} := 6 \cdot \sqrt{\frac{Ms1}{Czl \cdot Pm1}}$$

$$\beta_{zl} = 0.4276$$

$$\beta_{zc} := 6 \cdot \sqrt{\frac{Ms1}{Czc \cdot Pm1}}$$

$$\beta_{zc} = 0.4436$$

Calculo de los Parámetros de Amortiguamiento $\beta_x, \beta_y, \beta\Phi_x, \beta\Phi_y, \beta\Phi_z$.

Esquinas

$$\beta_{x_Ze} := 0.6 \cdot \beta_{ze} = 0.233$$

$$\beta_{y_Ze} := 0.6 \cdot \beta_{ze} = 0.233$$

$$\beta\Phi_{x_Ze} := 0.5 \cdot \beta_{ze} = 0.194$$

$$\beta\Phi_{y_Ze} := 0.5 \cdot \beta_{ze} = 0.194$$

$$\beta\Phi_{z_Ze} := 0.3 \cdot \beta_{ze} = 0.117$$

Laterales

$$\beta x_{Zl} := 0.6 \cdot \beta z_l = 0.257$$

$$\beta y_{Zl} := 0.6 \cdot \beta z_l = 0.257$$

$$\beta \Phi x_{Zl} := 0.5 \cdot \beta z_l = 0.214$$

$$\beta \Phi y_{Zl} := 0.5 \cdot \beta z_l = 0.214$$

$$\beta \Phi z_{Zl} := 0.3 \cdot \beta z_l = 0.128$$

Centrales

$$\beta x_{Zc} := 0.6 \cdot \beta z_c = 0.266$$

$$\beta y_{Zc} := 0.6 \cdot \beta z_c = 0.266$$

$$\beta \Phi x_{Zc} := 0.5 \cdot \beta z_c = 0.222$$

$$\beta \Phi y_{Zc} := 0.5 \cdot \beta z_c = 0.222$$

$$\beta \Phi z_{Zc} := 0.3 \cdot \beta z_c = 0.133$$

Calculo de las Características de Amortiguamiento $Bx, By, B\varphi x, B\varphi y, B\Phi z$.

Esquinas

$$Bx_{Ze} := 2 \cdot \beta x_{Ze} \cdot (Mt1 \cdot Kx_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 13.16 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$By_{Ze} := 2 \cdot \beta y_{Ze} \cdot (Mt1 \cdot Ky_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 13.16 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$Bz_{Ze} := 2 \cdot \beta z_e \cdot (Mt1 \cdot Kz_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 26.21 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$B\varphi x_{Ze} := 2 \cdot \beta \Phi x_{Ze} \cdot (M_{e\varphi x'2} \cdot K\varphi x_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 2.487 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\varphi y_{Ze} := 2 \cdot \beta \Phi y_{Ze} \cdot (M_{e\varphi y'2} \cdot K\varphi y_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 2.875 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\Phi z_{Ze} := 2 \cdot \beta \Phi z_{Ze} \cdot (M_{e\varphi z'2} \cdot K\Phi z_{Ze1})^{\frac{1}{2}} = 2.051 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

Laterales

$$Bx_{Zl} := 2 \cdot \beta x_{Zl} \cdot (Mt2 \cdot Kx_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 22.944 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$By_{Zl} := 2 \cdot \beta y_{Zl} \cdot (Mt2 \cdot Ky_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 22.944 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$Bz_{Zl} := 2 \cdot \beta z_l \cdot (Mt2 \cdot Kz_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 45.706 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$B\varphi x_{Zl} := 2 \cdot \beta \Phi x_{Zl} \cdot (M_{l\varphi x'2} \cdot K\varphi x_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 7.364 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\varphi y_{Zl} := 2 \cdot \beta \Phi y_{Zl} \cdot (M_{l\varphi y'2} \cdot K\varphi y_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 8.254 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\Phi z_{Zl} := 2 \cdot \beta \Phi z_{Zl} \cdot (M_{l\varphi z'2} \cdot K\Psi z_{Zl1})^{\frac{1}{2}} = 6.227 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

Centrales

$$Bx_{Zc} := 2 \cdot \beta x_{Zc} \cdot (Mt3 \cdot Kx_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 37.244 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$By_{Zc} := 2 \cdot \beta y_{Zc} \cdot (Mt3 \cdot Ky_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 37.244 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$Bz_{Zc} := 2 \cdot \beta z_c \cdot (Mt3 \cdot Kz_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 74.192 \frac{\text{ton} \cdot s}{m}$$

$$B\varphi x_{Zc} := 2 \cdot \beta \Phi x_{Zc} \cdot (M_{c\varphi x'2} \cdot K\varphi x_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 17.835 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\varphi y_{Zc} := 2 \cdot \beta \Phi y_{Zc} \cdot (M_{c\varphi y'2} \cdot K\varphi y_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 16.204 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

$$B\Phi z_{Zc} := 2 \cdot \beta \Phi z_{Zc} \cdot (M_{c\varphi z'2} \cdot K\Psi z_{Zc1})^{\frac{1}{2}} = 12.705 \text{ ton} \cdot m \cdot s$$

Guayaquil, 6 de diciembre de 2024

Asunto:

Recomendaciones sobre Valores de Estudios de Suelo para Fines Académicos y Aplicaciones en interacción suelo- estructura. Estimados Marcelo Fernando Cerna Cruz, Anshelo Guillermo Cordero Meza, Con base en los datos recopilados de estudios de suelo realizados a nivel nacional en Ecuador en nuestra constructora, y considerando la complejidad asociada con la obtención de ensayos geofísicos adicionales, se presenta el siguiente informe con el propósito de recomendar valores específicos promedio para sus modelos numéricos como nos había solicitado para ser utilizados en fines académicos.

Como ubicación del proyecto se tiene lo siguiente:

Ciudad de Guayaquil en la zona o sector de Urdesa en el norte de la ciudad, este sector se conforma principalmente de suelos arcillosos, debido a esto se plantea el objetivo de garantizar seguridad estructural y reducir los costos de construcción:

Ubicación de ensayos geotécnicos



Nota. Tomado de (Earth)

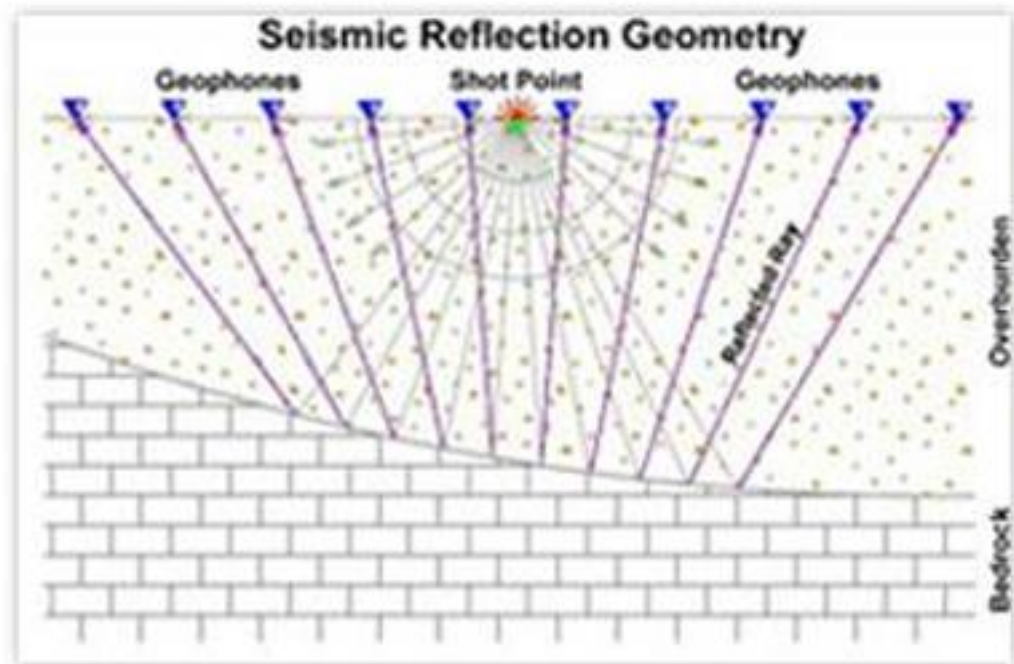
Dentro de las líneas sísmicas con las que se consideró trabajar fueron las siguientes:

Línea Sísmica	Variación (m)	Velocidad de Onda		Peso Específico	Relación de Poisson	Periodo
		Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (Kn/m ³)	μ	T (s)
Ls-14	0.00-25.00	392,3	152	12,8	0,35	0,75
Ls-15	0.00-25.00	408,6	155	12,92	0,35	0,72
Ls-16	0.00-25.00	416,6	158	12,98	0,35	0,71
Ls-17	0.00-25.00	396,3	162	12,83	0,35	0,74

Sísmica refracción

El método sísmico de prospección del subsuelo se basa en la medida de los tiempos de llegada de las ondas tipo p y s generadas en el terreno por una fuente de energía mecánica adecuada (martillo manual, generador de impactos, etc.), que se transmiten desde un punto determinado, hasta otro distante en el que se instalan los sensores correspondientes (geófonos) conectados al sismógrafo registrador. Debido a que la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno es distinta para cada tipo de material, la técnica de prospección por refracción permite determinar la profundidad e inclinación de las distintas capas que se superponen.

De la misma forma, los sismógrafos de Ingeniería, así denominados los sismógrafos utilizados para estas técnicas, permiten realizar la medida de la velocidad de propagación de las ondas en el terreno, de cuyo valor se pueden deducir una serie de características tales como el módulo de elasticidad de la formación, la escarificabilidad de las rocas, el grado de compactación o asentamiento de los terrenos, así como otras varias propiedades de interés para la Ingeniería Civil. Mediante las técnicas de Reflexión es posible también determinar las características del subsuelo, midiendo los tiempos de retorno de las ondas generadas en superficie y reflejadas por las discontinuidades del terreno.

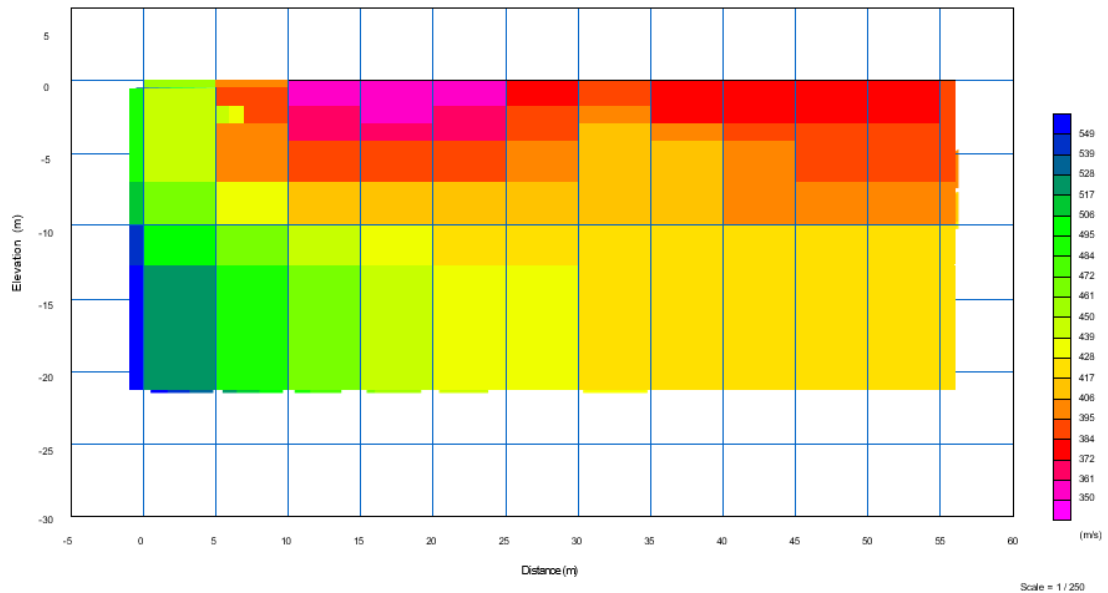


Para los análisis que serán realizados, se recomienda utilizar los siguientes parámetros del suelo:

Tipo de Suelo	Arcilla Blanda
Zona de Estudio	Guayaquil
Factor de Zona Sísmica (Z)	0,40
Perfil de Suelo	D
Factor de Reducción Sísmica (R)	6
Coefficiente de Importancia (I)	1
Coefficiente de Configuración de Planta (Ø P)	0,90
Coefficiente de Configuración de Elevación (Ø E)	1,00
Peso Unitario γ (Kn/m³)	12,88
Coefficiente de Poisson (V)	0,35
Velocidad de Onda Promedio – Vs (m/s)	156,75

Como algo adicional se indica parámetro de velocidades de onda de los estratos de suelo:

INVERSIÓN MODELO DE VELOCIDADES



Sin otro particular a la presente.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
FERNANDO FORTUNATO
CERNA PENA

Ing. Fernando Cerna Peña