

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS
PABELLONES E Y F SENATI CAJAMARCA USANDO LOS
DIFERENTES MODELOS DINÁMICOS DE INTERACCIÓN SUELO –
ESTRUCTURA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

MAYRA THALÍA RODRÍGUEZ CORTEZ

Asesor:

Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Mayra Thalía Rodríguez Cortez
DNI: 48051719
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Ingeniería Civil
2. Asesor: Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Comparación de la respuesta estructural de los pabellones E y F SENATI Cajamarca usando los diferentes modelos dinámicos de interacción suelo - estructura
6. Fecha de evaluación: **27/11/2024**
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **20%**
9. Código Documento: **3117410111870**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **28/11/2024**

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



.....
Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
DNI: 26733060

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
MAYRA THALÍA RODRIGUEZ CORTEZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas, del día 20 de Agosto de dos mil veinticuatro, reunidos en el Centro de Idiomas de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas**, M. Cs. José Luis Marchena Araujo, M. Cs. **Ronald Jesus Salas Berrospi**, y en calidad de Asesor el **Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la Tesis titulada **“COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS PABELLONES E Y F SENATI CAJAMARCA USANDO LOS DIFERENTES MODELOS DINÁMICOS DE INTERANCCIÓN SUELO - ESTRUCTURA”**, presentada por la Ingeniera Mayra Thalía Rodríguez Cortez

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de 17 (DIECISIETE) la mencionada Tesis; en tal virtud, la Ingeniera Mayra Thalía Rodríguez Cortez, se encuentra en aptitud para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **Ingeniería Civil**.

Siendo las 12:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Asesor(a)


.....
Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador


.....
M. Cs. José Luis Marchena Araujo
Jurado Evaluador


.....
M. Cs. Ronald Jesus Salas Berrospi
Jurado Evaluador

DEDICATORIA:

**A mis padres que son mi
fortaleza, a mis hermanos
y sobrinos que son mi inspiración
para ser mejor cada día.**

AGRADECIMIENTO

A Dios por su grandeza y amor infinito.

Al Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno por su asesoramiento, paciencia y consejos en cada una de las etapas de la maestría y tesis.

A cada una de las personas familiares y amigos que creyeron en mí y me incentivaron en culminar esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| CAPITULO I INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.1.1. Contextualización | 1 |
| 1.1.2. Descripción del problema..... | 6 |
| 1.1.3. Formulación del problema | 11 |
| 1.2. Justificación e importancia | 11 |
| 1.3. Delimitación de la investigación | 11 |
| 1.4. Limitaciones..... | 11 |
| 1.5. Objetivos..... | 12 |
| 1.5.1. Objetivo general | 12 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 12 |
| CAPITULO II MARCO TEÓRICO | 13 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial..... | 13 |
| 2.2 Marco conceptual. | 16 |
| 2.2.1 Discretización Espacial..... | 20 |
| 2.2.2 Análisis sísmico convencional: | 21 |
| 2.2.3 Estudio de modelos interacción suelo estructura: | 21 |
| 2.2.4 Interacción Suelo Estructura | 25 |
| 2.2.5 Modelo dinámico..... | 25 |
| 2.2.6 Efecto de Sitio | 38 |
| 2.3 Definición de términos básicos | 39 |
| CAPITULO III PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES | 40 |
| 3.1 Hipótesis | 40 |
| 3.1.1 Hipótesis general | 40 |
| 3.2 Variables | 40 |
| 3.2.1 Variables Independientes | 40 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.2.2 | Variable Dependiente | 40 |
| 3.3 | Operacionalización de los componentes de las hipótesis | 40 |
| CAPITULO IV MARCO METODOLÓGICO | | 42 |
| 4.1 | Ubicación geográfica | 42 |
| 4.2 | Diseño de la investigación | 42 |
| 4.2.1 | Análisis cualitativo | 43 |
| 4.3 | Métodos de investigación | 44 |
| 4.3.1 | Obtención de datos. | 44 |
| 4.3.2 | Modelamiento y análisis. | 44 |
| 4.4 | Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación | 45 |
| 4.5 | Técnicas e instrumentos de recopilación de información | 46 |
| 4.5.1 | Técnicas | 46 |
| 4.5.2 | Instrumentos. | 46 |
| 4.5.3 | Procedimiento de la recopilación de información. | 46 |
| 4.6 | Técnicas para el procesamiento y análisis de la información. | 47 |
| 4.7 | Equipos, materiales, insumos, etc. | 47 |
| 4.8 | Matriz de consistencia metodológica | 48 |
| CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 49 |
| 5.1 | Presentación de resultados | 49 |
| 5.1.1 | Análisis de modelamiento Edificio E | 49 |
| 5.1.2 | Análisis estático y dinámico del pabellón E | 51 |
| 5.1.3 | Fuerzas internas pabellón E | 56 |
| 5.1.4 | Análisis dinámico con espectro de aceleración. | 60 |
| 5.1.5 | Análisis de modelamiento Edificio F | 68 |
| 5.1.6 | Análisis estático y dinámico del pabellón F. | 70 |
| 5.1.7 | Fuerzas internas pabellón F. | 74 |
| 5.1.8 | Análisis del corte basal | 78 |

| | | |
|--|---|-----|
| 5.1.9 | Periodo de vibración | 88 |
| 5.2 | Análisis, interpretación y discusión de resultados..... | 89 |
| 5.3 | Contrastación de hipótesis | 90 |
| CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 91 |
| 6.1 | Conclusiones | 91 |
| 6.2 | Recomendaciones | 92 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 94 |
| APÉNDICES | | 100 |
| ANEXOS N° 01 – MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA | | 100 |
| ANEXOS N° 02 – PLANO DE UBICACIÓN..... | | 113 |
| ANEXOS N° 03 – PLANO DE ESTRUCTURAS..... | | 115 |
| ANEXOS N° 04 – ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS | | 117 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1. Factor de suelo “S”, E.030, 2016..... | 8 |
| Tabla N° 2. Diferencias base indeformable y deformable | 19 |
| Tabla N° 3. Operacionalización de variables | 41 |
| Tabla N° 4. Coordenadas SENATI..... | 42 |
| Tabla N° 5. Características para la generación del espectro | 43 |
| Tabla N° 6. Criterio y tipo de investigación..... | 45 |
| Tabla N° 7. Matriz de consistencia..... | 48 |
| Tabla N° 8. Derivas por piso Pabellon E. | 50 |
| Tabla N° 9. Pesos y alturas por piso – Pabellon – E..... | 50 |
| Tabla N° 10. Masa de zapata – ISE – pabellón E..... | 51 |
| Tabla N° 11. Coeficiente de rigidez para ISE – pabellón E..... | 51 |
| Tabla N° 12. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros. | 52 |
| Tabla N° 13. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros. | 53 |
| Tabla N° 14. Derivas en “X”..... | 54 |
| Tabla N° 15. Derivas en “Y”..... | 55 |
| Tabla N° 16. Fuerza Axial – Labe 30. | 56 |
| Tabla N° 17. Fuerza Cortante – Labe 30..... | 57 |
| Tabla N° 18. Momento flector – Labe 30. | 58 |
| Tabla N° 19. Momento Torsor – Labe 30. | 59 |
| Tabla N° 20. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros. | 60 |
| Tabla N° 21. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros. | 61 |
| Tabla N° 22. Derivas en “X”..... | 63 |
| Tabla N° 23. Derivas en “Y”..... | 64 |
| Tabla N° 24. Fuerza Axial – Labe 30. | 65 |
| Tabla N° 25. Fuerza Cortante – Labe 30..... | 66 |
| Tabla N° 26. Momento flector – Labe 30. | 66 |
| Tabla N° 27. Momento Torsor – Labe 30. | 67 |
| Tabla N° 28. Derivas por piso pabellón F..... | 68 |
| Tabla N° 29. Pesos y alturas por piso – pabellón – F. | 69 |
| Tabla N° 30. Masa de zapata – ISE – pabellón F. | 69 |
| Tabla N° 31. Coeficiente de rigidez para ISE – pabellón F..... | 70 |
| Tabla N° 32. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros. | 70 |

| | |
|--|-----|
| Tabla N° 33. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros. | 71 |
| Tabla N° 34. Derivas en “X”. | 72 |
| Tabla N° 35. Derivas en “Y”. | 73 |
| Tabla N° 36. Fuerza Axial – Labe 30. | 74 |
| Tabla N° 37. Fuerza Cortante – Labe 30. | 75 |
| Tabla N° 38. Momento flector – Labe 30. | 76 |
| Tabla N° 39. Momento Torsor – Labe 30. | 77 |
| Tabla N° 40. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros. | 85 |
| Tabla N° 41. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros. | 86 |
| Tabla N° 42. Derivas en “X”. | 86 |
| Tabla N° 43. Derivas en “Y”. | 87 |
| Tabla N° 44. Periodos | 88 |
| Tabla N° 45.T vs C | 108 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Coeficiente de rigidez Barkan | 27 |
| Ecuación 2. Coeficiente de compresión y desplazamiento elástico..... | 28 |
| Ecuación 3. Coeficiente experimental expresado a partir de E_0 y U | 28 |
| Ecuación 4. Viga flotante..... | 30 |
| Ecuación 5. Coeficiente de deformación E | 32 |
| Ecuación 6. Vibraciones verticales..... | 32 |
| Ecuación 7. parámetro de dependencia lineal. | 32 |
| Ecuación 8. Ecuación de vibración rotacional | 33 |
| Ecuación 9. Ecuación de vibración horizontales | 33 |
| Ecuación 10. Rigidez equivalente..... | 34 |
| Ecuación 11. Rigidez equivalente..... | 34 |
| Ecuación 12. Propagación de la onda | 35 |
| Ecuación 13. <i>Coeficiente de compresión</i> | 35 |
| Ecuación 14. Compresión elástica uniforme..... | 36 |
| Ecuación 15. Coeficiente de desplazamiento elástico | 36 |
| Ecuación 16. Coeficiente de amortiguación..... | 36 |
| Ecuación 17. Vibraciones de coeficiente | 37 |
| Ecuación 18. Coeficiente de trabajo. | 37 |
| Ecuación 19. Amortiguaciones relativas..... | 37 |
| Ecuación 20. Vibraciones armónicas..... | 38 |
| Ecuación 21. Vibraciones de impulso..... | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 1. Sistema suelo estructura, obtenido de Castro 2021. | 4 |
| Figura N° 2. Distribución Baños del Inca, obtenido de INDECI, 2017..... | 9 |
| Figura N°3. Cimentación de los nuevos módulos SENATI..... | 10 |
| Figura N° 4. Corte módulo E, derecha edificio módulo F. | 10 |
| Figura N° 5. Respuesta dinámica sobre una roca, obtenido de Castro, 2021..... | 17 |
| Figura N° 6. Diferencia de sistema suelo-cimentación, obtenido de Castro, 2021. | 18 |
| Figura N° 7. Modelo péndulo invertido sin peso, obtenido de Ulcuango, 2021. | 22 |
| Figura N° 8. Barra en voladizo con masas puntuales, obtenido de Ulcuango, 2021..... | 22 |
| Figura N° 9. Interacción suelo-estructura, obtenido de Ulcuango, 2021..... | 23 |
| Figura N° 10. Modelo basándose en elementos finitos, obtenido de Ulcuango, 2021. . | 23 |
| Figura N° 11. Modelo genérico, obtenido de Ulcuango, 2021..... | 24 |
| Figura N° 12. Cuerpo sólido con 6 grados de libertad, obtenido de Cruz, 2018..... | 25 |
| Figura N° 13. Interacción suelo – estructura, obtenido de Galicia & León, 2007. | 26 |
| Figura N° 14. Modelo Winkler, obtenido de Castro, 2021. | 29 |
| Figura N° 15. Módulo de balasto, obtenido de Nina, 2024..... | 30 |
| Figura N° 16. Modelo Winkler, obtenido de Shendkar, 2020..... | 31 |
| Figura N° 17. Modelado 3D..... | 49 |
| Figura N° 18. Desplazamiento de entre piso en “X” | 52 |
| Figura N° 19. Desplazamiento de entre piso en “Y” | 53 |
| Figura N° 20. Derivas en “X”..... | 54 |
| Figura N° 21. Derivas en “Y”..... | 55 |
| Figura N° 22. Análisis de elemento de fuerzas internas. | 56 |
| Figura N° 23. Fuerza Axial – Labe 30..... | 57 |
| Figura N° 24. Cortante – Labe 30..... | 58 |
| Figura N° 25. Flector – Labe 30..... | 59 |
| Figura N° 26. Torsor – Labe 30..... | 60 |
| Figura N° 27. Desplazamiento de entre piso en “X” | 61 |
| Figura N° 28. Desplazamiento de entre piso en “Y” | 62 |
| Figura N° 29. Derivas en “X” | 63 |
| Figura N° 30. Derivas en “Y”..... | 64 |
| Figura N° 31. Fuerza Axial – Labe 30..... | 65 |
| Figura N° 32. Cortante – Labe 30..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 33. Flector – Labe 30..... | 67 |
| Figura N° 34. Torsor – Labe 30..... | 68 |
| Figura N° 35. Desplazamiento de entre piso en “X” | 71 |
| Figura N° 36. Desplazamiento de entre piso en “Y” | 72 |
| Figura N° 37. Derivas en “X” | 73 |
| Figura N° 38. Derivas en “Y”..... | 74 |
| Figura N° 39. Fuerza Axial – Labe 30..... | 75 |
| Figura N° 40. Cortante – Labe 30..... | 76 |
| Figura N° 41. Flector – Labe 30..... | 77 |
| Figura N° 42. Torsor – Labe 30..... | 78 |
| Figura N° 43. Modelo de la estructura con losa de fundación. | 80 |
| Figura N° 44. Losa de fundación..... | 80 |
| Figura N° 45. Configuración de losa de fundación. | 81 |
| Figura N° 46. Configuración de área sprint. | 81 |
| Figura N° 47. Modelo con coeficiente de balasto..... | 82 |
| Figura N° 48. Configuración de sprint..... | 82 |
| Figura N° 49. Vista 3d con sprint | 83 |
| Figura N° 50. Vista 3d del modelo completo | 83 |
| Figura N° 51. Vista de cargas en combinación de cargas V2 – V3..... | 84 |
| Figura N° 52. Vista de combinación de cargas en columnas V2 – V3..... | 84 |
| Figura N° 53. Desplazamiento de entre piso en “X” | 85 |
| Figura N° 54. Desplazamiento de entre piso en “Y” | 86 |
| Figura N° 55. Derivas en “X” | 87 |
| Figura N° 56. Derivas en “Y”..... | 87 |
| Figura N° 57. Periodos de los 3 primeros modos. | 88 |
| Figura N° 58. Definición de materiales en concreto..... | 101 |
| Figura N° 59. Definición de materiales | 101 |
| Figura N° 60. Determinación de sección de columnas estructurales..... | 102 |
| Figura N° 61. Creación de elementos estructurales..... | 102 |
| Figura N° 62. Creación de sección de vigas estructurales. | 103 |
| Figura N° 63. Creación de sección de elementos estructurales columnas | 103 |
| Figura N° 64. Creación de sección de losas | 104 |
| Figura N° 65. Creación de placas | 104 |
| Figura N° 66. Creación de diafragmas..... | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 67. Asignación de diafragmas | 105 |
| Figura N° 68. Creación de Load Patterns..... | 106 |
| Figura N° 69. Figura de espectro de aceleración..... | 107 |
| Figura N° 70. Asignación de espectro de respuesta..... | 109 |
| Figura N° 71. Asignación de Load Case..... | 109 |
| Figura N° 72. Asignación de valores de diseño de espectro en X..... | 110 |
| Figura N° 73. Asignación de valores de diseño de espectro en X..... | 110 |
| Figura N° 74. Asignación de masa sísmica | 111 |
| Figura N° 75. Asignación de combinación de cargas. | 111 |
| Figura N° 76. Asignación de combo de diseño | 112 |
| Figura N° 77. Modelamiento del Pabellón E. | 112 |

RESUMEN

La investigación titulada “Comparación de la respuesta estructural del pabellón E y F SENATI Cajamarca utilizando diferentes modelos dinámicos de interacción suelo-estructura” tuvo como propósito analizar la respuesta estructural empleando diversos modelos dinámicos, entre ellos Barkan, la norma rusa SNIP 2.02, Ilichev, Sargsian y Winkler, aplicados a los bloques E y F de SENATI en Cajamarca. Para ello, se utilizó una metodología de análisis documental con un enfoque aplicativo y no experimental. El objetivo principal consistió en evaluar la respuesta estructural de dichos modelos, considerando parámetros como los propuestos por Barkan, O.A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, la norma SNIP 2.02.05-87 y Winkler, tomando en cuenta la interacción de las estructuras embebidas en el suelo. Los resultados evidenciaron que la respuesta de las estructuras varía según el modelo de interacción suelo-estructura empleado. En suelos con mayor rigidez, los valores tienden a coincidir con los obtenidos mediante la norma rusa, mientras que el modelo de Sargsian muestra incrementos significativos en axial, torsión y desplazamiento, superando los límites permitidos de deriva (0.007). Se concluyó que la interacción suelo-estructura en los modelos estándar de Barkan, Ilichev, Sargsian y la norma rusa incrementa la respuesta estructural en comparación con el sistema tradicional de empotramiento. No obstante, las derivas obtenidas son aceptables en los modelos estándar, a excepción de los modelos de Sargsian e Ilichev, que no cumplen con los requisitos en los niveles 1 y 3 al superar el límite permitido de 0.007.

Palabras clave: Interacción suelo estructura, Modelo Sargsiano e Ilichev

ABSTRACT

The research "Comparison of the structural response of pavilion e and f SENATI Cajamarca using different dynamic models of soil - structure interaction", aimed to determine the structural response of the dynamic models Barkan, the Russian standard SNIP 2.02, Ilichev, Sargsian and Winkler in blocks E and F - SENATI - Cajamarca, using the methodology of documentary analysis, applicative and non-experimental level; the general objective was to determine the structural response with the models of Barkan - O. A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Russian Standard SNIP 2.02. 05-87, Winkler E. and considering the structure embedded in the soil, so it was obtained as a result that: the structures respond depending on the soil-structure interaction model to which it is evaluated in comparison to the traditional or embedded system, where it can be observed that the soils that have greater stiffness tend to have values close to the model of the Russian standard, unlike the Sargsian model that the values in axial, torsion and displacement increase to such an extent that it does not comply with the drifts obtaining values greater than 0.007. It was concluded that the structural response considering the soil-structure interaction in the Barkan, Ilichev, Sargsian and Russian standard models, increases with respect to the embedment system, so the drifts comply with the embedment system, unlike the Sargsian and Ilichev models, which do not comply at level 1 and 3, exceeding the allowed 0.007.

Keyword: Soil structure interaction, Sargsian and Ilichev Model

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Los fenómenos naturales afectan de manera directa a las estructuras, y la magnitud de su impacto depende de varios factores, como los materiales de construcción, el diseño estructural, la antigüedad del edificio y otros aspectos relacionados con su vulnerabilidad sísmica. Estos factores incluyen desde problemas en la configuración arquitectónica hasta el uso y la ubicación del inmueble dentro de su entorno. Por ejemplo, se pueden mencionar las irregularidades en planta y altura, plantas bajas débiles o flexibles, losas planas, efectos de columna corta, choques entre edificaciones cercanas, distribución desigual de masas, estructuras demasiado esbeltas o con dimensiones excesivas en planta. Estas características han provocado comportamientos inesperados o indeseables durante sismos en diferentes partes del mundo. A pesar de esto, los reglamentos actuales siguen permitiendo este tipo de diseños, por lo que es común encontrarlos en una amplia variedad de edificios, desde casas y oficinas hasta hospitales y otras construcciones. (Razo & García, 2020)

Uno de los fenómenos más preocupantes para la humanidad es los sismos y el estudio de como la estructura se ve afectada se encuentra en constante evolución por lo que siempre se están planteando nuevos sistema estructurales para reducir los daños y proteger la vida de las personas, en los últimos años los estudios en geotecnia han observado que existe una respuesta dependiendo del tipo de suelo y la configuración estructural en la cimentación por lo que dependiendo de la estructura se observaran comportamientos diferentes; dado que en los modelamiento se presume que la fundación es infinitamente rigidez y absorbe en absoluto todas las fuerzas producida por el sismo en todas las dirección. (Calvillo, 2021)

Sin embargo, cuando esta regularidad se pierde, pueden surgir problemas graves como el colapso total de la estructura debido a la falla de un entrepiso, la acumulación de esfuerzos en elementos perimetrales o el bajo desempeño de las columnas por efectos secundarios como el P- Δ . Uno de los problemas más frecuentes y peligrosos asociados a la falta de regularidad es el conocido como "primer piso blando", que compromete de manera significativa la estabilidad y seguridad de las edificaciones durante un evento sísmico. En el diseño y comportamiento sísmico de las estructuras, factores como el periodo natural de vibración, las formas modales y el nivel de amortiguamiento propio de la edificación juegan un papel clave. Además, la capacidad de los materiales para resistir grandes deformaciones y comportarse de manera adecuada frente a no linealidades es crucial para garantizar la seguridad estructural. Una de las condiciones más importantes para el buen desempeño de un edificio es mantener la regularidad en su diseño, tanto en planta como en elevación. (Razo & García, 2020)

Las estructuras están sujetas a esfuerzos que generan una respuesta influenciada por su rigidez y configuración, considerando aspectos como el tipo de material, la forma, la ubicación, las características del suelo y la propagación de ondas de corte. Por lo tanto, la respuesta dinámica de la estructura está directamente relacionada con las propiedades del terreno de fundación y la proximidad al epicentro. El tipo de suelo influye a través de las frecuencias predominantes de las ondas sísmicas, mientras que la distancia al foco afecta porque las frecuencias más altas tienden a disiparse a medida que aumenta la distancia. Es evidente que la naturaleza del terreno desempeña un papel crucial en el colapso de edificaciones durante los terremotos. Generalmente, se ha observado que las construcciones sobre suelos firmes presentan menos daños en comparación con aquellas cimentadas sobre suelos blandos. Sin embargo, también se han documentado casos donde edificaciones en terrenos blandos han mostrado mejor desempeño que otras en suelos firmes. Por este motivo, se recomienda utilizar estructuras flexibles en terrenos firmes y estructuras rígidas en terrenos blandos, aunque esto puede generar desafíos en la cimentación de estructuras rígidas sobre suelos blandos. Además, se debe tener en cuenta que la relación entre el daño estructural y la duración del sismo es mayor en los suelos blandos. (López, 2020)

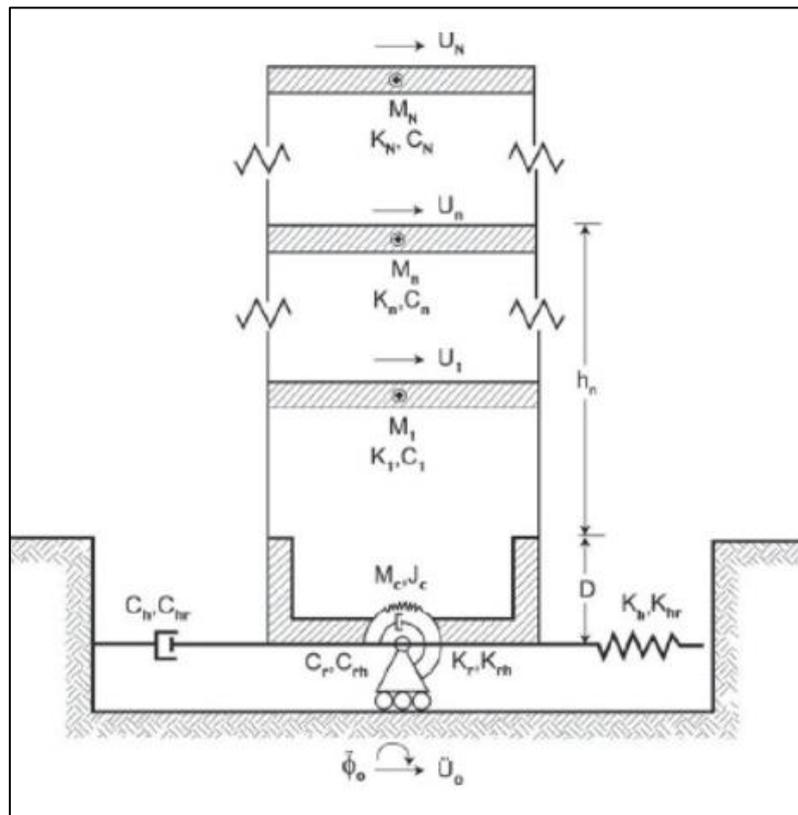
El diseño estructural de las edificaciones sísmo resistente a cobrado mayor importancia en estos últimos años ya que se debe garantizar la estructura y la vida de sus habitantes, este proceso ha evolucionado con el tiempo Osorio (2021) *“La interacción suelo estructura toma mayor relevancia en los últimos años por la utilidad que muestra a nivel geotécnico y estructural, utilizado en puentes, edificaciones, suelos especiales, etc...”* Esta utilidad se muestra con más esplendor en el diseño de edificaciones especiales como en Dubái, países bajos, Alemania, etc; por la gran importancia de saber cómo se comportará la edificación con el subsuelo y este que respuesta tendrá ante un sismo o fenómeno natural.

Dentro de la investigación es más resaltantes en los últimos años es la de Tahghighi & Mohammadi (2020), quien investigan si el comportamiento sísmico y la vulnerabilidad de las estructuras de hormigón armado (RC) eran afectados por la interacción suelo-estructura (SSI). Se diseñó y modeló un conjunto de marcos RC ubicados en tres tipos de suelo utilizando OpenSees marco de elementos finitos. Se aplicó un método no lineal basado en Winkler para modelar la interacción suelo-cimentación. Análisis estático no lineal y se realizaron análisis dinámicos incrementales para evaluar el comportamiento sísmico y la fragilidad de los edificios de CR con respecto a los supuestos base flexible y rígida. Los resultados numéricos demostraron notablemente el papel del SSI en la modificación de la fragilidad y el rendimiento de la base rígida estructuras Finalmente, se proporciona una metodología simple para obtener directamente el valor de vulnerabilidad para estructuras de base flexible modificando la aceleración espectral del modo fundamental.

Se han llevado a cabo numerosas investigaciones enfocadas en analizar el movimiento sísmico en la superficie del terreno, con el propósito de aplicarlo posteriormente al estudio del comportamiento de equipos y estructuras que se apoyan, ya sea de manera directa o indirecta, sobre dicho terreno. Este tipo de estudios permite desarrollar movimientos calculados a partir de datos básicos del sismo esperado, como la distancia al epicentro, la profundidad del foco, la magnitud del evento, la intensidad local, entre otros. Estos métodos, que siguen procedimientos relativamente estandarizados, facilitan la estimación del movimiento del suelo sin la influencia de estructuras, conocido como movimiento

en campo libre. No obstante, para el diseño de estructuras sometidas a cargas sísmicas, es esencial determinar el movimiento que ocurre en la base de la estructura o en el terreno inmediato, el cual difiere del movimiento de campo libre. Esto se debe a que la presencia de la estructura altera el comportamiento del terreno, fenómeno que se conoce como interacción suelo-estructura. (Pircas, 2019)

Figura N° 1. Sistema suelo estructura, obtenido de Castro 2021.



En Europa la utilización de esta tecnología en desarrollo se está empezando a utilizar para cimentaciones en puentes, edificaciones con sótanos, túneles, etc; incluso se plantea la necesidad de establecer parámetros para un mejor diseño sísmico Cuellar (2023), el suelo como tal posee una rigidez que es calculado a través de un método número y esta misma rigidez nos permite comprender un poco más la geotecnia y como el comportamiento del suelo afecta directamente a la estructura en su fundación, la importancia radica en que el suelo como tal no absorbe el 100% de la energía sísmica, por lo que se coloca a la edificación en un incierto.

Las estructuras se han analizado bajo procesos analíticos y computaciones por lo que depende del tipo de estructura a analizar, normalmente supuesta empotrada en la cimentación. Posteriormente, una vez obtenidas las acciones que el edificio transmite a la cimentación, se realiza el dimensionado de ésta, comprobando, en primer lugar, que las tensiones transmitidas sean admisibles para el terreno y realizando, seguidamente, las comprobaciones pertinentes a la estructura de cimentación. (Ordoñez, 2023)

Las estructuras, sub estructuras y super estructuras están en correlación directa con su suelo de fundación, se ha asumido por mucho tiempo la existencia de fuerzas que interviene en la transferencia de energía por lo que es necesario establecer el nivel de rigidez de un suelo en el supuesto que la onda que trasmite la super estructura a la sub estructura supera su rigidez, esta colapsaría, es importante establecer que el suelo como tal debe estudiarse y establecer el parámetro de diseño para reducir estas fuerzas. (Grúa, 2021)

El análisis de la interacción suelo-estructura sugiere que el comportamiento sísmico de una edificación debe considerar las propiedades elásticas del terreno. A diferencia de lo que se asume en muchos estudios tradicionales, el suelo no es completamente rígido, sino que posee cierta capacidad de amortiguación, lo que le permite absorber parte de la energía generada por un sismo. Como resultado, llega menos energía a la superestructura, lo que implica que los elementos estructurales estarán sometidos a fuerzas internas menores en comparación con las obtenidas mediante cálculos convencionales. (Lopez, 2021)

En América las normativas internacionales como la asociación de ingenieros civiles ASCE, el Comité americano de concreto (ACI), están incorporando estudios sobre la interacción suelo estructura por la eficiencia y resultados mostrados en Dubái, donde se ha construido un paraíso en un desierto donde las edificaciones muestran un gran nivel de ingeniería, esto no habría sido posible si no hubieran calculado la rigidez necesaria para la estructura pueda ser funcional en altura, tiempo y respuesta sísmica, esto nos ha demostrado la importancia de saber la rigidez del suelo como su comportamiento. (Rodríguez, 2020)

El estudio de interacción suelo estructura muestra que no es suficientes tener estudios estocásticos, espectros de diseño, respuestas tiempo historia, etc.; es necesario establecer el comportamiento del suelo y cómo reacciona con la edificación, anteriormente no existía la tecnología que se maneja, tampoco los modelos matemáticos que nos puedan dar una visión sobre el tipo de suelo por lo que resulta muy extenuante y tedioso calcular los elementos finos de la estructura con la sub estructura y el suelo, esto con la ayuda del cálculo y el software, podemos predecir el comportamiento del suelo; este comportamiento nos permite tener en cuenta no solo la onda sísmica a la cual es sometida, sino también a la respuesta del suelo como: su estrés, energía transfería, evaluación en el tiempo, etc; abre un nuevo campo en la ingeniería estructural y geotecnia. (Salvatierra, 2020)

1.1.2. Descripción del problema

Se estableció unas metodologías para la cuantificación de los efectos del suelo y la estructura como un campo de investigación para ajustar la relación del margen de colapso. La base de Winkler con rigidez elástica e inelástica se utiliza para abordar los efectos de interacción y la carencia de metodologías en el análisis de interacción suelo estructura mediante el desarrollo de los modelos dinámicos nos conlleva a investigar y desarrollar los modelos de cálculo a través del uso adecuado de las condiciones reales del trabajo según los parámetros establecidos para el mismo como las condiciones del suelo a las que está expuesta la edificación; con la modelación estructural adecuada y la elección del modelo dinámico estaremos proporcionando una aproximación cercana al comportamiento real de la estructura frente a un evento sísmico. (Ramírez, 2020)

Este problema surge cuando el primer entrepiso de un edificio tiene una rigidez significativamente menor en comparación con el nivel superior. Es lógico considerar cómo un piso blando afecta la capacidad de deformación de la estructura, ya que concentrar la mayor parte de las deformaciones en un solo nivel exige que los elementos de ese entrepiso tengan una ductilidad local mucho más alta para lograr una ductilidad general adecuada en toda la estructura. Sin embargo, al optar por un factor de comportamiento sísmico reducido, se terminan diseñando

elementos estructurales más grandes para soportar fuerzas mayores, pero esto no elimina la disparidad de rigidez entre los niveles. (González, 2020)

El problema principal en este caso radica en que, al considerar únicamente el comportamiento elástico, aumentar la rigidez no reduce la amplificación dinámica de la respuesta ni la distorsión que afecta al entrepiso en un piso blando. En estructuras con una planta baja flexible asentadas sobre suelo blando, la interacción dinámica entre el suelo y la estructura (ISE) juega un papel crucial, especialmente debido a los efectos P-delta. En edificaciones con un primer piso blando, estos efectos resultan particularmente perjudiciales, ya que la deformación de toda la estructura tiende a concentrarse en este nivel, donde las columnas soportan cargas verticales significativas. Además, los efectos de la ISE, al generar movimientos de cabeceo, intensifican aún más los efectos P-delta, agravando el daño potencial en estas condiciones. (García, 2022)

Desde una perspectiva dinámica, tanto el fenómeno del primer piso blando como los efectos de la interacción suelo-estructura (ISE) tienen un impacto en la rigidez del sistema, lo que sugiere que podrían compartir características similares. Si se establece una analogía entre ambos, resulta razonable interpretar el primer piso blando como un estrato de suelo sobre el que se apoya una estructura equivalente a los niveles superiores. En otras palabras, se trataría de un caso de base flexible comparable a lo que ocurre con los efectos de la ISE. Sin embargo, la principal diferencia estructural radica en que el piso blando tiene una capacidad de deformación significativamente menor antes de colapsar, en contraste con el suelo, que puede soportar deformaciones más amplias sin fallar. (Viscarra, 2022)

Hoy en día, la ingeniería se orienta hacia métodos de cálculo más seguros y la implementación de nuevas estrategias de análisis que permitan abordar problemas constructivos de manera eficiente y económica. En este contexto, es fundamental desarrollar modelos físicos aproximados que representen de manera adecuada el comportamiento de las estructuras, ya que son esenciales para resolver los desafíos que plantea la ingeniería sísmica. Esto implica seleccionar cuidadosamente el modelo de interacción y el modelo estructural, ambos estrechamente vinculados entre sí. La principal exigencia para estos modelos es que

reflejen con precisión la realidad, logrando así soluciones más confiables y efectivas. (Guarníz & Vasquez, 2017)

Por lo cual la norma de diseño sismorresistente E030 considera en el análisis convencional sísmico el factor suelo para obtener los valores de cortante en la base (análisis estático), aceleración espectral (análisis dinámico); estando este factor en función a la zonificación y perfil estratigráfico.

Tabla N° 1. Factor de suelo “S”, E.030, 2016.

| FACTOR DEL SUELO “S” | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| SUELO | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| ZONA | | | | |
| Z ₄ | 0.80 | 1.00 | 1.05 | 1.10 |
| Z ₃ | 0.80 | 1.00 | 1.15 | 1.20 |
| Z ₂ | 0.80 | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| Z ₁ | 0.80 | 1.00 | 1.60 | 2.00 |

Nota: La tabla fue obtenida a partir de la normativa E.030 – 2019.

Según Ayala (2022), la región de Cajamarca y sus alrededores se identifican tres grandes bloques de formaciones geológicas: rocas volcánicas del Terciario, rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios. El área de influencia de este estudio se encuentra en una parte del distrito de Baños del Inca, que pertenece a la formación aluvial cuaternaria. Con base en las características del terreno, se realizó una distribución espacial de los tipos de suelo en Baños del Inca. La zona delimitada dentro de la circunferencia corresponde a nuestra área de influencia y ha sido catalogada como de alto riesgo. Esto se debe a la presencia de suelos arenos-arcillosos, mezclas de arcillas orgánicas con plasticidad media a alta, y limos orgánicos de alta plasticidad.

Figura N° 2. Distribución Baños del Inca, obtenido de INDECI, 2017.



El Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (SENATI), destaca que esta institución se dedica a la formación profesional con el objetivo de potenciar las habilidades humanas. Ubicada en el distrito de Baños del Inca, en Cajamarca, SENATI acoge este año a más de 840 estudiantes, entre hombres y mujeres.

Su infraestructura consta de cinco módulos de los cuales tres de ellos son antiguos módulo A (tres pisos), módulo B (un piso), módulo C (un piso), módulo D (un piso); dos son nuevos construidos en el año 2017, módulo E (cuatro pisos) y módulo F (cuatro pisos) respectivamente; siendo sistema estructural de los nuevos módulos E Y F a base de muros estructurales, la cimentación de los módulos es a base de zapatas continuas de concreto armado, conectadas con vigas de cimentación. (Ver fig. 3 - 4)

Figura N°3. Cimentación de los nuevos módulos SENATI.

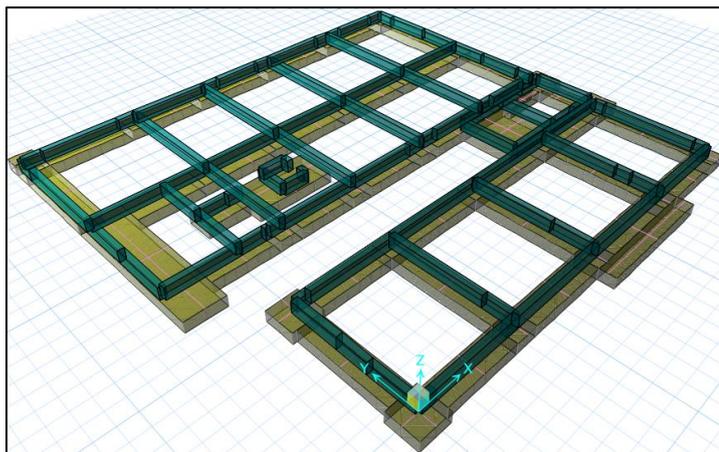
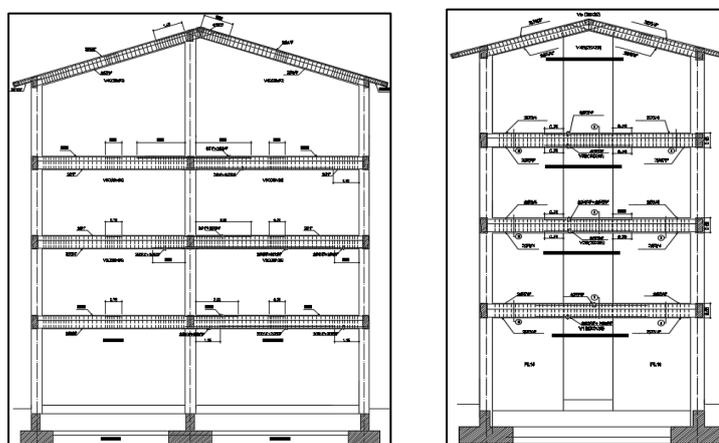


Figura N° 4. Corte módulo E, derecha edificio módulo F.



Durante el diseño de los módulos "E" y "F" del SENATI en Cajamarca, se asumió un empotramiento perfecto, ya que las Normas Técnicas Peruanas todavía no contemplan un enfoque que integre la interacción suelo-estructura en el diseño sísmico mediante modelos dinámicos. Al revisar el expediente técnico, se observa que el análisis estructural de estos módulos se llevó a cabo siguiendo lo establecido en la norma técnica de edificación E030 del año 2018.

Por tal motivo en el análisis de los módulos "E" y "F" del SENATI – Cajamarca siendo estructuras esenciales y estando en una zona de sismicidad 3 se observará su comportamiento sometido a los modelos dinámicos de interacción suelo – estructura del cual se elegirá el más conservador.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál de los modelos dinámicos de Interacción Suelo – Estructura genera mayor respuesta estructural de los pabellones E y F del SENATI - CAJAMARCA?

1.2. Justificación e importancia

El estudio de investigación presente tiene como finalidad investigar nuevas tecnologías en diseño y análisis sísmico en las estructuras con nuevas metodologías, que se están incorporando en otros países como México y Chile, siendo la interacción suelo estructura una área de estudio que está colaborando a entender el comportamiento del suelo, sub estructura y super estructura, donde la normativa vigente (E.030 -2018) no presenta una metodología clara, por lo cual colabora con el campo científico en el diseño sísmico.

Con el desarrollo del tema de investigación exige someter a prueba las normativas vigentes y observar sus falencias en el campo técnico práctico, por lo que esta investigación colabora con un vacío en la normativa sismo resistente E.030, sobre los efectos que produce la interacción suelo estructura a las edificaciones.

1.3. Delimitación de la investigación

El presente tema de investigación se delimita a la comparación de la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI, mediante Interacción suelo - estructura utilizando modelos dinámicos: D. D. Barkan – O. A. Savinov., V.A. Ilichev., A.E. Sargsian., Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E y modelos matemáticos para tipo de suelo, los parámetros de este obtenidos del expediente técnico, sin realizar ensayos destructivos en la edificación del módulo “E” y “F”.

En esta investigación se realizaron aproximaciones a partir de modelos matemáticos a partir de los estudios de suelos y no se a realizado el ensayo de carga directa, ensayo de penetrómetro dinámico, cono de penetración y ensayo de impacto sísmico,

1.4. Limitaciones

La investigación se limita a no realizar el estudio de suelos y modelar la edificación considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI”, con los modelos dinámicos D. D. Barkan – O. A. Savinov., V.A. Ilichev., A.E. Sargsian.,

Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E y modelamiento matemático por tipo de suelo, solo se analizará la aproximación de estos métodos por lo cual no se realizarán los estudios para ajustar los modelos por el costo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la Respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca usando los diferentes modelos dinámicos considerando la interacción suelo – estructura.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca considerando empotramiento en la base.
- Determinar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca considerando interacción suelo estructura utilizando los modelos dinámicos D. D. Barkan – O. A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E.
- Comparar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI- Cajamarca.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial

A. Antecedentes Internacionales:

En la revista ecuatoriana de Ingeniería de Estructuras, en la publicación de Gonzales (2024), Vol. N° 24 – 2 - 2019, titulada “Interacción suelo-estructura: reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos”, se aborda la relevancia de incluir la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de edificaciones sobre suelos blandos. El estudio resalta que considerar la fundación como un punto fijo, sin deformaciones ni elasticidad, es preocupante, ya que esta suposición ignora la capacidad del suelo para absorber y distribuir energía. La investigación concluye que diseñar estructuras en suelos blandos sin tener en cuenta esta interacción es inaceptable. Además, se enfatiza la necesidad de promover modelos que integren la interacción suelo-estructura en el diseño sismo resistente y, en caso de omitirla, justificar claramente las razones académicas detrás de esa decisión

En el artículo de Rodríguez (2022), titulado “Evaluación de la interacción suelo-estructura dinámica en depósitos de suelo blando empleando dos métodos: numérico y analítico”, se aborda el análisis de la interacción dinámica suelo-estructura en los depósitos blandos característicos de la Ciudad de México. El estudio emplea el Método de Elementos Finitos junto con herramientas analíticas, como la propagación unidimensional de ondas y el método desarrollado por Kausel, para ajustar y validar el modelo numérico. Tras esta calibración, se analiza la respuesta dinámica de un edificio ubicado sobre un depósito típico de suelo blando en la Ciudad de México. Los resultados muestran que, con un mallado adecuado, una correcta selección del rango de frecuencias para el amortiguamiento tipo Rayleigh y una optimización de la señal incidente (en términos de longitud e intervalo de muestreo), se logra una aproximación precisa tanto de la respuesta dinámica del suelo como de la estructura. Además, se observó un incremento significativo en los esfuerzos que experimentan los elementos estructurales.

En la investigación de Maestría realizada por Aldumaqy (2021), titulada “Modelación con Diferencias Finitas del Comportamiento Dinámico de Suelos Estratificados Sometidos a Cargas en Superficie: Caso 2D”, se planteó como objetivo desarrollar un modelo utilizando el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD, por sus siglas en inglés). Para ello, se empleó un programa escrito en FORTRAN 90, desarrollado en la plataforma libre INTEL VISUAL STUDIO. El modelo propuesto integró las cargas estáticas de la fundación, las dinámicas generadas por una máquina vibratoria, la geometría de los cimientos y los parámetros del suelo. Como resultado, se concluyó que, según el modelo Virieux, los diagramas de disipación de fuerzas y las configuraciones estratigráficas bajo diferentes cargas vibratorias muestran mayores perturbaciones en cimentaciones más rígidas. Además, se observó que, en suelos con un estrato superior rígido sobre uno de menor rigidez, los esfuerzos tienden a disiparse en mayor medida en el estrato más rígido.

B. Antecedentes Nacionales y Locales:

La investigación realizada por Villareal (2020) se enfocó en el análisis de edificaciones de albañilería confinada, incorporando la flexibilidad de la base de fundación, un fenómeno conocido como Interacción Suelo-Estructura. Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron diversos modelos propuestos por destacados científicos internacionales, cuyos desarrollos son fruto de años de investigación y análisis. Estos modelos fueron seleccionados basándose en las publicaciones del Dr. Genner Villarreal Castro, quien ha explorado profundamente este tema que conecta la Ingeniería Estructural con la Geotecnia, bajo el principio de que toda edificación debe cumplir con los estándares establecidos en las normas de diseño sismorresistente. El estudio comenzó con un análisis del estado actual del conocimiento relacionado con la interacción suelo-estructura. A continuación, se justificó el uso de plateas de cimentación en construcciones y se detallaron las metodologías aplicadas a la edificación. Además, se describió el proyecto considerando aspectos clave como la ubicación, el área de construcción y el estudio de suelos, factores esenciales para implementar correctamente la interacción suelo-estructura. Finalmente, se llevaron a cabo tanto un análisis estructural como uno sísmico. En el análisis estructural, se examinaron los conceptos básicos, los requisitos normativos, la estructuración y la evaluación de densidad de muros. Por

otro lado, el análisis sísmico incluyó la revisión de criterios, las características del modelo matemático y el uso del software SAP 2000 para modelar y evaluar el comportamiento dinámico de la estructura.

En la investigación realizada por Huaman (2018), denominada “Respuesta dinámica por los modelos de cálculo de interacción suelo estructura del FEMA y norma E030-2016 del edificio de comando de control ribereño – Iquitos”, El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar la influencia del efecto interacción suelo estructura en una edificación modelo. Para tal propósito se ha tomado como unidad de estudio al edificio de comando de control ribereño de la Marina de Guerra del Perú, ubicado en la ciudad de Iquitos, asumiendo como referencia del cálculo estructural al “modelo de base rígida de la norma E030-2016”, obteniendo como resultado s fuerzas axiales máximas de columnas el incremento ha sido de 225%, mientras que en el caso de vigas el momento flector máximo ha sido de 96%, en tanto que la fuerza cortante basal se ha ampliado en 10%. (Huamán, 2018)

En la investigación realizada por Cayci (2021), se analizó experimentalmente, teóricos y numéricos detallados para evaluar el desempeño de dos modelos predominantes de interacción suelo-estructura, es decir, el modelo de Winkler y el modelo de Pasternak, en un suelo de arena y arcilla, mostrando resultados muestran claramente que cuando las estructuras están parcialmente incrustadas en suelos, el modelo de Winkler produce una mejor predicción de PNF que el modelo de Pasternak, independientemente de los tipos de pilares y suelos de prueba. Este hallazgo es diferente de los obtenidos en la respuesta dinámica de estructuras que descansan sobre una base elástica o están completamente empotradas en ella (es decir, no parcialmente empotradas), donde el modelo de Pasternak produce resultados más realistas que el modelo de Winkler debido a su consideración de la continuidad de medios de cimentación a través de la interacción de corte. Debido a la interacción de corte, las PNF predichas con el modelo de Pasternak en este estudio son aproximadamente entre un 24% y un 38% y entre un 31% y un 39% más altas que las predicciones con el modelo de Winkler y las PNF medidas, respectivamente.

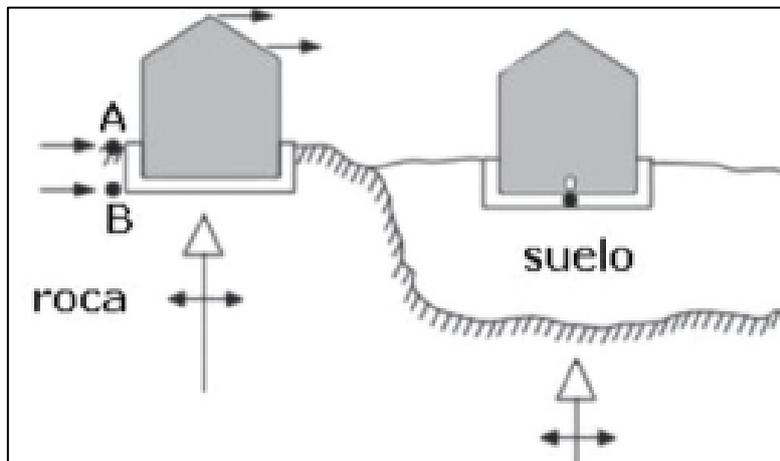
El artículo de Marín (2021), titulado “Influencia de la resistencia del suelo mejorado en el diseño de losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo–estructura”, aborda el uso de técnicas para aumentar la resistencia del estrato superior del suelo más allá de la resistencia natural del terreno. Sin embargo, este incremento de resistencia no suele considerarse en el diseño de cimentaciones ni en su impacto sobre la estructura. El estudio plantea como problema principal: ¿cómo influye la resistencia del suelo mejorado en el diseño de una losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo-estructura? Para responder a esta pregunta, se establecieron varios objetivos específicos: describir las características geotécnicas tanto del suelo mejorado como del suelo natural de las áreas en estudio, calcular la resistencia del suelo mejorado, y analizar su influencia en el diseño de la cimentación utilizando los modelos de interacción suelo-estructura de D.D. Barkan-O.A. Savinov, A.E. Sargsian y N.G. Shariya. La investigación, de diseño experimental y enfoque explicativo, utilizó técnicas de observación y revisión documental. Entre sus principales hallazgos, se destaca que el material granular de la cantera "Racarrumi" incrementa la resistencia de diseño del suelo en un 30,54% al añadir un estrato de 65 cm de altura. Además, el modelo de interacción suelo-estructura propuesto por N.G. Shariya refleja claramente cómo el suelo mejorado influye en el diseño y el comportamiento estructural de la losa de cimentación.

2.2 Marco conceptual.

Las propiedades dinámicas tanto del suelo como de la estructura se activan durante un evento sísmico, pero surge la pregunta: ¿cómo influye el diseño de la cimentación en esta respuesta? ¿De qué manera reaccionan una cimentación rígida y una flexible frente a los efectos de la Interacción Dinámica Suelo-Estructura (IDSE)? Para abordar estas cuestiones, a continuación, se presenta un resumen del trabajo realizado por el Doctor en Estructuras Luciano Roberto Fernández Sola, presentado en mayo de 2013. Para comprender los principales efectos derivados de considerar que la base de una edificación es deformable, es necesario primero analizar de manera cualitativa las diferencias clave entre los modelos que contemplan bases deformables y aquellos que asumen bases rígidas e indeformables. Consideremos dos estructuras desplantadas, una sobre un lecho rocoso (base indeformable) y otra sobre un suelo de rigidez relativamente baja (base deformable), tal y como se muestra en la Figura 5. (Fernández Sola & Avilés López, 2008)

En el caso de una estructura con una base indeformable, los movimientos en toda la cimentación son idénticos (puntos A y B). Esto significa que la excitación en la base de la estructura (punto B) está completamente definida por el movimiento en la superficie (punto A). Además, se asume que esta excitación presenta variaciones mínimas a lo largo del lecho rocoso. Este movimiento está determinado por las características de la fuente sísmica, como el mecanismo de ruptura y la magnitud del sismo, así como por la atenuación del movimiento con la distancia, definida mediante una ley de decaimiento. Con esta excitación como base, la respuesta de la superestructura depende únicamente de sus propias propiedades: masa, rigidez, amortiguamiento y los desplazamientos permitidos por su capacidad de deformación e inercia. En esta sección se analizan los efectos de la discretización espacial en los modelos analíticos, aspectos clave que deben ser tomados en cuenta durante la etapa de calibración. La discretización temporal producida durante la obtención de los modelos experimentales también posee efectos que deben reducirse al mínimo. (Fernández Sola & Avilés López, 2008)

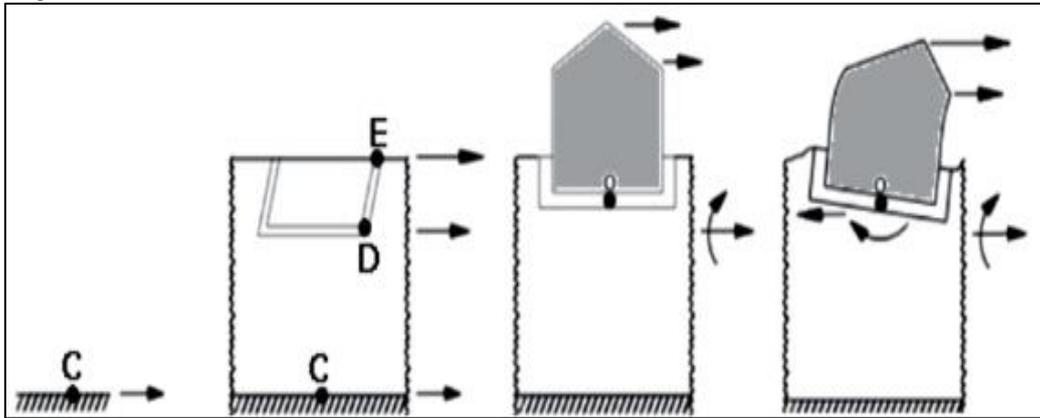
Figura N° 5. Respuesta dinámica sobre una roca, obtenido de Castro, 2021.



Para entender la respuesta dinámica de una cimentación con base deformable, es necesario desglosar el problema en varias partes. Como se observa en la Figura 2.15, el movimiento en el punto C corresponde al registrado en el lecho rocoso previamente definido. La primera diferencia surge porque el suelo que yace sobre el lecho rocoso tiene propiedades diferentes, lo que provoca una variación en el movimiento entre los puntos C, D y E, incluso si la cimentación no está presente. En el caso de una base indeformable, los movimientos en estos tres puntos serían idénticos.

Esta variación se traduce generalmente en una amplificación del movimiento y un filtrado de su contenido en frecuencias, lo que se conoce como "efectos de sitio". Una vez que se introduce la cimentación, que es más rígida que el suelo, el campo de desplazamientos del terreno libre (en ausencia de cimentación) se modifica debido a la interacción con esta nueva rigidez. Esto suele ocasionar una reducción en las amplitudes de los movimientos de alta frecuencia y genera una excitación rotacional en la base de la cimentación (punto O), ya que los puntos D y E no pueden desplazarse de manera completamente independiente. Este fenómeno, provocado por el contraste de rigidez entre el terreno y la cimentación, se denomina "interacción cinemática" y se debe exclusivamente a la difracción de ondas en la zona de contacto. (Fernández Sola & Avilés López, 2008)

Figura N° 6. Diferencia de sistema suelo-cimentación, obtenido de Castro, 2021.



Si la estructura se somete a las traslaciones modificadas, tanto por los efectos de sitio, como por la rigidez de la cimentación y las rotaciones producidas por el movimiento diferencial entre los puntos E y D (Figura 6), los movimientos que experimenta el sistema estarán compuesto por tres partes fundamentales, descritas a continuación:

- Desplazamientos traslacionales que surgen a partir de las fuerzas de inercia generadas por la superestructura dentro del sistema deformable compuesto por el suelo y la cimentación.
- Movimientos producidos por los giros inducidos en el sistema suelo-cimentación deformable, como resultado de los momentos de volteo ocasionados por las fuerzas de inercia de la superestructura. Ambos movimientos representan un comportamiento de cuerpo rígido de la superestructura en relación con el terreno.

- Por último, los desplazamientos que se producen debido a las características y la capacidad de deformación de la propia estructura, conocidos como interacción inercial. Este fenómeno se da por las deformaciones provocadas por las fuerzas de inercia que la superestructura ejerce sobre el sistema suelo-cimentación.

Para concretar, en la Tabla N° 2, se presentan las principales diferencias entre los análisis de edificaciones desplantadas sobre una base indeformable y deformable o dicho en otras palabras, estructuras apoyadas sobre suelos con alta rigidez y sobre suelos con baja rigidez.

Tabla N° 2. Diferencias base indeformable y deformable

| Base indeformable | Base deformable |
|--|--|
| No hay modificaciones del movimiento en los distintos puntos del terreno. | Existe una modificación del movimiento en los distintos puntos del terreno (Efectos de sitio) |
| No hay desplazamiento relativo de la cimentación respecto al terreno | Existe una modificación del movimiento de campo libre, debido a la presencia de la cimentación (interacción cinemática). |
| No hay componente de movimiento de cuerpo rígido de la superestructura (cabeceo y traslación). | Existe un desplazamiento relativo de la cimentación respecto al terreno producido por las fuerzas de inercia de la superestructura (interacción inercial). |

Nota: La tabla muestra los parámetros y puntos de modificación en una edificación con base deformable y otra indeformable, obtenido de Olivera, 2023.

En la Tabla N° 2 Se detallan las características que alteran el comportamiento del sistema suelo-estructura sobre bases deformables. En este contexto, se identifica que la interacción dinámica entre el suelo y la estructura se compone de tres tipos de modificaciones derivadas de la flexibilidad del suelo. Sin embargo, solo dos de ellas, la interacción inercial y la interacción cinemática, son las que realmente definen esta interacción. A partir de lo mencionado, surge una pregunta clave: ¿cómo considera el procedimiento de análisis los efectos del sitio, así como las interacciones inercial y cinemática, al utilizar distintos modelos matemáticos, tanto directos como de simulación, para abordar la interacción suelo-estructura?, el efecto de sitio: las modificaciones producidas por la variación de los materiales se toman en cuenta mediante el uso de los espectros de diseño reglamentarios y de los denominados espectros de sitio. (Olivera, 2023)

Interacción inercial: Este fenómeno está relacionado con el alargamiento del período fundamental de la estructura y los cambios en el amortiguamiento. Estos ajustes en el amortiguamiento se deben a dos factores principales: el amortiguamiento histórico, que es el aporte del suelo al sistema, y la energía irradiada en forma de ondas elásticas a través del suelo, generada por el movimiento de la cimentación, que causa perturbaciones en el terreno. Interacción cinemática: Desde el punto de vista estructural, este fenómeno es menos estudiado y conocido. Por lo general, se asume que no considerar la interacción cinemática favorece la seguridad estructural, ya que reduce los movimientos de altas frecuencias y porque la rotación de la cimentación introducida suele tener un impacto limitado en las aceleraciones y desplazamientos de la superestructura. Esta suposición es válida para edificios robustos con baja esbeltez y cimentaciones relativamente superficiales. Sin embargo, en estructuras altas con cimentaciones profundas, el efecto del cabeceo puede generar componentes significativos de movimiento. Ignorar la interacción cinemática en estos casos puede llevar a diseños menos seguros. Además, en términos de modificación del movimiento, la interacción cinemática tiende a influir más en estructuras cimentadas con cajones de cimentación que en aquellas con cimentaciones tipo pilas. (Calderín, 2020)

El enfoque de diseño más simple es aquel que omite la interacción entre la cimentación y el suelo que la rodea. Según este método, primero se determinan las deformaciones del terreno en condiciones de campo libre, y luego se diseña la cimentación para adaptarse a dichas deformaciones. Este procedimiento suele ser adecuado cuando el suelo es significativamente más rígido que la cimentación. Sin embargo, cuando esta condición no se cumple, es fundamental tener en cuenta los efectos de la interacción cinemática, ya que pueden influir notablemente en las deformaciones del terreno circundante. Estos efectos se originan por la difracción de las ondas incidentes debido a la presencia de la cimentación, un fenómeno que, hasta ahora, ha sido poco investigado en comparación con los efectos de la interacción inercial provocados por la vibración de la estructura.

2.2.1 Discretización Espacial

Las estructuras reales cuentan con propiedades físicas como rigidez, masa y amortiguamiento, las cuales están distribuidas en el espacio y dan lugar a fuerzas elásticas, inerciales y disipativas, respectivamente. Estos sistemas continuos se describen de forma más práctica utilizando modelos de parámetros concentrados con múltiples

grados de libertad (GL). Los GL representan la cantidad de coordenadas independientes necesarias para describir completamente el movimiento de un sistema. En el caso de sistemas continuos, el número de grados de libertad es teóricamente infinito, lo que hace imposible construir un modelo que reproduzca su comportamiento dinámico en todo el rango de frecuencias. No obstante, en la mayoría de los casos, se logran resultados satisfactorios separando las propiedades básicas del sistema en elementos discretos simples, que luego se combinan para representar con suficiente precisión las características dinámicas del sistema. Este enfoque siempre implica una aproximación que depende del nivel de discretización elegido y del rango de frecuencias que se quiera analizar. Por lo tanto, la ubicación de los grados de libertad es una decisión inicial clave que el analista debe tomar en función del tipo de análisis y del nivel de precisión requerido. (Montes, 2020)

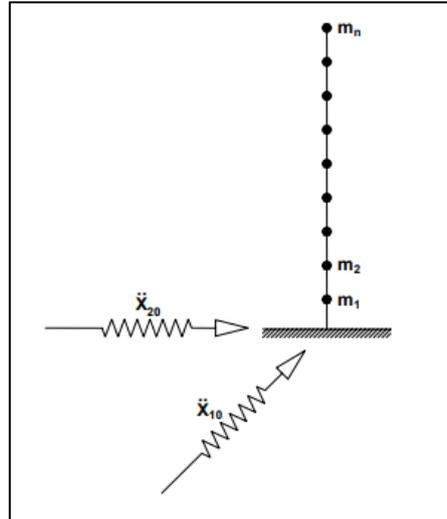
2.2.2 Análisis sísmico convencional:

El proceso de análisis convencional del esqueleto resistente de una edificación empieza por el estudio de la estructura, normalmente supuesta empotrada en la cimentación. Posteriormente, una vez obtenidas las acciones que el edificio transmite a la cimentación, se realiza el dimensionado de ésta, comprobando, en primer lugar, que las tensiones transmitidas sean admisibles para el terreno y realizando, seguidamente, las comprobaciones pertinentes a la estructura de cimentación. (Ulcuango, 2021)

2.2.3 Estudio de modelos interacción suelo estructura:

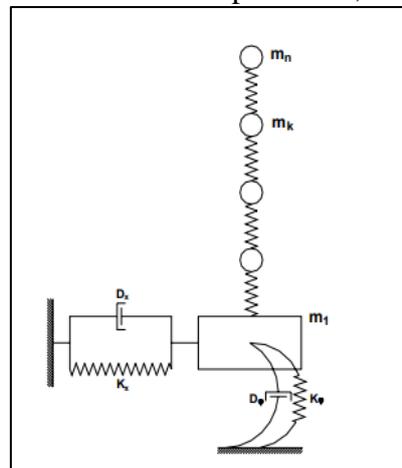
Según los ingenieros Galicia y León (2007), actualmente se busca avanzar hacia métodos de cálculo más seguros, para lo cual se plantea la selección del modelo de interacción y del modelo estructural, los cuales están estrechamente relacionados. La principal exigencia para estos modelos es que representen con mayor fidelidad la realidad. De manera tradicional, se ha utilizado el modelo de péndulo invertido sin peso, con masas concentradas en los niveles de entrepiso y una base fija (empotrada) en el suelo. Este modelo permite transmitir a la estructura la acción sísmica externa en dos direcciones perpendiculares entre sí (como se ilustra en la Figura 5). Sin embargo, este enfoque presenta varias limitaciones. Por ejemplo, no permite describir muchos de los efectos dinámicos que ocurren en el comportamiento real de la estructura. Además, no refleja de manera adecuada la interacción suelo-estructura, ya que no considera los desplazamientos del suelo que actúan conjuntamente con la estructura.

Figura N° 7. Modelo péndulo invertido sin peso, obtenido de Ulcuango, 2021.



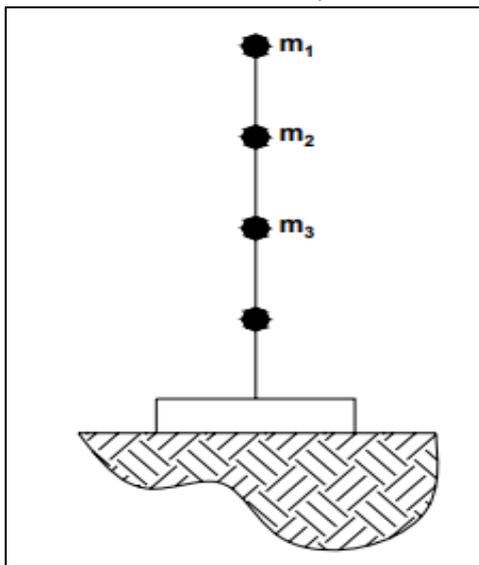
Posteriormente, se planteó un modelo basado en una barra en voladizo con masas concentradas. En este esquema, la masa m_1 representa el estrato, que descansa sobre un suelo rocoso (como se ilustra en la Figura 7). Bajo la acción sísmica, la masa m_1 experimenta tanto desplazamientos horizontales como rotaciones.

Figura N° 8. Barra en voladizo con masas puntuales, obtenido de Ulcuango, 2021.



En Japón se planteó la Interacción suelo-estructura en forma de una platea rectangular (Figura 8), la cual se desplaza por el suelo y gira alrededor del plano vertical, así como parcialmente se puede despegar de la superficie del terreno.

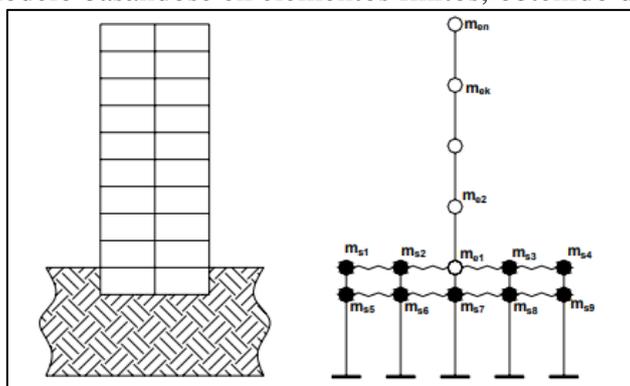
Figura N° 9. Interacción suelo-estructura, obtenido de Ulcuango, 2021.



En Rusia se desarrolló un análisis utilizando el Método de los Elementos Finitos para estudiar las reacciones dinámicas de una edificación rígida, específicamente un edificio multifamiliar construido con grandes paneles, considerando la interacción suelo-estructura.

Para ello, la edificación se modeló como una placa deformable dividida en elementos finitos, concentrando las masas puntuales en los nudos (enfocándose en un problema lineal geométrico). De manera similar, la base de la fundación se representó como una platea modelada de forma análoga, y ambas estructuras se conectaron de manera elástica (ver Figura 9).

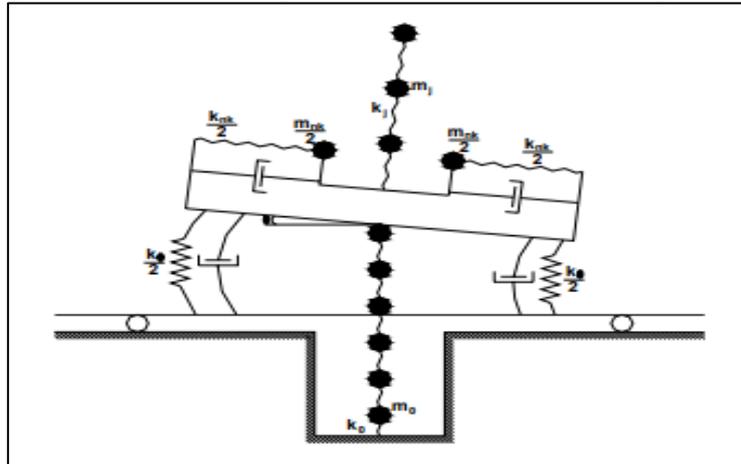
Figura N° 10. Modelo basándose en elementos finitos, obtenido de Ulcuango, 2021.



Posteriormente, se presentó un modelo (Figura 10) que incorpora la deformación conjunta elasto-plástica tanto de la estructura como del suelo de fundación. Este tipo de modelo, conocido como genérico, representa una evolución del modelo de péndulo invertido con

masas puntuales. A diferencia de los modelos anteriores, este enfoque incluye, de manera más realista, los desplazamientos horizontales del estrato de suelo, ampliando su capacidad para describir la interacción entre la estructura y el terreno.

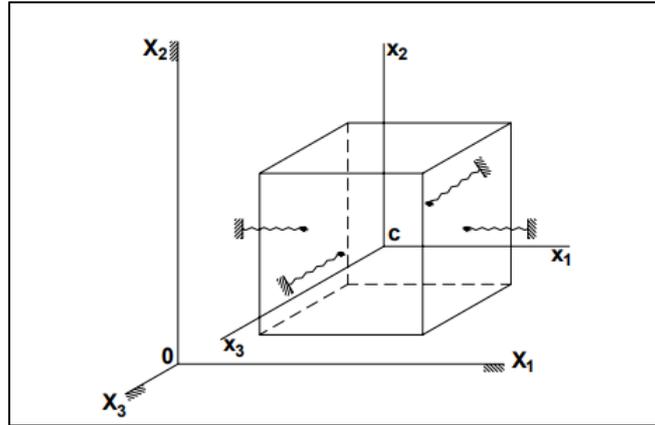
Figura N° 11. Modelo genérico, obtenido de Ulcuango, 2021.



Finalmente, los trabajos de Nikolaenko N.A. y Nazarov Yu.P. marcaron un avance significativo en el desarrollo de nuevos modelos de cálculo. Como base, propusieron un modelo de cuerpo sólido con seis grados de libertad (Figura 11), que permite describir de manera precisa tanto las vibraciones por desplazamiento como los giros, además de capturar los efectos dinámicos del comportamiento tridimensional de la estructura.

En este modelo, los desplazamientos finitos y los ángulos de giro, que reflejan la no linealidad geométrica, se obtienen directamente a partir del movimiento del propio modelo.

Figura N° 12. Cuerpo sólido con 6 grados de libertad, obtenido de Cruz, 2018.



2.2.4 Interacción Suelo Estructura

Es el mecanismo por el cual la presencia de la estructura influye en el movimiento del terreno es conocido bajo el nombre de interacción suelo- estructura. (Soriano, 1989)

El efecto ISE (Interacción suelo estructura) es muy evidente en el cálculo de estructuras y generalmente se considera beneficioso al sistema estructural sometido a cargas sísmicas (Khalil et al., 2007), debido a que influye en el comportamiento dinámico de la estructura aumentando su periodo fundamental y el amortiguamiento del sistema en comparación con el modelo de base fija (García, 2006). El modelo de interacción suelo estructura (Figura 13) plantea los siguientes principios: La cimentación debe ser analizado como un cuerpo rígido, despreciando la flexibilidad de la zapata, para ello se debe utilizar un trecho rígido que vaya desde el eje de la columna hacia los bordes de la zapata para cada dirección, colocando resortes y amortiguadores que idealiza el comportamiento del suelo. (Galicía & León, 2007)

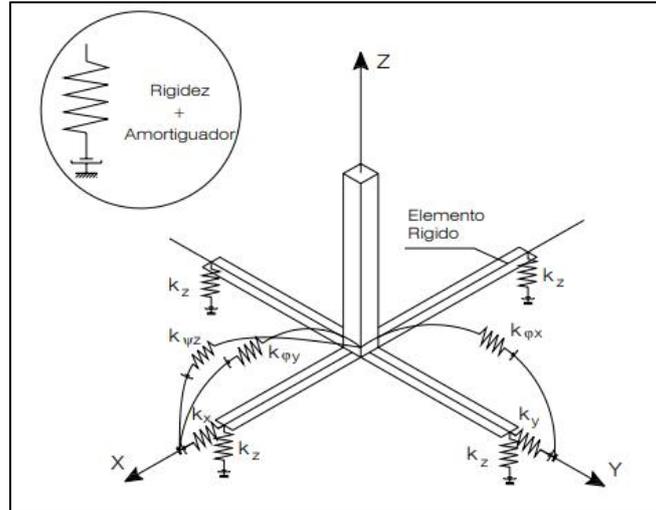
2.2.5 Modelo dinámico

Como se desprende de la idea principal de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, es la correspondiente asignación de los coeficientes de rigidez, que determinan la condición real de interacción suelo-cimentación:

$$R_{\alpha} = K_{\alpha} u_{\alpha} \quad ; \quad R_{\phi_{\alpha}} = K_{\phi_{\alpha}} \phi_{\alpha}$$

Ecuación N° 1. Modelo dinámico general

Figura N° 13. Interacción suelo – estructura, obtenido de Galicia & León, 2007.



Según los casos estudiados el efecto ISE reducen los esfuerzos que ocurren en las estructuras y para obtener estos resultados es mediante la aplicación de los modelos dinámicos a los que es sometida. (Shendkar, 2020)

Los modelos dinámicos utilizados para el análisis incluyen los siguientes, Modelo dinámico de D.D. Barkan – O.A. Savinov: Este modelo se basa en la interacción entre la cimentación y la base de fundación a través de un proceso establecido de vibraciones forzadas. En este caso, se restringe el giro alrededor del eje Z, lo que limita el movimiento a cinco de los seis grados de libertad. Modelo dinámico de V.A. Ilichev: Diseñado específicamente para problemas ondulatorios en la interacción suelo-estructura, este modelo considera un semiespacio elástico. Inicialmente fue aplicado para analizar vibraciones verticales en cimentaciones circulares apoyadas sobre un semiespacio elástico isotrópico. Modelo dinámico de A.E. Sargsian: [Especificar detalles adicionales si los tienes, ya que el texto original no los proporciona]. Modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87: Este modelo sigue los lineamientos establecidos en la normativa rusa para el diseño y análisis de cimentaciones sometidas a condiciones dinámicas. Modelo dinámico de Winkler E.: Un enfoque clásico que modela el suelo como un conjunto de resortes independientes, ideal para describir el comportamiento elástico del terreno bajo la cimentación.

Estudios recientes y las observaciones postsísmicas proponen que la ISE pudiese ser perjudicial y no considerar su influencia podría llevar a un diseño inseguro para la superestructura y la fundación, especialmente para las estructuras fundadas sobre suelo blando (Khalil Et Al., 2007).

- **Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov:**

Es un modelo teórico-experimental, que está basado en la forma con la que interactúa la cimentación con la base de fundación en forma de un proceso establecido de vibraciones forzadas. (Prada, 2020)

El científico D.D. Barkan propuso unos coeficientes de rigidez que estén en función de los coeficientes de compresión y desplazamiento elástico que actúan sobre una inercia y área. En este modelo se restringe el giro alrededor del eje Z, por lo tanto, solamente se calculan cinco de los seis grados de libertad, según las expresiones. (Prada, 2020)

$$K_Z = C_Z A$$

$$K_X = C_X A$$

$$K_\phi = C_\phi I$$

Ecuación 1. *Coficiente de rigidez Barkan*

Donde:

C_Z, C_ϕ : Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

C_X : Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

A: Área de la base de la cimentación

I: Momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración. (Nina, 2020)

Los coeficientes C_X, C_Z y C_ϕ , no obedecen únicamente de las características elásticas del suelo sino también intervienen otros factores, es por ello que es necesario analizarlos de tal forma que se puedan encontrar las expresiones adecuadas para el cálculo. Dos modelos fueron analizados: modelo de semiespacio elástico isotrópico con poco peso y el modelo M.M. Filonenko-Borodich, obteniéndose las fórmulas anteriormente expresadas en los coeficientes de compresión y desplazamiento elástico. (Shendkar, 2020)

$$C_Z = X_Z \cdot \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}$$

$$C_X = X_X \cdot \frac{E}{(1+X_X \mu)(1+\mu)} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}$$

$$C_{\phi} = X_{\phi} \cdot \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 2. *Coficiente de comprensión y desplazamiento elástico*

Donde:

C_0 y D_0 : Coeficientes experimentales para $p = p_0$

a y b : Dimensiones de la cimentación en el plano

Δ : Coeficiente empírico, asumido como $1m^{-1}$

Se ha hallado que la siguiente dependencia, puede ser utilizada para calcular el valor de D_0 .

$$D_0 = \frac{1-\mu}{1-0.5\mu} \cdot C_0$$

Sin embargo, para cálculos prácticos se recomienda utilizar las siguientes expresiones:

$$C_0 = 1.7 \cdot \frac{E_0}{1-\mu^2} \cdot 10^{-3} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$D_0 = 1.7 \cdot \frac{E_0}{(1+\mu)(1-0.5\mu)} \cdot 10^{-3} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Ecuación 3. *Coficiente experimental expresado a partir de E_0 y μ*

Dónde:

E_0 : Módulo de elasticidad, experimentalmente calculado para una presión estática del suelo de $0.1 - 0.2 \text{ kg/cm}^2$

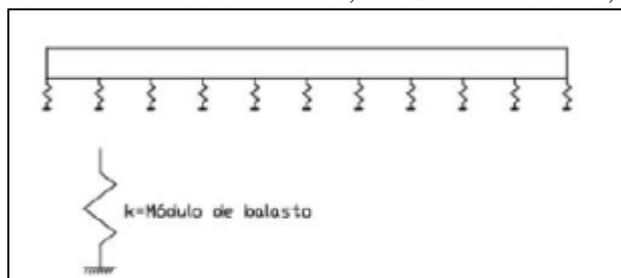
μ : Coeficiente de Poisson.

Por otro lado, el C_0 puede ser obtenido, dependiendo del tipo de suelo de fundación. (Nina, 2020)

- **Modelo dinámico Winkler:**

Uno de los métodos de cálculo más utilizado para modelar la interacción entre la base de cimentación y la superestructura es la que supone al suelo como un equivalente a un número infinito de resortes elásticos -muelles o bielas biarticuladas- cuya rigidez, denominada módulo o coeficiente de balasto (K_s), se corresponde con el cociente entre la presión de contacto (q) y el desplazamiento - en su caso asiento- (δ).

Figura N° 14. Modelo Winkler, obtenido de Castro, 2021.

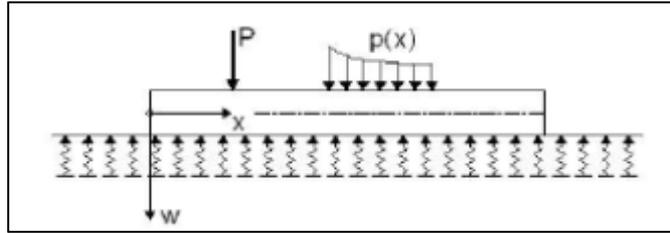


El término "balasto" tiene su origen en los estudios iniciales sobre las traviesas del ferrocarril, donde esta teoría fue aplicada por primera vez. El balasto se refiere a la capa de grava que se extiende sobre la explanación de los ferrocarriles para estabilizar y fijar las traviesas en su lugar. Este modelo de interacción, comúnmente conocido como modelo de Winkler en honor a su creador, tiene múltiples aplicaciones. Aunque es ampliamente utilizado en el ámbito de las cimentaciones, también se adapta a diversos problemas en otros campos donde sus principios pueden ser aplicados. (Cabrera, 2020)

En los últimos años, la teoría del módulo de balasto ha ganado popularidad debido a su facilidad para incorporar la interacción suelo-estructura (ISE) en los métodos matriciales de cálculo. De hecho, utilizando un programa de cálculo matricial genérico, es posible realizar aproximaciones altamente precisas al comportamiento de vigas o losas apoyadas sobre una fundación elástica. (De Oliveira, 2021)

En la práctica común del diseño de cimentaciones, la teoría de Winkler se utiliza para analizar elementos como vigas flotantes o de cimentación y losas de cimentación, que trabajan sobre un corte horizontal del terreno. Sin embargo, también se aplica a elementos como pantallas para excavaciones o tablestacas, que interactúan con un corte vertical del suelo. Por ello, se distingue entre el módulo de balasto vertical y el módulo de balasto horizontal, aunque ambos conceptos se basan en el mismo principio. (De Oliveira, 2021)

Figura N° 15. Módulo de balasto, obtenido de Nina, 2024.



$$p - k \cdot w(x) = (E \cdot I) \frac{d^4 w}{dx^4}$$

Ecuación 4. Viga flotante

Siendo:

$w(x)$: El asiento de la viga (m).

x : Coordenada (m)

k : El módulo de balasto (KN/ m³)

p : La carga por unidad de longitud de la losa (KN/ m)

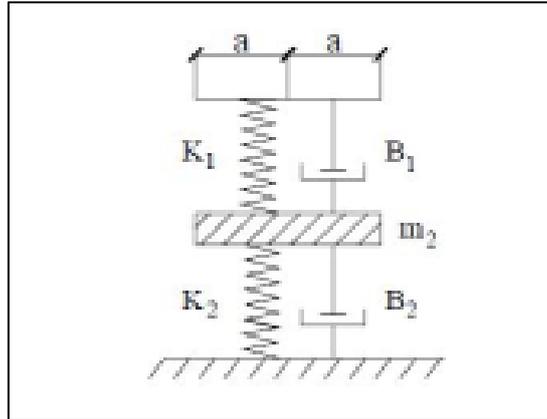
E : El módulo de elasticidad de la losa (KN/ m²)

I : La inercia de la viga respecto al eje que pasa por su centro de gravedad (m⁴)

- **Modelo dinámico V.A. Ilichev:**

El modelo dinámico de V.A. Ilichev fue diseñado específicamente para abordar problemas ondulatorios relacionados con la interacción suelo-estructura, representando el suelo como un semi espacio elástico. Inicialmente, este modelo se aplicó al análisis de vibraciones verticales en cimentaciones circulares, las cuales se encontraban apoyadas sobre un semi espacio elástico isotrópico. (Cabrera, 2020)

Figura N° 16. Modelo Winkler, obtenido de Shendkar, 2020



En el sistema, la parte superior está representada por una placa sin peso, donde un resorte de rigidez K_1 y un amortiguador B_1 modelan el efecto de las ondas longitudinales. Los parámetros K_1 y B_1 están determinados por el radio de la placa, la densidad del material del semiespacio y la velocidad de las ondas longitudinales, pero no dependen del coeficiente de Poisson ni de la velocidad de las ondas transversales. Por otro lado, la parte inferior del sistema describe el comportamiento dinámico de la placa frente a las ondas transversales y de Rayleigh. Los parámetros m_2 , B_2 y K_2 dependen de las dimensiones de la placa y de la densidad del medio. Sin embargo, a diferencia de los parámetros superiores, estos sí están influenciados por el coeficiente de Poisson (μ) y la velocidad de las ondas transversales (C_2), pero no por la velocidad de las ondas longitudinales. Además, el modelo separa claramente la influencia de las ondas longitudinales, transversales y de Rayleigh en el movimiento de la placa, permitiendo un análisis más detallado de su comportamiento dinámico. (Castro, 2021)

Las ondas longitudinales generan una resistencia al movimiento de la cimentación, la cual depende tanto del desplazamiento como de la velocidad de esta. Por su parte, las ondas transversales y las ondas Rayleigh también contribuyen a la resistencia, pero en este caso, está relacionada con la aceleración del movimiento de la cimentación, lo que influyó en la aparición de la masa m_2 . El modelo dinámico planteado se caracterizó como un sistema con 1,5 grados de libertad, distribuidos de manera que un grado de libertad corresponde a la parte inferior del sistema, mientras que medio grado se asocia a la parte superior (Nina,

2020). Posteriormente, dicho modelo se amplió para abarcar tanto las vibraciones horizontales como las rotacionales de la cimentación, considerando una base elástica cuya capacidad de deformación varía linealmente con la profundidad del terreno. En este contexto, el módulo de deformación $E(z)E(z)E(z)$ de la base se aproxima según una ley específica de variación. (Cabrera, 2020)

$$E_{(z)} = E_0 \left[tg\psi \cdot \frac{z}{\alpha} + 1 \right]$$

Ecuación 5. *Coefficiente de deformación E*

Donde:

E_0 : Módulo de deformación del suelo en la superficie;

Z : Coordenada de la profundidad del suelo de fundación, respecto a su superficie;

ψ : Ángulo de fricción interna del suelo;

$\alpha = 1m$

La aproximación establecida describe cómo varían las propiedades de deformación de la base según la profundidad alcanzada. Para las vibraciones verticales, esta variación se considera hasta una profundidad equivalente a 5α ; en el caso de las vibraciones rotacionales, hasta 3α ; y para las horizontales, hasta 2α .

Donde:

$$\alpha = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Ecuación 6. *Vibraciones verticales*

El radio asumido de la base de la cimentación está relacionado con su área A . En el modelo mecánico con 1,5 grados de libertad, los cinco parámetros adimensionales del sistema muestran una dependencia lineal proporcional a $(A)^{1/2}$

$$Y = Y_0 + Y_1 \cdot tg\psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

Ecuación 7. *parámetro de dependencia lineal.*

Donde:

Y: Cualquier parámetro con índice o sin índice.

Bz1, Kz1, mz, bz2, Kz2: Coeficientes para las vibraciones verticales, donde el amortiguador bz1 y la rigidez Kz1 corresponden a la parte superior del modelo (medio grado de libertad) y los coeficientes mz, bz2, Kz2 a la parte inferior (un grado de libertad) bφ1, Kφ1, mφ, bφ2, Kφ2 : Parámetros análogos para las vibraciones rotacionales bx1, Kx1, mx, bx2, Kx2 : Coeficientes para las vibraciones horizontales.

Para las vibraciones rotacionales:

$$\begin{aligned}K_{\varphi} &= (C_2)^2 \times \rho \times k_{\varphi} \times a^3 \\B_{\varphi} &= (C_2) \times \rho \times b_{\varphi} \times a^4 \\M_{\varphi} &= \rho \times m_{\varphi} \times a^5\end{aligned}$$

Ecuación 8. Ecuación de vibración rotacional

Para las vibraciones horizontales (verticales):

$$\begin{aligned}K_{X(Z)} &= (C_2)^2 \times \rho \times k_{X(Z)} \times a \\B_{X(Z)} &= (C_2) \times \rho \times b_{X(Z)} \times a^2 \\M_{X(Z)} &= \rho \times m_{X(Z)} \times a^3\end{aligned}$$

Ecuación 9. Ecuación de vibración horizontales

Dónde:

C2 : Velocidad de propagación de la onda transversal;

ρ: Densidad del suelo de la base de fundación.

El modelo analizado puede ser abreviado eliminando la masa m2, cuando el coeficiente de Poisson que varía en el intervalo $0 \leq \mu \leq 0,4$. Considerando, que en el modelo analizado las conexiones con rigideces K1 y K2 están unidas consecutivamente, en el cálculo se ingresará la rigidez equivalente determinada por la fórmula:

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}$$

Ecuación 10. Rigidez equivalente

El modelo dinámico V.A. Ilichev, descrito anteriormente, es estrictamente teórico, basado en la solución teórica del problema de interacción dinámica suelo-estructura, desde el punto de vista del modelo de semiespacio elástico.

- **Modelo dinámico A.E. Sargsian**

En las investigaciones de A.E. Sargsian y A.A. Najapetian realizaron otro modelo dinámico de interacción suelo-estructura, utilizado para fines académicos, motivo por el cual no nos detendremos en su fundamentación y se limitara a describir las fórmulas finales, necesarias para los cálculos futuros. De acuerdo con el modelo dinámico, en su análisis se ingresan parámetros cuasiestáticos de rigidez de la base de fundación K_x , K_ϕ , K_z ; que se determinan por las siguientes fórmulas:

$$K_x = \frac{28,8 \cdot (1 - \mu^2) \cdot \rho \cdot C_2^2 \cdot \sqrt{A}}{\pi \cdot (7 - 8\mu)}$$

$$K_\phi = \frac{8,52 \cdot \rho \cdot C_2^2 \cdot I}{\sqrt{\pi} \cdot (1 - \mu) \cdot \sqrt{A}}$$

$$K_z = \frac{\rho \cdot C_1^2 \cdot \sqrt{A}}{\Phi \cdot (1 - \mu^2)}$$

Ecuación 11. Rigidez equivalente

Dónde:

P: Densidad del suelo de fundación

A: Área de la base de la cimentación

I: Momento de inercia del área de la base de la cimentación respecto al eje horizontal, que pasa por el centro de gravedad perpendicular al plano de vibración

$\Phi = 0,833$

C1: Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación

C2: Velocidad de propagación de las ondas transversales.

De acuerdo con la concepción de semiespacio elástico, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales se pueden calcular por las siguientes fórmulas:

$$C_1^2 = \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)\rho}$$

$$C_2^2 = \frac{E}{2(1+\mu)\rho}$$

Ecuación 12. *Propagación de la onda*

Dónde:

E : Módulo de elasticidad de la base de fundación.

- **Modelo dinámico norma rusa Snip 2.02.05-87 :**

Los coeficientes de rigidez de compresión elástica uniforme K_z , kN/m (T/m); desplazamiento elástico uniforme K_x , kN/m (T/m); compresión elástica no uniforme K_ϕ , kN.m (T.m) y desplazamiento elástico no uniforme K_ψ , kN.m (T.m); se calculan por las fórmulas. (Jines, 2017)

$$K_z = C_z A$$

$$K_x = C_x A$$

$$K_\phi = C_\phi A$$

$$K_\psi = C_\psi A$$

Ecuación 13. *Coficiente de compresión*

Dónde:

A: Área de la base de la cimentación (m²)

I_ϕ : Momento de inercia (m⁴) del área de la base de la cimentación respecto al eje horizontal, que pasa por el centro de gravedad perpendicular al plano de vibración

I_ψ : Momento de inercia (m⁴) del área de la base de la cimentación respecto al eje vertical, que pasa por el centro de gravedad de la cimentación (momento polar de inercia).

Presenta una característica elástica de la cimentación, es decir el coeficiente de compresión elástica uniforme C_z , kN/m³ (T/m³), se determina por medio de ensayos experimentales. En caso de que no exista dicha información se puede determinar por la siguiente fórmula. (Jines, 2017)

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Ecuación 14. Compresión elástica uniforme

Dónde:

B_0 : 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

E : Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación, kPa (T/m²), determinadas por tablas 3 y 4 del anexo o en forma experimental; $A_{10} = 10m^2$

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme C_x , kN/m³ (T/m³); compresión elástica no uniforme C_ϕ , kN/m³ (T/m³) y desplazamiento elástico no uniforme C_ψ , kN/m³ (T/m³); se determinan por las siguientes fórmulas. (Jines, 2017)

$$C_x = 3.7C_z$$

$$C_\phi = 2C_z$$

$$C_\psi = C_z$$

Ecuación 15. Coeficiente de desplazamiento elástico

En las propiedades de amortiguación de la base de la cimentación, se deben de considerar las amortiguaciones relativas ξ , determinado por ensayos de laboratorio. En el caso que no existan datos experimentales, la amortiguación relativa para las vibraciones verticales ξ_z se puede determinar por las fórmulas: Para las vibraciones establecidas (armónicas) o conocidas. (Prada, 2020)

$$\xi_z = \frac{z}{\sqrt{P_m}}$$

$$\left(\xi_z = \frac{0.7}{\sqrt{P_m}} \right)$$

Ecuación 16. Coeficiente de amortiguación

Para las vibraciones no establecidas (impulsos) o desconocidas:

$$\varepsilon_z = 6 \sqrt{\frac{E}{C_z P_m}}$$
$$\left[\varepsilon_z = 2 \sqrt{\frac{E}{C_z P_m}} \right]$$

Ecuación 17. Vibraciones de coeficiente

Dónde:

E: Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación
Cz: Coeficiente de compresión elástica uniforme Pm: Presión estática media en la base de la cimentación.

$$p_n \leq \gamma_{ts} R$$

Ecuación 18. Coeficiente de trabajo.

Siendo:

γ_{ts} : Coeficiente de la condición de trabajo del suelo de fundación, asumido igual a 0,7 para arenas saturadas de grano fino o polvorosa y arcillas de consistencia movediza; y para el resto de los suelos es igual a 1.

R: Resistencia de cálculo del suelo de fundación, determinado por la Norma Rusa SNIP 2.02.01-83*

Las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales respecto a sus ejes horizontal y vertical se pueden determinar por las siguientes fórmulas. (Jines, 2017)

$$\varepsilon_x = 0.6\varepsilon_z$$
$$\varepsilon_\varphi = 0.5\varepsilon_z$$
$$\varepsilon_\psi = 0.3\varepsilon_z$$

Ecuación 19. Amortiguaciones relativas

Como característica de amortiguación, también se puede usar el módulo de amortiguación para las vibraciones verticales Φ_z , determinado por las siguientes fórmulas. (Jines, 2017)

Para las vibraciones establecidas (armónicas) o conocidas:

$$\phi_z = \frac{1.5}{\sqrt{C_z}}$$

$$\left(\phi_z = \frac{0.5}{\sqrt{C_z}} \right)$$

Ecuación 20. *Vibraciones armónicas*

Para las vibraciones no establecidas (impulsos) o desconocidas, el valor de Φ_z se incrementa en dos veces, en comparación con las establecidas (armónicas) o conocidas. (Jines, 2017)

$$\phi_x = 0.6\phi_z$$

$$\phi_\varphi = 0.5\phi_z$$

$$\phi_\psi = 0.3\phi_z$$

Ecuación 21. *Vibraciones de impulso*

2.2.6 Efecto de Sitio

La alteración de la señal sísmica provocada por las características geológicas y topográficas del terreno, ya sea durante o después de un terremoto, se denomina efecto local o efecto de sitio. Ante un movimiento sísmico, las capas del suelo funcionan como filtros que afectan las frecuencias, modificando la energía que finalmente se transfiere a las estructuras. En general, se ha identificado que los depósitos de suelo blando tienden a amplificar la señal de entrada cuando las frecuencias predominantes son bajas (es decir, periodos largos). Por el contrario, los suelos más rígidos amplifican señales asociadas a frecuencias predominantes altas (periodos cortos). (Prada, 2020)

2.3 Definición de términos básicos

Respuesta estructural: La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas. (Ibarra, 2019)

Periodo de vibración: Es el intervalo mínimo de tiempo para el cual la vibración se repite a sí misma. (Infante, 2020)

Derivas de entrepiso: Cociente entre la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos y la altura libre o separación de estos. (E.030, 2016)

Fuerzas internas: En el interior de los miembros estructurales se desarrollan acciones que pueden ser fuerzas normales, fuerzas cortantes, momentos flexionantes y momentos torsionantes. (Juárez, 2021)

Modelos dinámicos: Describe los aspectos de un sistema que cambia con el tiempo (López, 2021).

Grados de libertad: Es el número mínimo de parámetros necesarios para describir de manera única la figura deformada de la estructura. Estos parámetros corresponden a las rotaciones y traslaciones libres en cada uno de los nudos de la estructura. (Fabre, 2024)

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El modelo A.E. Sargsian genera mayor efecto de respuesta estructural considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI – Cajamarca.

3.2 Variables

3.2.1 Variables Independientes

Modelos dinámicos Interacción suelo - estructura.

3.2.2 Variable Dependiente

Respuesta estructural.

3.3 Operacionalización de los componentes de las hipótesis

Tabla N° 3. Operacionalización de variables

| TITULO: “COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS PABELLONES E Y F SENATI CAJAMARCA USANDO LOS DIFERENTES MODELOS DINÁMICOS DE INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA” | | | | | |
|---|---|---|-----------------------|---|---|
| Hipótesis | Definición conceptual de las variables | Definición operacional de las variables/categorías | | | |
| | | Variables | Dimensiones | Indicadores | Fuente o instrumento de recolección de datos |
| El modelo A.E. Sargsian genera mayor efecto de respuesta estructural considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI – Cajamarca. | Describe los aspectos de un sistema que cambia con el tiempo La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas. | Modelos dinámicos Interacción suelo – estructura (V. Independiente) | Rigidez del suelo | Coeficientes de Rigidez | Cálculo en gabinete de coeficientes. |
| | | Respuesta estructural (V. dependiente) | Periodos de vibración | Ciclos / segundo | Cálculo del modelamiento en Etabs v20.1 |
| | | | Derivas de Entrepiso | Δ_i / h_{ie} | |
| | | | Fuerzas Internas | $\sigma_{resistente} / \sigma_{actuante}$ | |

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 Ubicación geográfica

El Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (SENATI) se encuentra ubicado en la provincia de Cajamarca, distrito de Baños del Inca, cuya ubicación se adjunta en anexo 02, siendo sus coordenadas UTM las siguientes:

Tabla N° 4. Coordenadas SENATI

| Ubicación | Coordenadas | | |
|-----------|--------------|-------------|-------|
| | Norte | Este | Cota |
| SENATI | 9207279.00 m | 779466.00 m | 2663m |

Nota: La información proporcionada es sobre la ubicación en coordenadas UTM de la ubicación del pabellón E de SENATI Cajamarca. Fuente: Expediente.

La edificación en estudio presenta características geotecnicas muy distintas presentando limos, arcillas y suelo fangosos; en la zona de los módulos a estudiar el suelo presenta las siguientes características como primer estrato muy suave, suave y firme no presentado plasticidad en la granulometría y con humedad, con una capacidad portante de 1.27 kg/cm², lo que convierte en un suelo intermedio.

4.2 Diseño de la investigación

Se analizó la edificación con los diferentes modelos dinámicos, en base a la normativa E.030 (sismo resistente), dado que es un nuevo campo en la ingeniería sísmica se consideró los modelos dinámicos para observar su respuesta estructural y compararla con el método directo propuesto por la FEMA 440 y el modelo matemático considerando el tipo de suelo en la edificación.

Dado que la edificación existe se realizará los modelamientos y los cálculos en base al expediente técnico, para obtener una mejor evaluación con la normativa N.T.P - E.030, evaluada con las siguientes características.

Tabla N° 5. Características para la generación del espectro

| CARACTERÍSTICAS DE ESPECTRO DE RESPUESTA | | |
|--|---------|-----------------------------|
| Factor de zona | Z=0.35 | CAJAMARCA - CAJAMARCA |
| Factor de uso | U=1.50 | EDIFICACIÓN ESENCIAL |
| Factor de amplificación | C=2.5 | $C = 2.5(T_p/T) \leq 2.5$ |
| Factor de suelo | S= 1.15 | $T_p=0.60$ s - $T_L=2.00$ s |
| Factor de reducción de capacidad | R=8 | CONCRETO ARMADO |

Nota. Los datos presentados son en base al expediente técnico el cual fue elaborado en el año 2016. Fuente expediente técnico.

La edificación corresponde a una estructura de concreto armado aperturada, en primera instancia se evaluará con la normativa vigente para observar si está dentro de los parámetros permitidos, luego se considerará los diferentes modelos dinámicos para la interacción suelo estructura.

Obtenido los resultados de los modelos dinámicos se comparará con el método directo propuesto por el FEMA 440 y los modelos matemáticos por el tipo de suelo, este proceso se realizará en el programa Etabs v20.2 donde los diferentes resultados se presentarán en esta investigación.

En la etapa inicial se realizará el modelamiento de la estructura tal cual se presenta en el expediente técnico como en el informe de estructuras y diseño, una vez establecido el modelo se someterá E.030 -2018, para observar su comportamiento estructural luego se someterá a los diferentes modelos dinámicos de interacción Suelo – Estructura.

4.2.1 Análisis cualitativo

En base a los resultados obtenidos por los diferentes modelos dinámicos para el estudio de la interacción suelo estructura, se interpretó los resultados obtenidos Hernández Sampieri (2016) *“El interpretar los resultados obtenidos en base a la variable dependiente, el cual ha sido analizado y ha pasado un proceso en donde el investigador le dará las CUALIDADES en base a sus resultados obtenidos ... ”* por lo tanto la investigación es una investigación de carácter cualitativo.

Comparar la Respuesta estructural del pabellón “E” SENATI - Cajamarca usando los diferentes modelos dinámicos de interacción suelo – estructura; mediante el cálculo de los periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas, dados que los resultados obtenidos a partir de la variable dependiente del cual se extraerán significados y conclusiones los cuales tendrán que ser interpretados y dar una CUALIDAD.

4.3 Métodos de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y su objetivo principal es describir los resultados obtenidos mediante el programa Etabs v20.2. Además, tiene carácter no experimental, ya que no se realizará ensayos; se realizará la manipulación de las variables independientes para observar sus efectos en las variables dependientes, es decir, los resultados obtenidos en las variables dependientes están en función a la respuesta estructural de la edificación. La experimentación se dará realizando el modelamiento de la infraestructura en el ETABS ingresando los coeficientes de rigidez obtenidos de cada modelo dinámico, según lo expuesto en tabla.

4.3.1 Obtención de datos.

La información estructura y todos los estudios de la institución fue proporcionada por el director de SENATI – CAJAMARCA, informándole el objetivo de dicha investigación la cual servirá para saber un comportamiento si es sometida a una fuerza sísmica, el cual nos presentó el expediente técnico completo de la construcción, de dicho expediente se obtuvo los planos y especificaciones técnicas.

4.3.2 Modelamiento y análisis.

Se realizo el análisis sísmico de acuerdo con los lineamientos dados por la NTP E.030 -2018 de diseño sismo resistente, donde se analizó con los diferentes modelos dinámicos considerando la interacción suelo estructura, siendo esta edificación modelada en el software Etabs v20.2 versión educacional; además de Microsoft Excel 2016 para la interpretación de los resultados obtenidos y demás cálculos necesarios.

Tabla N° 6. Criterio y tipo de investigación.

| Criterio | Tipo de Investigación |
|---|------------------------------|
| Finalidad | Aplicada |
| Estrategia o enfoque Teórico Metodológico | Cuantitativa |
| Objetivos (Alcances) | Descriptiva |
| Fuente de Datos | Primaria |
| Control en el diseño de prueba | No experimental |
| Temporalidad | Transversal |

Nota. Los criterios y tipos de investigación fueron elaborados con el análisis de este tipo de investigación para poder tener una mejor visión sobre la metodología que se he utilizado. Fuente:(Hernández Sampieri et al., 2016)

4.4 Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

- **Población:** La población de estudio, está constituida por los módulos de la Institución SENATI.
- **Muestra:** Para la muestra se ha utilizado un muestreo no probabilístico, de subtipo convencional o intencional, seleccionando los módulos “E” y “F” por ser nuevos módulos de la Institución permitiendo las autoridades del centro de estudio acceso a la memoria descriptiva, planos de estructuras.
- **Unidad de análisis:** Modelos dinámicos interacción suelo – estructura D. D. Barkan – O. A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E.

4.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

4.5.1 Técnicas

- Observación directa de resultados.
- Análisis documentario.
- Revisión metodología de los modelos dinámicos.

4.5.2 Instrumentos.

- Tablas y cuadros de resultados obtenidos del Etabs v20.2
- Expediente técnico.

4.5.3 Procedimiento de la recopilación de información.

- Trata de un instituto que acoge a estudiantes para su formación, previamente se hará una gestión para obtener el expediente técnico con el director de SENATI como la verificación y visita al edificio, para la corroboración de las medidas en los planos.
- La información de los planos y los estudios de mecánica de suelos obtenidas del expediente técnico es de vital importancia dado que con esa información se modelará la estructura considerando los modelos dinámicos para la realización de su análisis.
- Realizar el estudio de los diferentes modelos dinámicos considerando interacción suelo estructura en los edificios E y F – SENATI Cajamarca.
- Como los datos obtenidos del software Etabs v20.2 y los cálculos para los modelos dinámicos considerando interacción suelo estructura, se logró comparar cada uno de ellos observar su comportamiento estructural, derivas, fuerzas internas, etc.

4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Con los datos obtenidos del software y el cálculo matemático de los diferentes modelos dinámicos, se procesará la información con el uso de Microsoft Excel v.2016 y el uso del Programa Etabs v20.2 versión educacional, para la aplicación de los diferentes modelos dinámicos para hallar coeficientes de desplazamiento, rigidez del suelo, periodo de vibración, fuerzas internas, etc con interacción suelo estructura.

- Obtención del expediente técnico para el modelamiento y el estudio de mecánica de suelos de los pabellones E y F del SENATI - Cajamarca.
- Comparar la respuesta estructural con la N.T.P E.030 – 2018 de los pabellones “E” y “F” SENATI – Cajamarca.
- Comparar la respuesta estructural de los diferentes modelos dinámicos considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI – Cajamarca.

4.7 Equipos, materiales, insumos, etc.

Materiales e insumos:

- Útiles de escritorio.

Equipos:

- Computadora portátil.
- Impresora.
- Plotter.
- Cámara fotográfica.

4.8 Matriz de consistencia metodológica

Tabla N° 7. Matriz de consistencia

| Formulación del problema | Objetivos | Hipótesis | Variables/ categorías | Dimensiones/ factores | Indicadores / cualidades | Fuente o instrumento de recolección de datos | Metodología |
|---|--|---|--|-----------------------|---|--|--|
| ¿Cuál de los modelos dinámicos de Interacción Suelo – Estructura genera mayor respuesta estructural de los pabellones E y F del SENATI - CAJAMARCA? | <p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la Respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca usando los diferentes modelos dinámicos considerando la interacción suelo – estructura. | El modelo A.E. Sargsian genera mayor efecto de respuesta estructural considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI – Cajamarca. | Modelos dinámicos Interacción suelo - estructura. (V. independiente) | Rigidez del suelo | Coeficientes de Rigidez | Cálculo en gabinete de coeficientes. | Descriptiva No Experimental |
| | <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca considerando empotramiento en la base. Determinar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI - Cajamarca considerando interacción suelo estructura utilizando los modelos dinámicos D. D. Barkan – O. A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E. Comparar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI- Cajamarca. | | | Periodos de vibración | Ciclos / segundo | Cálculo del modelamiento o Etbas | |
| | | | | Derivas de Entrepiso | Δ_i / h_{ie} | | |
| | | | Respuesta Estructural (V. dependiente) | Fuerzas Internas | $\sigma_{resistente} / \sigma_{actuante}$ | | |

Nota: La operacionalización de variables fue elaborada en base a la información recogida y el carácter de la investigación basado en la metodología de la investigación científica. Fuente:(Hernández Sampieri et al., 2016)

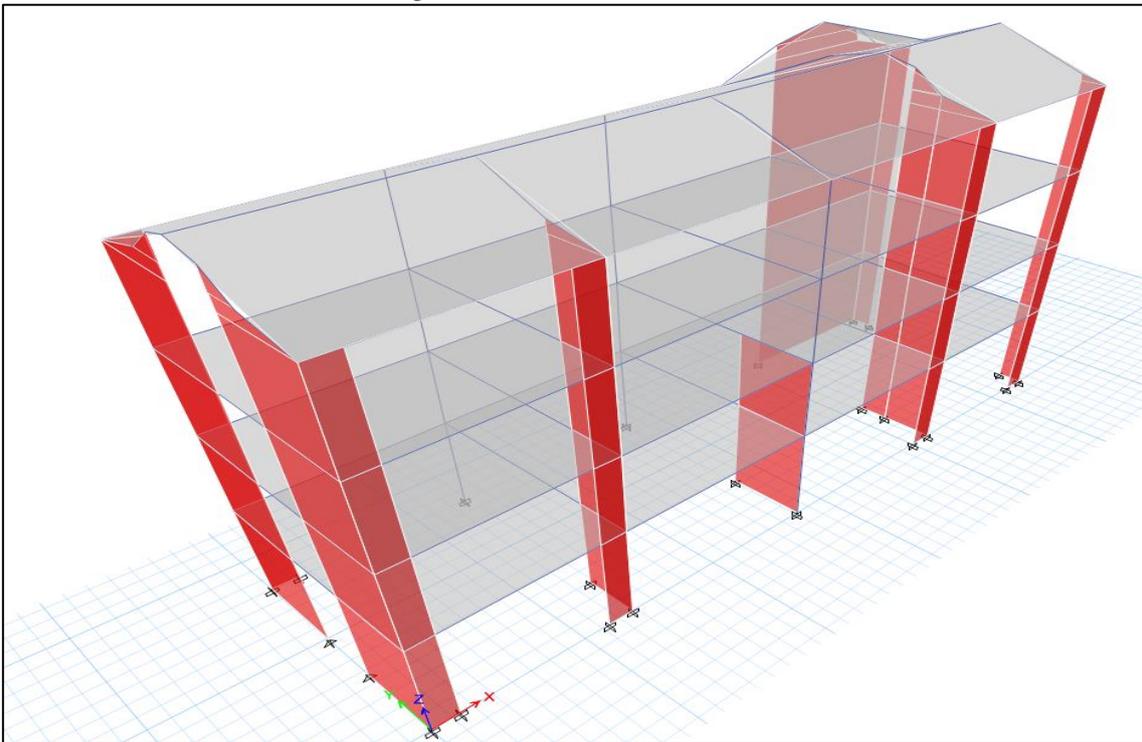
CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Presentación de resultados

Para en análisis de interacción suelo estructura se debe de analizar la estructura empotrada con un análisis modal, con las zapatas y considerando una platea por lo que en la estructura el Bloque E y F - SENATI – Cajamarca, se presenta la estructura de modelación.

Figura N° 17. Modelado 3D.



5.1.1 Análisis de modelamiento Edificio E

En el modelamiento de la estructura – Anexo N° 01, se debe de determinar si cumple con la normativa vigente siendo la actual la E.030 – diseño sismo resistente, siendo la máxima deriva 0.007.

Tabla N° 8. Derivas por piso Pabellon E.

| Story | Output Case | Direction | Drift | — |
|--------|-------------|-----------|----------|---|
| Story6 | EX | X | 0.004739 | |
| Story6 | EX | Y | 0.004292 | |
| Story4 | EX | X | 0.006578 | |
| Story4 | EX | Y | 0.006868 | |
| Story3 | EX | X | 0.006968 | |
| Story3 | EX | Y | 0.006155 | |
| Story2 | EX | X | 0.006743 | |
| Story2 | EX | Y | 0.005154 | |
| Story1 | EX | X | 0.004147 | |
| Story1 | EX | Y | 0.002771 | |

Se puede observar que cumple con la normativa con respecto a las derivas de cada piso en el pabellón E, dentro del análisis es importante calcular los esfuerzos por piso a partir de su peso obtenido de cada nivel y calcular el coeficiente de balasto de cada uno de los modelos.

Tabla N° 9. Pesos y alturas por piso – Pabellon – E.

| NIVEL | ALTURA | PESO - tn |
|---------|--------|-----------|
| NIVEL 1 | 4.6 | 103.776 |
| NIVEL 2 | 8.35 | 101.58 |
| NIVEL 3 | 12.1 | 101.58 |
| NIVEL 4 | 15.9 | 93.48 |
| NIVEL 5 | 16.5 | 15.8 |
| TOTAL | | 416.216 |

Dentro del análisis se presenta una edificación de 5 niveles con una resistencia característica de 210 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad $E_c = 218819.78 \text{ kg/cm}^2$ y un módulo de Poisson de concreto: $U_c = 0.20$, con una zona sísmica 3, Categoría de la edificación "C" y perfil de suelo "S3", para el cálculo de la interacción suelo estructura basado en los planos se considerara que la estructura posee zapatas para poder obtener respuestas de modelado en 3 tipos de zapatas de $1.80 \times 1.80 \text{ m}$, $2.00 \times 2.00 \text{ m}$ y $2.30 \times 2.30 \text{ m}$; todos por un peralte de 0.60 cm .

Por lo que es necesario calcular las zapatas las masas en los tres ejes de rotación y tres ejes de traslación, considerando la zapata como centro.

Tabla N° 10. Masa de zapata – ISE – pabellón E.

| Mx (Tn.s ² /m) | My (Tn.s ² /m) | Mz (Tn.s ² /m) | MΨx (Tn.s ² .m) | MΨy (Tn.s ² .m) | MΨz (Tn.s ² .m) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.4125 | 0.4125 | 0.6525 | 0.2775 | 0.2775 | 0.2775 |

Dentro del análisis para el cálculo de los modelos de masa y los cálculos para las zapatas se considera igual para los modelos matemáticos dinámicos de Barkan, Ilichev, Sargsian y la Norma Rusa.

Tabla N° 11. Coeficiente de rigidez para ISE – pabellón E

| Modelo Dinámico | Kx (Tn/m) | Ky (Tn/m) | Kz (Tn/m) | KΨx (Tn-m) | KΨy (Tn-m) | KΨz (Tn/m) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| BARKAN | 79100.59 | 79100.59 | 96050.7192 | 43819.0031 | 43819.0031 | 0 |
| ILICHEV | 11680.9922 | 11680.9922 | 3989.2123 | 2096.3446 | 2096.3446 | 0 |
| SARGSIAN | 1522.318 | 1522.318 | 3875.8096 | 1556.365 | 1556.365 | 0 |
| NORMA RUSA | 11371.6786 | 11371.6786 | 16245.2593 | 8772.4375 | 8772.4375 | 8772.4375 |
| WINKLER | 79250.47 | 79227.374 | 96124.9683 | 43891.4858 | 43879.7854 | 0 |

En los modelos de Barkan, Ilichev y Sargsian existe la restricción del coeficiente en la dirección “Z”, dado el giro de la rigidez solo considera las dos dimensiones, pero en la normativa Rusa considera a los 3 por lo que no posee restricciones en “Z”.

5.1.2 Análisis estático y dinámico del pabellón E

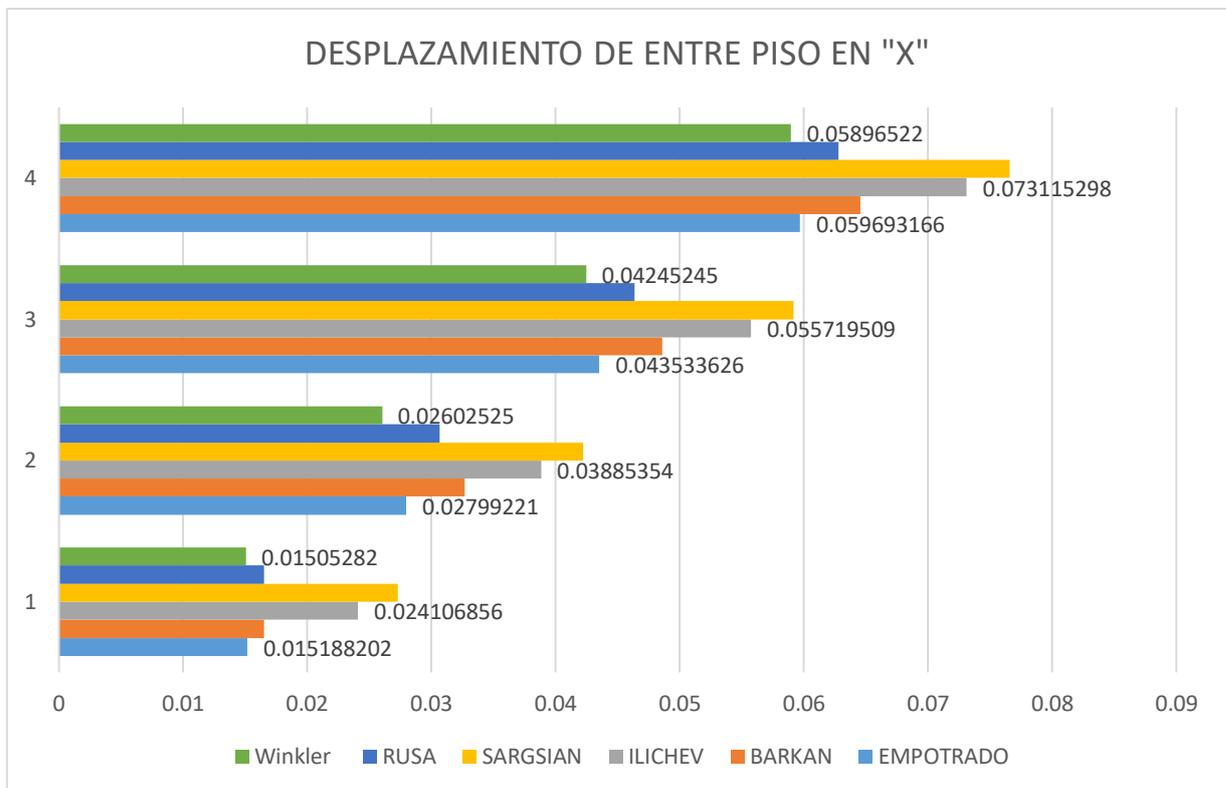
El análisis estático nos permitirá ver los desplazamientos en cada piso dado que considerando la interacción suelo estructura de cada modelo matemático observaremos los desplazamientos en base a la fuerza por nivel que posee.

Tabla N° 12. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | Winkler |
|-------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 1 | 0.015996 | 0.017391 | 0.025389 | 0.028737 | 0.017391 | 0.01505282 |
| 2 | 0.029481 | 0.03441 | 0.04092 | 0.044454 | 0.032271 | 0.02602525 |
| 3 | 0.045849 | 0.05115 | 0.058683 | 0.06231 | 0.048825 | 0.04245245 |
| 4 | 0.062868 | 0.067983 | 0.077004 | 0.080631 | 0.066123 | 0.05896522 |

Se puede observar en la tabla que los valores de empotramiento son los más bajos en el nivel 4 con valores de 0.0628m y los valores más altos es con el modelo de Sargsian con 0.080.

Figura N° 18. Desplazamiento de entre piso en “X”



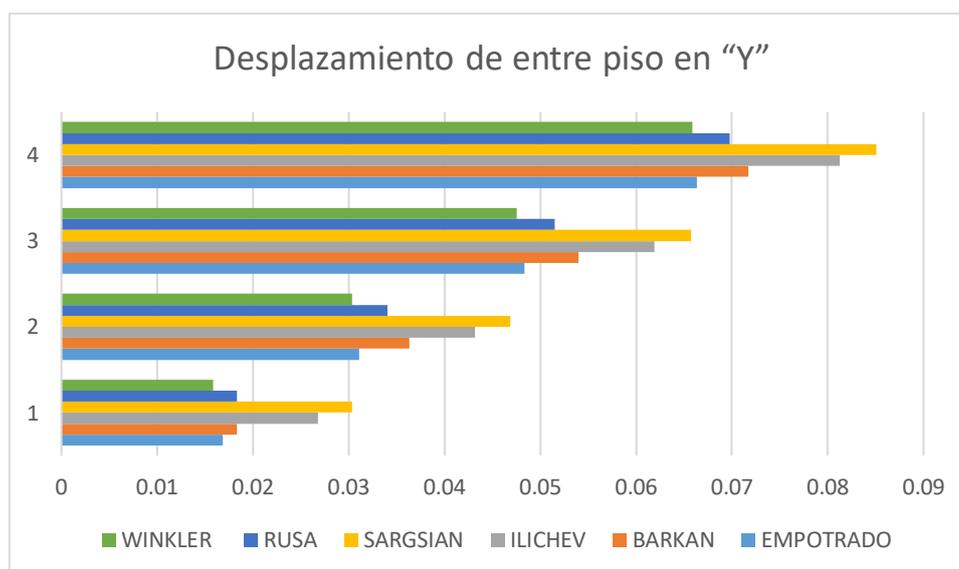
En la figura podemos observar que los valores dependen del modelo matemático por lo que el mayor desplazamiento se observa en el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.0287, 0.0444, 0.0623 y 0.080, lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.0173, 0.032, 0.048 y 0.066, mostrándonos que si existe una variación resaltante.

Tabla N° 13. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 0.0143964 | 0.0156519 | 0.0228501 | 0.0258633 | 0.0156519 | 0.0158689 |
| 2 | 0.0265329 | 0.030969 | 0.036828 | 0.0400086 | 0.0290439 | 0.03032413 |
| 3 | 0.0412641 | 0.046035 | 0.0528147 | 0.056079 | 0.0439425 | 0.04752245 |
| 4 | 0.0565812 | 0.0611847 | 0.0693036 | 0.0725679 | 0.0595107 | 0.0658542 |

Se puede observar en la tabla que los valores de empotramiento son los más bajos en el nivel 4 con valores de 0.0565 m y los valores más altos es con el modelo de Sargsian con 0.0725.

Figura N° 19. Desplazamiento de entre piso en “Y”



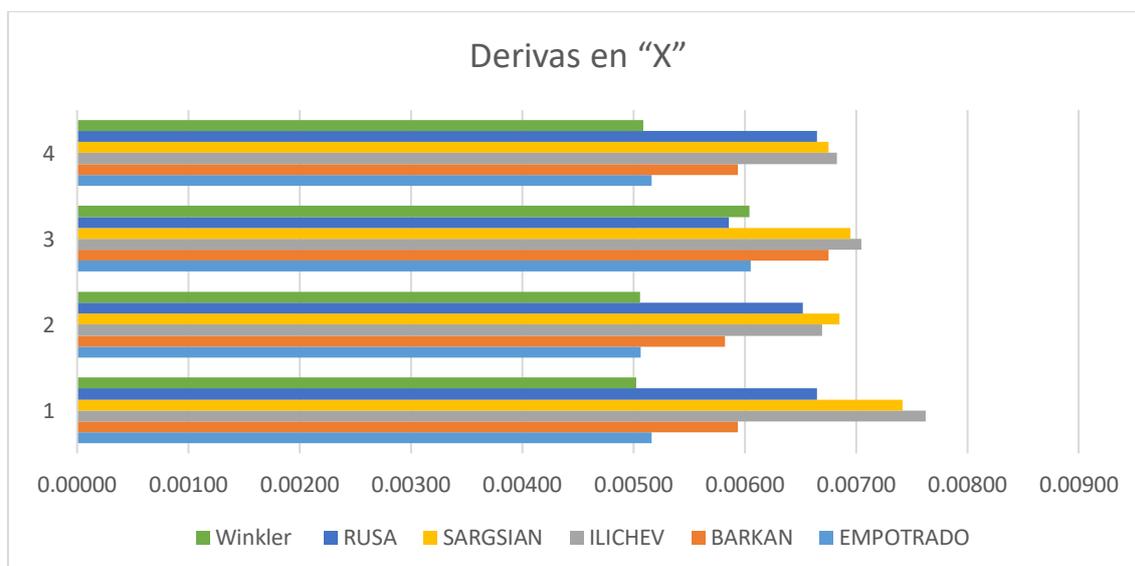
En la figura podemos observar que los valores dependen del modelo matemático por lo que el mayor desplazamiento se observa en el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.0258, 0.0400, 0.0560 y 0.0725, lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.0156, 0.029, 0.043 y 0.595, mostrándonos que si existe una variación resaltante.

Tabla N° 14. Derivas en “X”.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | Winkler |
|-------|-----------|--------|---------|----------|--------|---------|
| 1 | 0.0052 | 0.0060 | 0.0065 | 0.0071 | 0.0067 | 0.00503 |
| 2 | 0.0051 | 0.0059 | 0.0067 | 0.0069 | 0.0066 | 0.00506 |
| 3 | 0.0061 | 0.0068 | 0.0071 | 0.0070 | 0.0059 | 0.00604 |
| 4 | 0.0052 | 0.0060 | 0.0069 | 0.0068 | 0.0067 | 0.00509 |

En la tabla se muestran las derivas en la dirección “X” se puede observar que los valores de empotramiento cumplen en todos los niveles con el mayor valor de 0.0061 en el nivel 3 para Barkan ocurre lo mismo con un valor de 0.0068 en el nivel 3, para Ilichev se observa que no cumple en el nivel 3 con un valor de 0.0071, para Sargsian no cumple en el nivel 1 con 0.0071 y en el nivel 3 con 0.0070 y la norma rusa cumple en todos los niveles.

Figura N° 20. Derivas en “X”



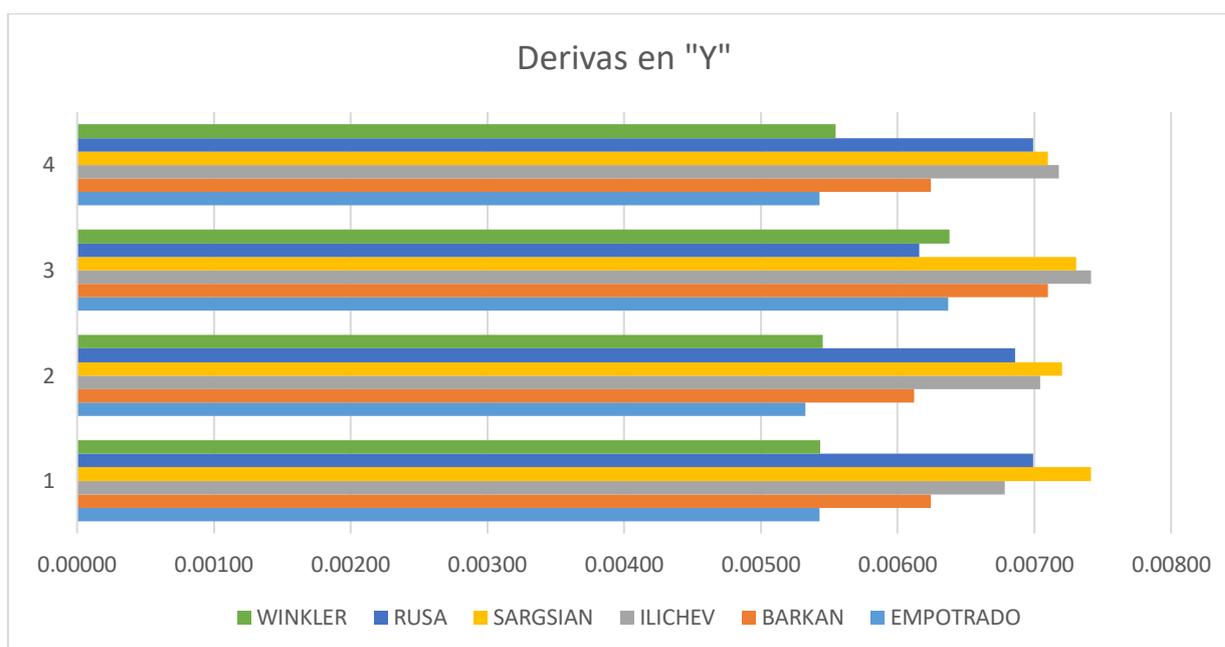
En la figura se puede observar que los valores que superan lo permitido de 0.007 son en el nivel 1 con Sargsian y el nivel 3 con 0.0070 de Sargsian y 0.0071 con Ilichev.

Tabla N° 15. Derivas en “Y”.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-----------|--------|---------|----------|--------|---------|
| 1 | 0.0049 | 0.0057 | 0.0073 | 0.0071 | 0.0064 | 0.00544 |
| 2 | 0.0048 | 0.0056 | 0.0064 | 0.0066 | 0.0062 | 0.00545 |
| 3 | 0.0058 | 0.0065 | 0.0067 | 0.0067 | 0.0056 | 0.00638 |
| 4 | 0.0049 | 0.0057 | 0.0065 | 0.0065 | 0.0064 | 0.00555 |

En la tabla se muestran las derivas en la dirección “Y” se puede observar que los valores de empotramiento cumplen en todos los niveles y el mayor valor de 0.0073 en el nivel 1 para Ilichev ocurre lo mismo con un valor de 0.0071 en el nivel 1 para Sargsian, para los demás valores y modelos cumple con tener un valor menor a 0.007.

Figura N° 21. Derivas en “Y”



La figura nos muestra que en la dirección “Y” nos muestra que en el nivel 1 no cumple con el modelo de Ilichev y Sargsian con valores de 0.0073 y 0.071 respectivamente, para los demás modelos cumplen con el valor menor de 0.007 y en la Dirección “Y” solo el modelo de Sargsian no cumple con lo permitido.

5.1.3 Fuerzas internas pabellón E

Para el análisis de las fuerzas internas tomaremos la zona más crítica o donde aparecen mayores valores de fuerzas internas en el modelo donde es el labe 30.

Figura N° 22. Análisis de elemento de fuerzas internas.

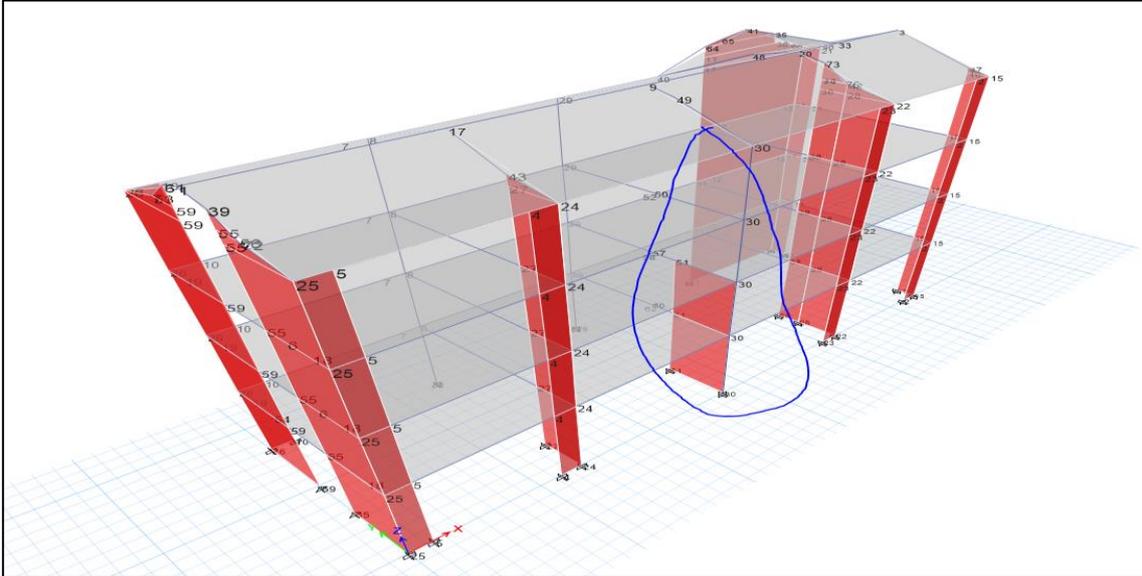
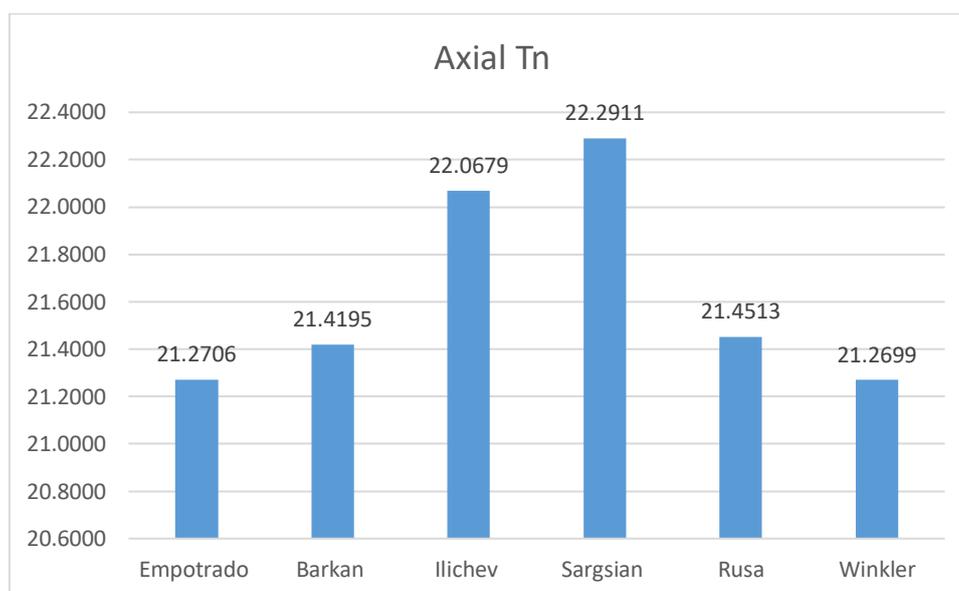


Tabla N° 16. Fuerza Axial – Labe 30.

| LABE | MODELO | Axial Tn | % VARIACIÓN |
|------|-----------|----------|-------------|
| 30 | Empotrado | 20.01 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 20.15 | 100.70% |
| 30 | Ilichev | 20.76 | 103.75% |
| 30 | Sargsian | 20.97 | 104.80% |
| 30 | Rusa | 20.18 | 100.85% |
| 30 | Winkler | 21.2699 | 100.00% |

Se puede observar que la fuerza axial en el empotramiento en el labe 30 es de 20.01 tn, como se analiza sin considerar la interacción suelo estructura, para Barkan aumenta en 0.70%, Ilichev en 3.75%, Sargsian en 4.80% con respecto a los 20.01 tn del análisis de empotrado.

Figura N° 23. Fuerza Axial – Labe 30.



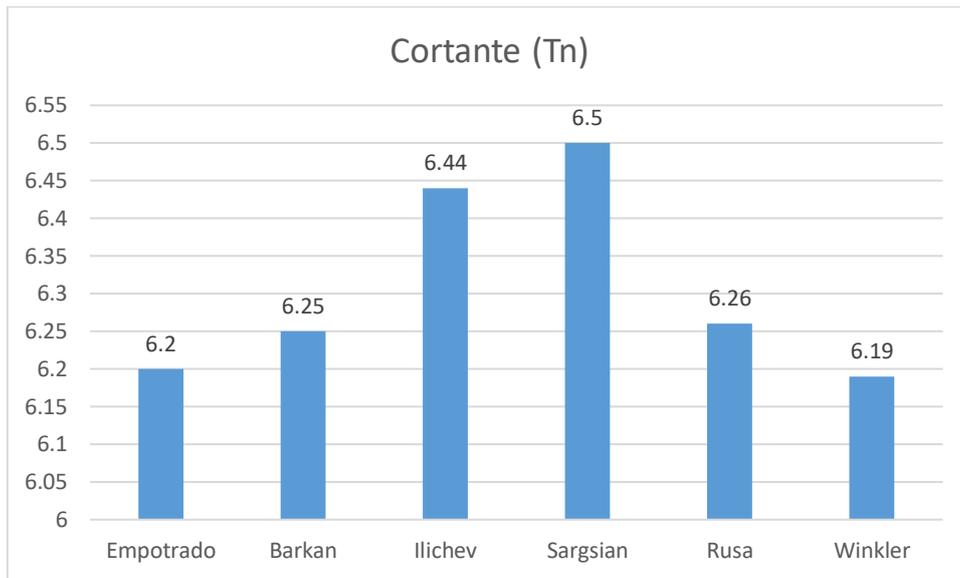
Se puede observar en la figura que la fuerza axial interna no es tan considerable en su aumento tomando los mayores valores en el modelo de Sargsian con 20.97 tn y Ilichev con 20.76 tn.

Tabla N° 17. Fuerza Cortante – Labe 30.

| LABE | MODELO | Cortante (Tn) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|---------------|-------------|
| 30 | Empotrado | 6.20 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 6.25 | 100.81% |
| 30 | Ilichev | 6.44 | 103.87% |
| 30 | Sargsian | 6.50 | 104.83% |
| 30 | Rusa | 6.26 | 100.97% |
| 30 | Winkler | 6.19 | 100.00% |

Se puede observar que en el modelo de empotrado tenemos una cortante de 6.20 tn y tomando como base ese valor los demás modelos matemáticos presentan un crecimiento en Barkan de 0.70%, Ilichev de 3.75%, Sargsian 4.80% y la norma rusa en 0.85%.

Figura N° 24. Cortante – Labe 30.



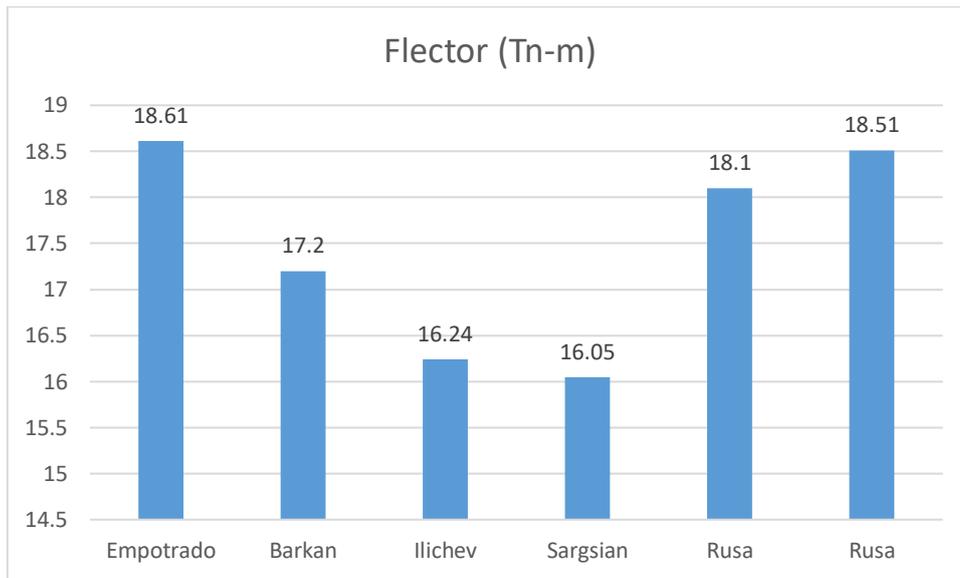
Se puede observar en la figura que los mayores valores son de Ilichev con 6.44 tn y Sargsian con 6.50 tn, siendo el menor valor de empotrado de 6.20 tn.

Tabla N° 18. Momento flector – Labe 30.

| LABE | MODELO | Flector (Tn-m) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|----------------|----------------|
| 30 | Empotrado | 18.61 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 17.20 | 92.43% |
| 30 | Ilichev | 16.24 | 87.27% |
| 30 | Sargsian | 16.05 | 86.25% |
| 30 | Rusa | 18.10 | 97.26% |
| 30 | Winkler | 18.51 | 99.46% |

Se puede observar que en la tabla la variación del momento flector se puede observar que los valores en el sistema de empotrado tienen mayor valor con respecto a los otros modelos presentados siendo el menor valor el modelo de Sargsian con 16.05 tn-m y el mayor valor de 18.61 tn-m en el empotrado.

Figura N° 25. Flector – Labe 30.



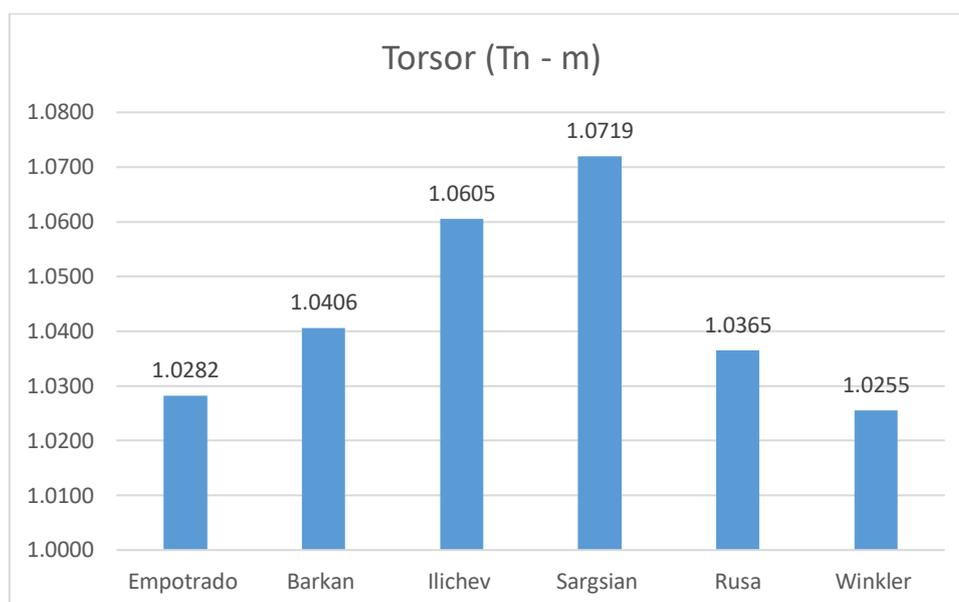
En la figura se puede observar que el sistema de empotrado tiene un valor de 18.61 y va disminuyendo con 18.10 modelo Ruso, 17.20 modelo Barkan, 16.24 modelo Ilichev y 16.05 Modelo Sargsian.

Tabla N° 19. Momento Torsor – Labe 30.

| LABE | MODELO | Torsor (Tn - m) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|-----------------|----------------|
| 30 | Empotrado | 0.9751 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 0.9868 | 101.20% |
| 30 | Ilichev | 1.0057 | 103.14% |
| 30 | Sargsian | 1.0165 | 104.25% |
| 30 | Rusa | 0.9829 | 100.80% |
| 30 | Winkler | 1.0255 | 100.00% |

En la tabla se puede observar que el sistema empotramiento con 0.97 tn-m representa el 100.00, para Barkan con 0.9868 tn-m representa el 101.20%, para Ilichev con 1.0057 tn-m con 103.14%, para Sargsian con 1.0165 con 104.25% y la Norma Rusa con 0.9829% con 100.80%.

Figura N° 26. Torsor – Labe 30.



Se puede observar en la figura que el sistema de empotramiento es el que tiene menor torsión con 0.9751 tn-m y el máximo valor con 1.0165 tn-m con el modelo Sargsian.

5.1.4 Análisis dinámico con espectro de aceleración.

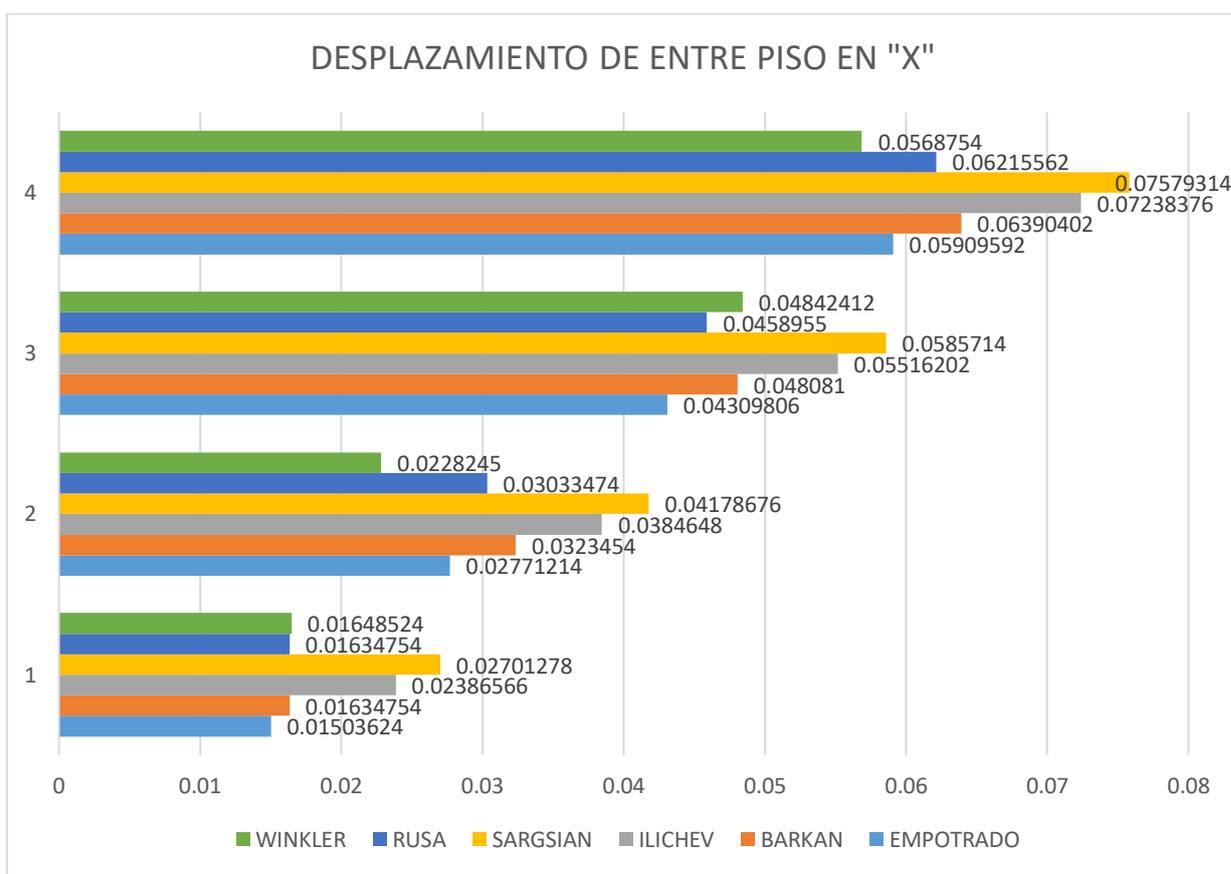
Para el análisis con espectro de aceleración basado en la normativa E.030, con las características que posee la estructura y en el cumplimiento del mismo para el calculo del espectro de diseño para la zona de Cajamarca con el tipo de suelo S3, mostrado en el Anexo 01 – modelamiento de la estructura.

Tabla N° 20. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.01503624 | 0.01634754 | 0.02386566 | 0.02701278 | 0.01634754 | 0.01648524 |
| 2 | 0.02771214 | 0.0323454 | 0.0384648 | 0.04178676 | 0.03033474 | 0.0228245 |
| 3 | 0.04309806 | 0.048081 | 0.05516202 | 0.0585714 | 0.0458955 | 0.04842412 |
| 4 | 0.05909592 | 0.06390402 | 0.07238376 | 0.07579314 | 0.06215562 | 0.0568754 |

Se puede observar que los valores más significativos se encuentran con el modelo de Ilichev y Sargsian con un valor de 0.0723 y 0.0757 respectivamente y en los valores de empotramiento con 0.0590 y la norma Rusa con 0.06215.

Figura N° 27. Desplazamiento de entre piso en "X"



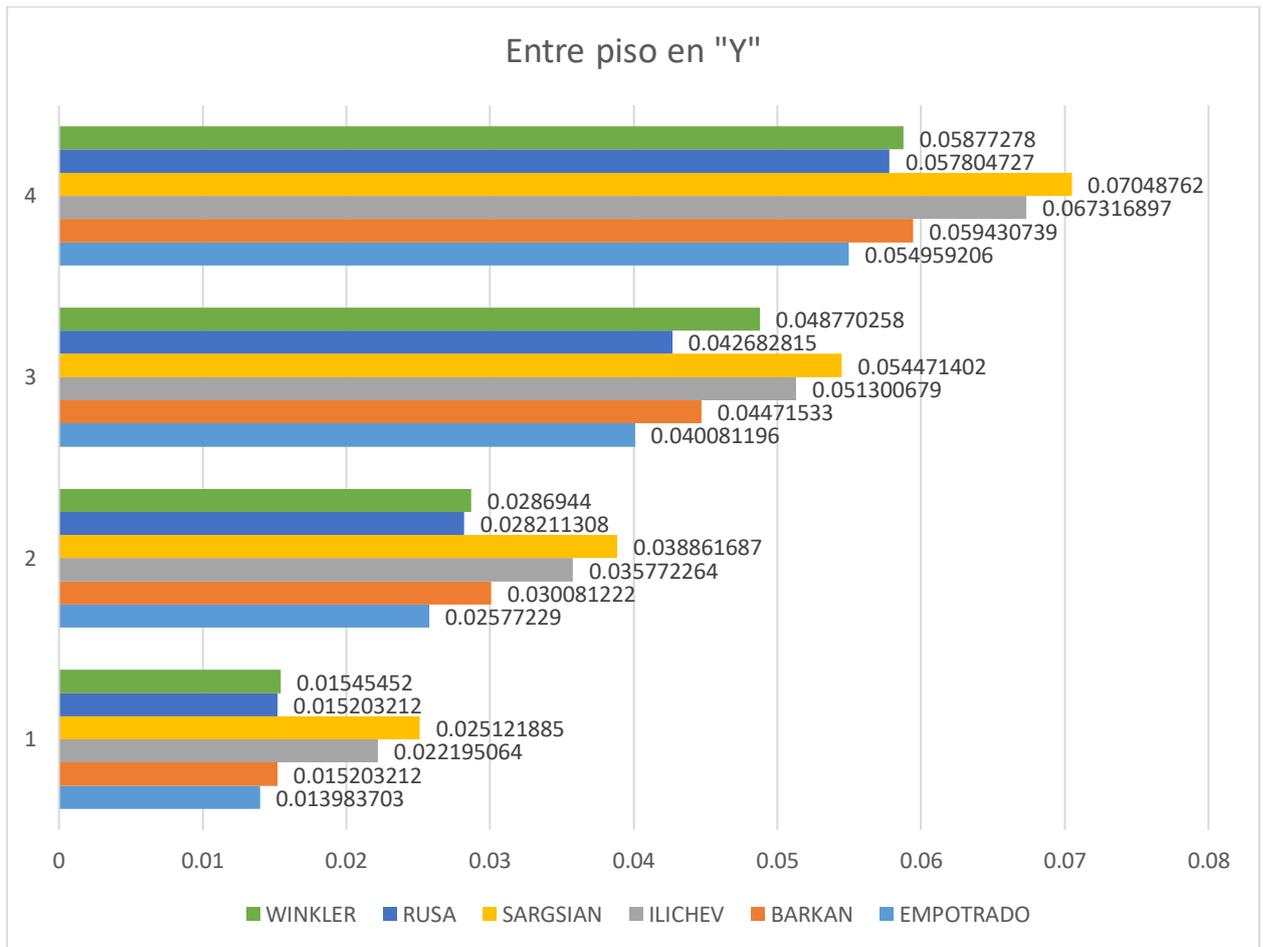
En la figura nos muestra que los máximos desplazamientos se dan desde el nivel 1 hasta el 4, con los valores de 0.02701, 0.0417, 0.0585 y 0.07579 con el modelo Sargsian y para el modelo Ilichev desde el nivel 1 hasta el 4 con los valores 0.0238, 0.03846, 0.05516 y 0.0723 con el modelo Ilichev.

Tabla N° 21. Desplazamiento de entre piso en dirección "Y" en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0.013983703 | 0.015203212 | 0.022195064 | 0.025121885 | 0.015203212 | 0.01545452 |
| 2 | 0.02577229 | 0.030081222 | 0.035772264 | 0.038861687 | 0.028211308 | 0.0286944 |
| 3 | 0.040081196 | 0.04471533 | 0.051300679 | 0.054471402 | 0.042682815 | 0.048770258 |
| 4 | 0.054959206 | 0.059430739 | 0.067316897 | 0.07048762 | 0.057804727 | 0.05877278 |

Se puede observar que los valores más bajos son los de empotramiento en el nivel 4 con 0.0549, Barkan con 0.0594, Ilichev con 0.0673, Sargsian con 0.0704 y Rusa con 0.0578; por lo que en el modelo de Ilichev y Sargsian son mayores al modelo de análisis tradicional en el empotrado.

Figura N° 28. Desplazamiento de entre piso en "Y"



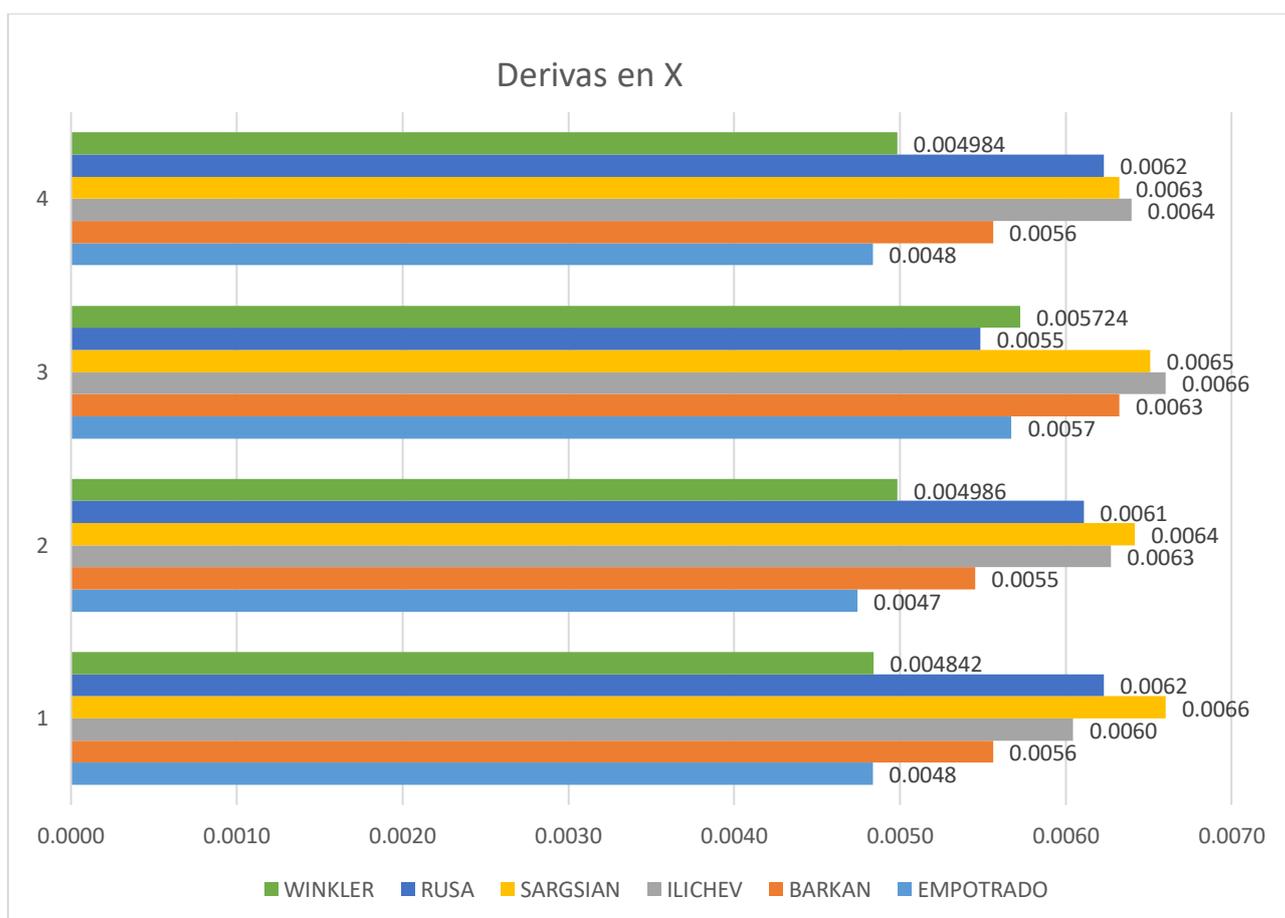
En la figura podemos observar que los valores dependen del modelo matemático por lo que el mayor desplazamiento se observa en el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.02512, 0.03886, 0.0544 Y 0.07048 lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.0152, 0.0282, 0.0426 y 0.0578, mostrándonos que si existe una variación resaltante.

Tabla N° 22. Derivas en “X”.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-----------|--------|---------|----------|--------|----------|
| 1 | 0.0048 | 0.0056 | 0.0060 | 0.0066 | 0.0062 | 0.004842 |
| 2 | 0.0047 | 0.0055 | 0.0063 | 0.0064 | 0.0061 | 0.004986 |
| 3 | 0.0057 | 0.0063 | 0.0066 | 0.0065 | 0.0055 | 0.005724 |
| 4 | 0.0048 | 0.0056 | 0.0064 | 0.0063 | 0.0062 | 0.004984 |

En la tabla se muestran las derivas en la dirección “X” se puede observar que los valores de empotramiento cumplen en todos los niveles son menores de 0.007, por lo que cumple con la normativa observando que los valores más cercanos son de Sargsian con 0.063, Ilichev con 0.0064 , la norma Rusa con 0.0062 a diferencia del modelo empotramiento y Barkan que no llegan el valor de 0.0060.

Figura N° 29. Derivas en “X”



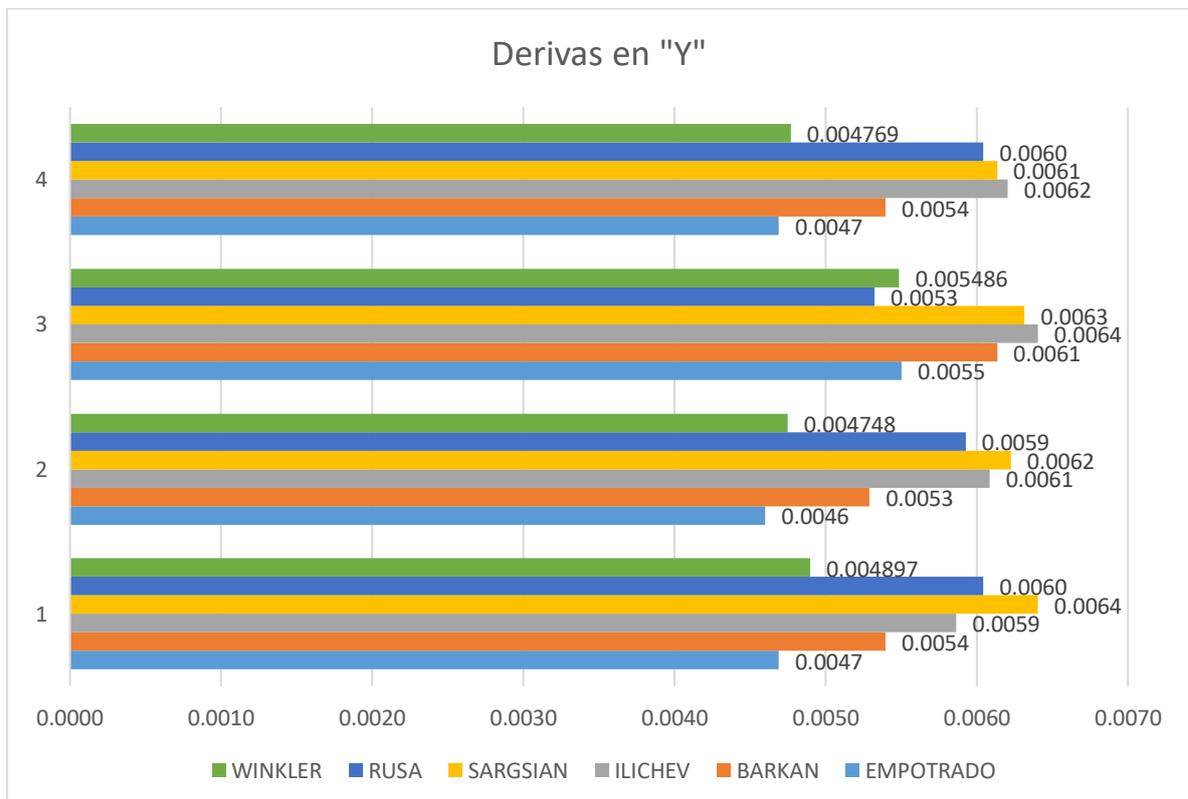
La figura nos muestra que ningún modelo y el sistema empotramiento no superan lo permitido por lo que cumple con la normativa E.030 y los máximos valores son del modelo Sargsian con 0.0063 y Ilichev con 0.0066.

Tabla N° 23. Derivas en “Y”.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-----------|--------|---------|----------|--------|----------|
| 1 | 0.0047 | 0.0054 | 0.0059 | 0.0064 | 0.0060 | 0.004897 |
| 2 | 0.0046 | 0.0053 | 0.0061 | 0.0062 | 0.0059 | 0.004748 |
| 3 | 0.0055 | 0.0061 | 0.0064 | 0.0063 | 0.0053 | 0.005486 |
| 4 | 0.0047 | 0.0054 | 0.0062 | 0.0061 | 0.0060 | 0.004769 |

En las derivas en la dirección “Y” se puede observar que los valores máximos en el nivel 4 son 0.0055 en el empotramiento, 0.0061 en Barkan, 0.0064 en Ilichev, 0.0063 con Sargsian y 0.0053 en la normativa rusa 0.0053.

Figura N° 30. Derivas en “Y”



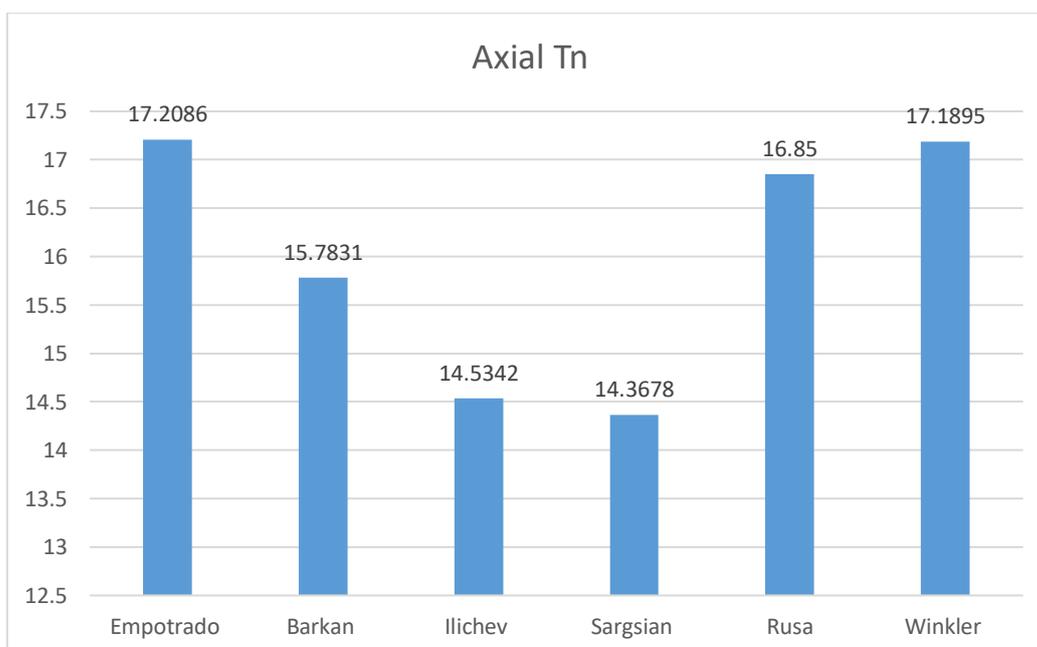
La figura nos muestra que los modelos no superan los valores de 0.0070, siendo los máximos valores de 0.0064 con el modelo de Sargsian y Ilichev con 0.0064.

Tabla N° 24. Fuerza Axial – Labe 30.

| LABE | MODELO | Axial Tn | % VARIACIÓN |
|-------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 30 | Empotrado | 17.2086 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 15.7831 | 91.72% |
| 30 | Ilichev | 14.5342 | 84.46% |
| 30 | Sargsian | 14.3678 | 83.49% |
| 30 | Rusa | 16.85 | 97.92% |
| 30 | Winkler | 17.1895 | 99.89% |

Se puede observar que en el sistema de empotramiento con 17.2086 tn, tomándolo con un 100.00%, en Sargsian con 14.36 con 83.49%, Ilichev con 14.53 con 84.46%, Barkan con 15.78 tn a 91.72% y la norma rusa con 16.85% a 97.92%.

Figura N° 31. Fuerza Axial – Labe 30.



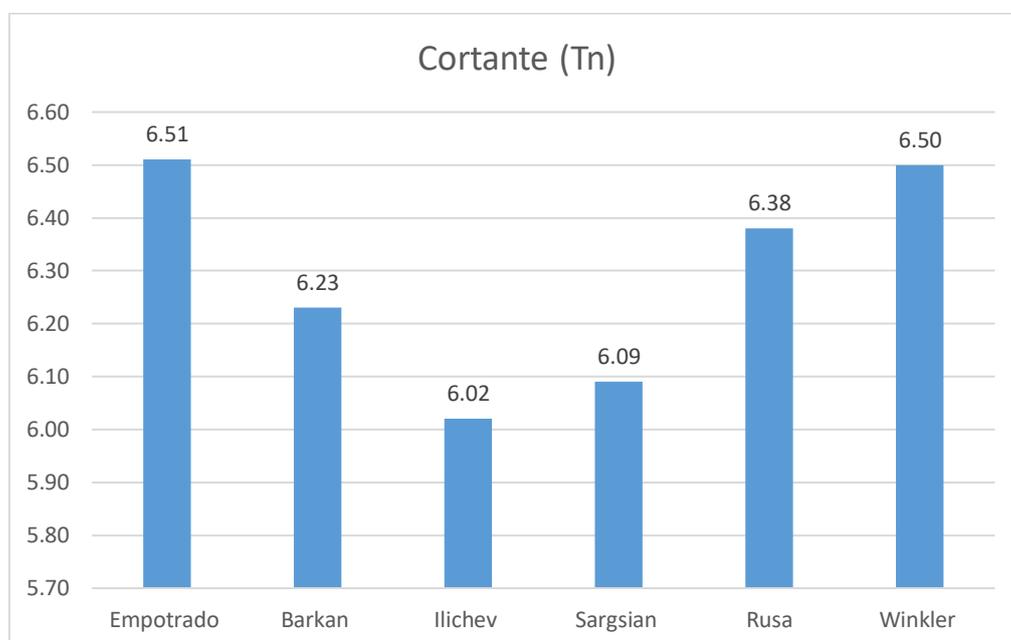
En la figura se muestra que a partir del sistema de empotramiento con un valor de 17.20 tn, bajando la fuerza axial con la norma rusa con 16.85 tn, Barkan con 15.78 tn, Ilichev con 14.53 tn y con 14.36 tn con Sargsian lo que nos muestra que los valores de fuerza axial van disminuyendo.

Tabla N° 25. Fuerza Cortante – Labe 30.

| LABE | MODELO | Cortante (Tn) | % VARIACIÓN |
|-------------|---------------|----------------------|--------------------|
| 30 | Empotrado | 6.20 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 6.25 | 100.81% |
| 30 | Ilichev | 6.44 | 103.87% |
| 30 | Sargsian | 6.50 | 104.84% |
| 30 | Rusa | 6.26 | 100.97% |
| 30 | Winkler | 6.50 | 99.85% |

En la tabla se muestran los valores de cortante empotrado con 6.51 tn, Barkan con 6.23 tn, Ilichev con 6.02 tn, Sargsian con 6.09 tn y la norma rusa con 6.38 tn.

Figura N° 32. Cortante – Labe 30.



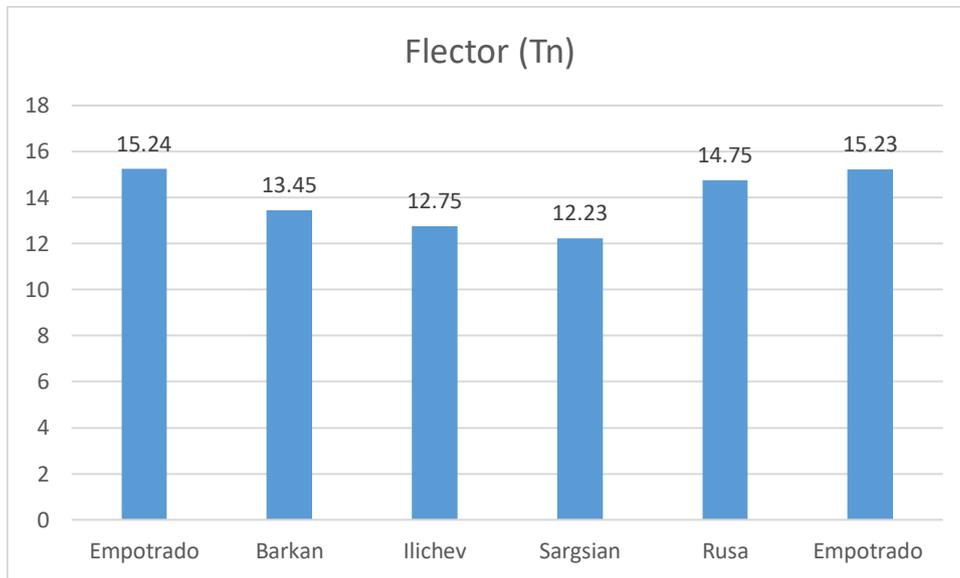
Se puede observar que el cortante aumentan siendo un valor considerable en Ilichev 6.44 y Sargsian con 6.50 tn, por lo que se observa que la cortante va aumentando, dependiendo del modelo matemático.

Tabla N° 26. Momento flector – Labe 30.

| LABE | MODELO | Flector (Tn) | % VARIACIÓN |
|-------------|---------------|---------------------|--------------------|
| 30 | Empotrado | 15.24 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 13.45 | 88.25% |
| 30 | Ilichev | 12.75 | 83.66% |
| 30 | Sargsian | 12.23 | 80.25% |
| 30 | Rusa | 14.75 | 96.78% |
| 30 | Winkler | 15.23 | 99.93% |

Se puede observar que el momento flector disminuye según el modelo matemático en el empotrado con 15.24 tn, Barkan con 13.45 tn, Ilichev con 12.75 tn, Sargsian con 12.23 tn y Rusa con 14.75 tn.

Figura N° 33. Flector – Labe 30.



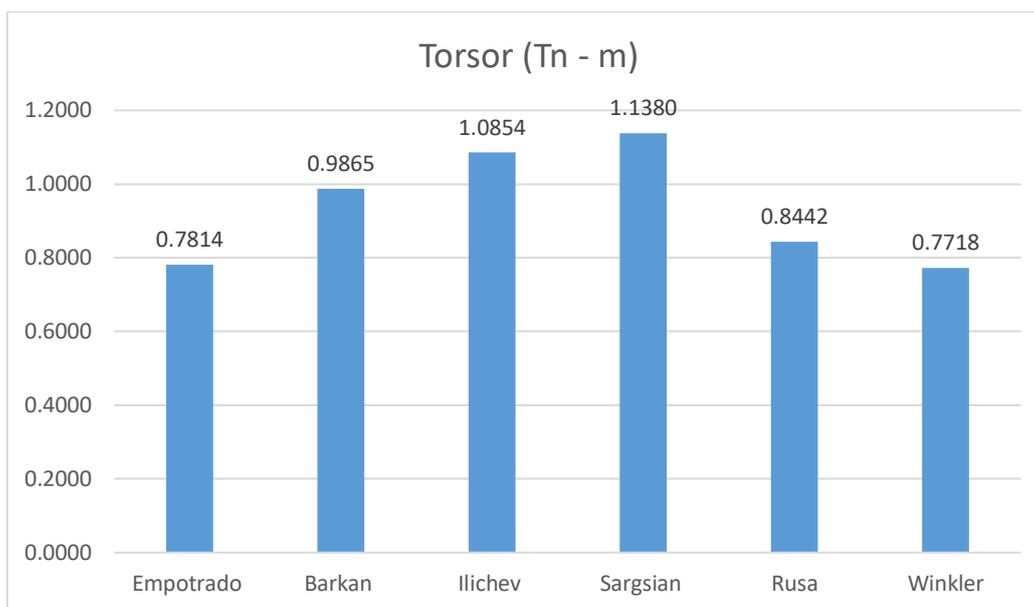
Se observa que el momento flector disminuye dependiendo del modelo matemático siendo el valor más alto con 15.24 tn en empotrado y el valor más bajo con 12.23 tn con Sargsian.

Tabla N° 27. Momento Torsor – Labe 30.

| LABE | MODELO | Torsor (Tn - m) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|-----------------|----------------|
| 30 | Empotrado | 0.7814 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 0.9865 | 126.25% |
| 30 | Ilichev | 1.0854 | 138.90% |
| 30 | Sargsian | 1.1380 | 145.64% |
| 30 | Rusa | 0.8442 | 108.04% |
| 30 | Winkler | 0.7718 | 100.00% |

Se observa que la torsión para empotramiento es de 0.7814 tn-m, Barkan con 0.9865 tn-m, Ilichev con 1.0854 tn-m, Sargsian con 1.1380 tn-m y Rusa con 0.8442 tn-m.

Figura N° 34. Torsor – Labe 30.



Se puede observar en la figura que los valores de Torsión van aumentando, dependiendo del modelo siendo el valor máximo es de 1.1380 tn-m en Sargsian y 1.0854 tn-m en Ilichev.

5.1.5 Análisis de modelamiento Edificio F

En el modelamiento de la estructura – Anexo N° 01, se debe de determinar si cumple con la normativa vigente siendo la actual la E.030 – diseño sismo resistente, siendo la máxima deriva 0.007.

Tabla N° 28. Derivas por piso pabellón F

| Story | Output Case | Direction | Drift |
|--------|-------------|-----------|------------|
| Story6 | EX | X | 0.004586 |
| Story6 | EX | Y | 0.004358 |
| Story4 | EX | X | 0.005843 |
| Story4 | EX | Y | 0.0057842 |
| Story3 | EX | X | 0.00528456 |
| Story3 | EX | Y | 0.0065894 |
| Story2 | EX | X | 0.0061524 |
| Story2 | EX | Y | 0.00524646 |
| Story1 | EX | X | 0.00456423 |
| Story1 | EX | Y | 0.0034545 |

Se puede observar que cumple con la normativa con respecto a las derivas de cada piso en el pabellón F, dentro del análisis es importante calcular los esfuerzos por piso a partir de su peso obtenido de cada nivel y calcular el coeficiente de balasto de cada uno de los modelos.

Tabla N° 29. Pesos y alturas por piso – pabellón – F.

| NIVEL | ALTURA | PESO - tn |
|---------|--------|-----------|
| NIVEL 1 | 4.6 | 102.554 |
| NIVEL 2 | 8.35 | 100.57 |
| NIVEL 3 | 12.1 | 100.57 |
| NIVEL 4 | 15.9 | 92.54 |
| NIVEL 5 | 16.5 | 15.07 |
| TOTAL | | 411.304 |

Dentro del análisis se presenta una edificación de 5 niveles con una resistencia característica de 210 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad $E_c = 218819.78 \text{ kg/cm}^2$ y un módulo de Poisson de concreto: $U_c = 0.20$, con una zona sísmica 3, Categoría de la edificación "C" y perfil de suelo "S3", para el cálculo de la interacción suelo estructura basado en los planos se considerara que la estructura posee zapatas para poder obtener respuestas de modelado en 3 tipos de zapatas de $1.80 \times 1.80 \text{ m}$, $2.00 \times 2.00 \text{ m}$ y $2.30 \times 2.30 \text{ m}$; todos por un peralte de 0.60 cm .

Por lo que es necesario calcular las zapatas las masas en los tres ejes de rotación y tres ejes de traslación, considerando la zapata como centro.

Tabla N° 30. Masa de zapata – ISE – pabellón F.

| M_x (Tn.s ² /m) | M_y (Tn.s ² /m) | M_z (Tn.s ² /m) | $M\Psi_x$ (Tn.s ² .m) | $M\Psi_y$ (Tn.s ² .m) | $M\Psi_z$ (Tn.s ² .m) |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0.4035 | 0.40548 | 0.6452 | 0.26854 | 0.26845 | 0.26985 |

Dentro del análisis para el cálculo de los modelos de masa y los cálculos para las zapatas se considera igual para los modelos matemáticos dinámicos de Barkan, Ilichev, Sargsian y la Norma Rusa.

Tabla N° 31. Coeficiente de rigidez para ISE – pabellón F

| Modelo | Kx | Ky | Kz | KΨx | KΨy | KΨz |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Dinámico | (Tn/m) | (Tn/m) | (Tn/m) | (Tn-m) | (Tn-m) | (Tn/m) |
| BARKAN | 79115.75 | 79118.33 | 96057.7548 | 43820.0234 | 43820.0578 | 0 |
| ILICHEV | 11681.8444 | 11681.8426 | 3990.2542 | 2097.8424 | 2097.34468 | 0 |
| SARGSIAN | 1523.4512 | 1523.2845 | 3876.4852 | 1557.9684 | 1557.8424 | 0 |
| NORMA RUSA | 11372.4582 | 11372.4582 | 16246.8424 | 8773.1302 | 8773.1302 | 8773.1302 |
| WINKLER | 79250.47 | 79227.374 | 96124.9683 | 43891.4858 | 43879.7854 | 0 |

En los modelos de Barkan, Ilichev y Sargsian existe la restricción del coeficiente en la dirección “Z”, dado el giro de la rigidez solo considera las dos dimensiones, pero en la normativa Rusa considera a los 3 por lo que no posee restricciones en “Z”.

5.1.6 Análisis estático y dinámico del pabellón F

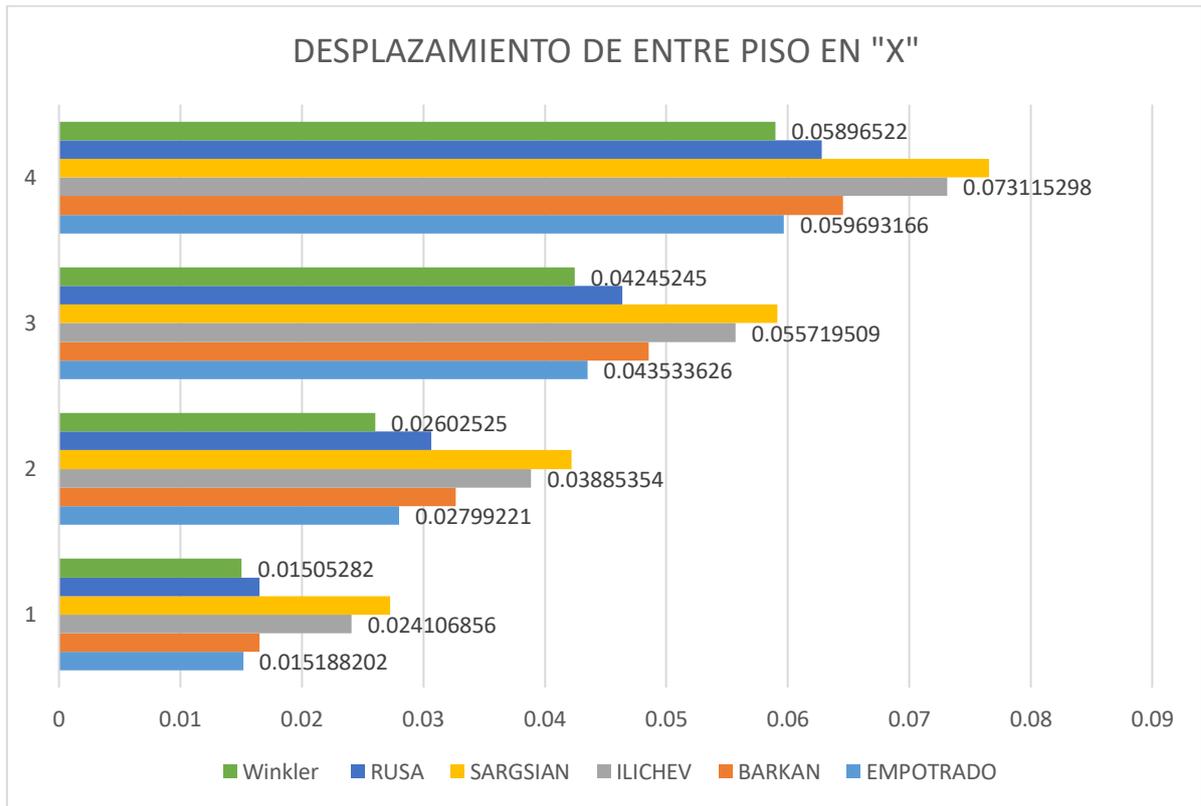
El análisis estático nos permitirá ver los desplazamientos en cada piso dado que considerando la interacción suelo estructura de cada modelo matemático observaremos los desplazamientos en base a la fuerza por nivel que posee.

Tabla N° 32. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | Winkler |
|-------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.015188202 | 0.016512755 | 0.024106856 | 0.02728578 | 0.01651275 | 0.01505282 |
| 2 | 0.02799221 | 0.032672295 | 0.03885354 | 0.04220907 | 0.03064131 | 0.02602525 |
| 3 | 0.043533626 | 0.048566925 | 0.055719509 | 0.05916335 | 0.04635934 | 0.04245245 |
| 4 | 0.059693166 | 0.064549859 | 0.073115298 | 0.07655913 | 0.06278379 | 0.05896522 |

Se puede observar en la tabla que los valores de empotramiento son los más bajos en el nivel 4 con valores de 0.04353m y los valores más altos es con el modelo de Sargsian con 0.076559.

Figura N° 35. Desplazamiento de entre piso en “X”



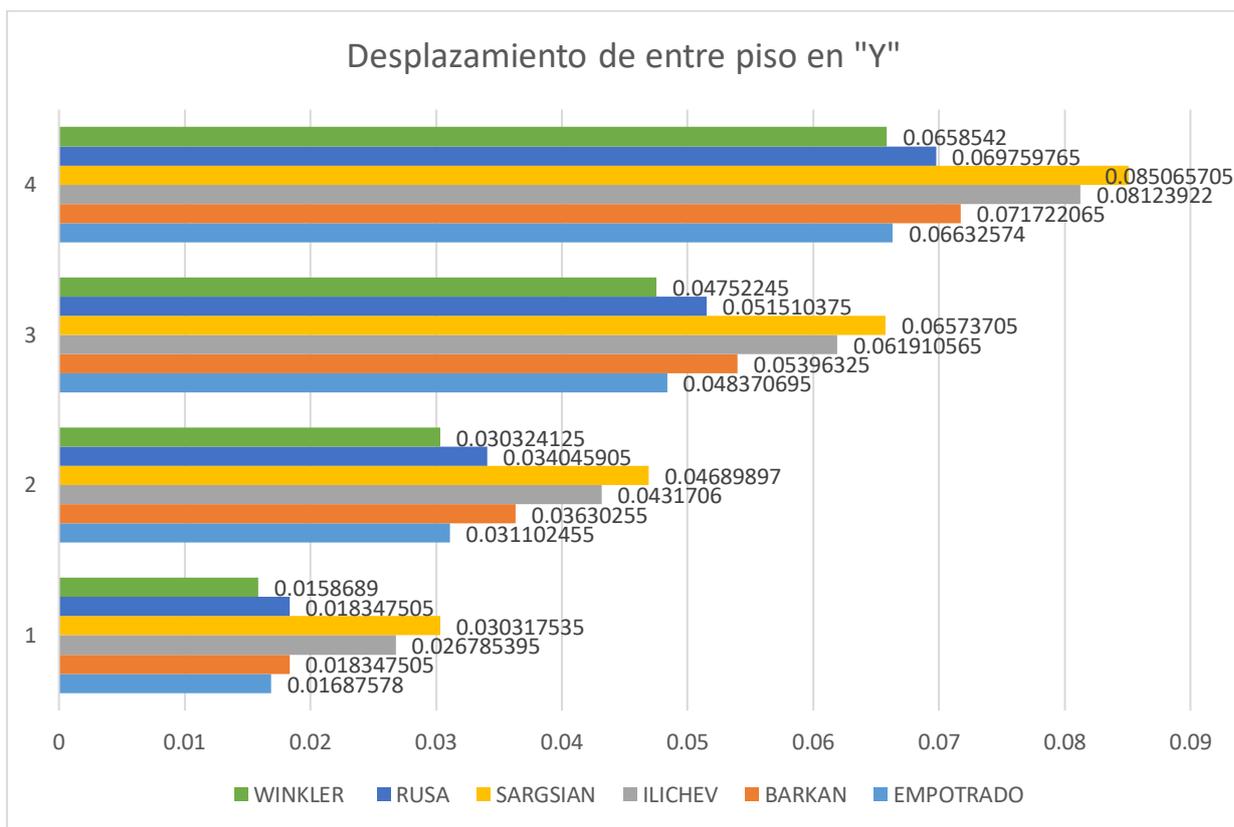
En la figura podemos observar que los valores dependen del modelo matemático por lo que el mayor desplazamiento se observa en el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.02728, 0.0422, 0.05916 y 0.07655, lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.01518, 0.02799, 0.04353 y 0.0596, mostrándonos que si existe una variación resaltante.

Tabla N° 33. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.01687578 | 0.018347505 | 0.026785395 | 0.03031754 | 0.01834751 | 0.0158689 |
| 2 | 0.031102455 | 0.03630255 | 0.0431706 | 0.04689897 | 0.03404591 | 0.03032413 |
| 3 | 0.048370695 | 0.05396325 | 0.061910565 | 0.06573705 | 0.05151038 | 0.04752245 |
| 4 | 0.06632574 | 0.071722065 | 0.08123922 | 0.08506571 | 0.06975977 | 0.0658542 |

Se puede observar en la tabla que los valores de empotramiento son los más bajos en el nivel 2 con 0.0311 m y los valores más altos es con el modelo de Sargsian con 0.0850.

Figura N° 36. Desplazamiento de entre piso en "Y"



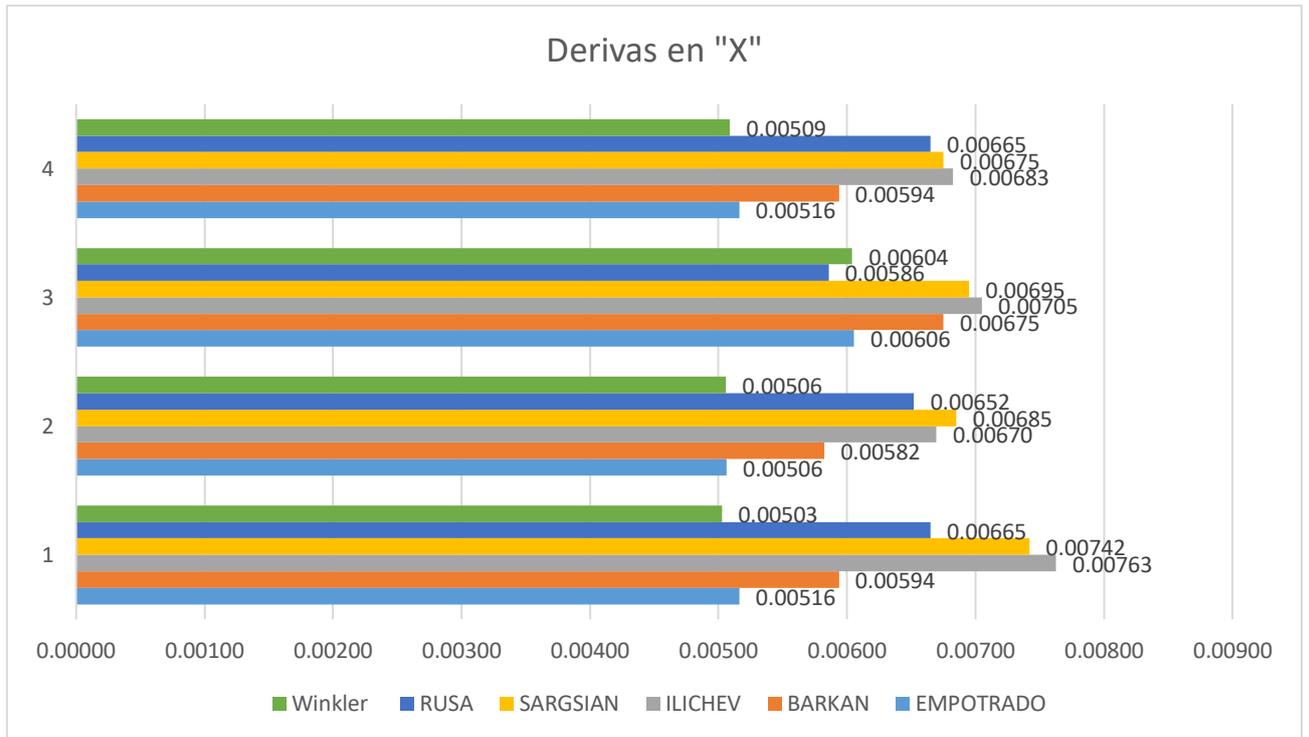
En la figura podemos observar que los valores dependen del modelo matemático por lo que el mayor desplazamiento se observa en el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.03031754, 0.04689897, 0.06573705 y 0.08506571, lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.01687578, 0.031102455, 0.048370695 y 0.06632574, mostrándonos que si existe una variación resaltante.

Tabla N° 34. Derivas en "X".

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | Winkler |
|-------|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 1 | 0.00516 | 0.00594 | 0.00763 | 0.00742 | 0.00665 | 0.00503 |
| 2 | 0.00506 | 0.00582 | 0.00670 | 0.00685 | 0.00652 | 0.00506 |
| 3 | 0.00606 | 0.00675 | 0.00705 | 0.00695 | 0.00586 | 0.00604 |
| 4 | 0.00516 | 0.00594 | 0.00683 | 0.00675 | 0.00665 | 0.00509 |

En la tabla se muestran las derivas en la dirección “X” se puede observar que los valores de empotramiento cumplen en todos los niveles con el mayor valor de 0.00606, en cambio para Ilichev no llega a cumplir con valor de 0.00763, como también por Sargsian.

Figura N° 37. Derivas en “X”



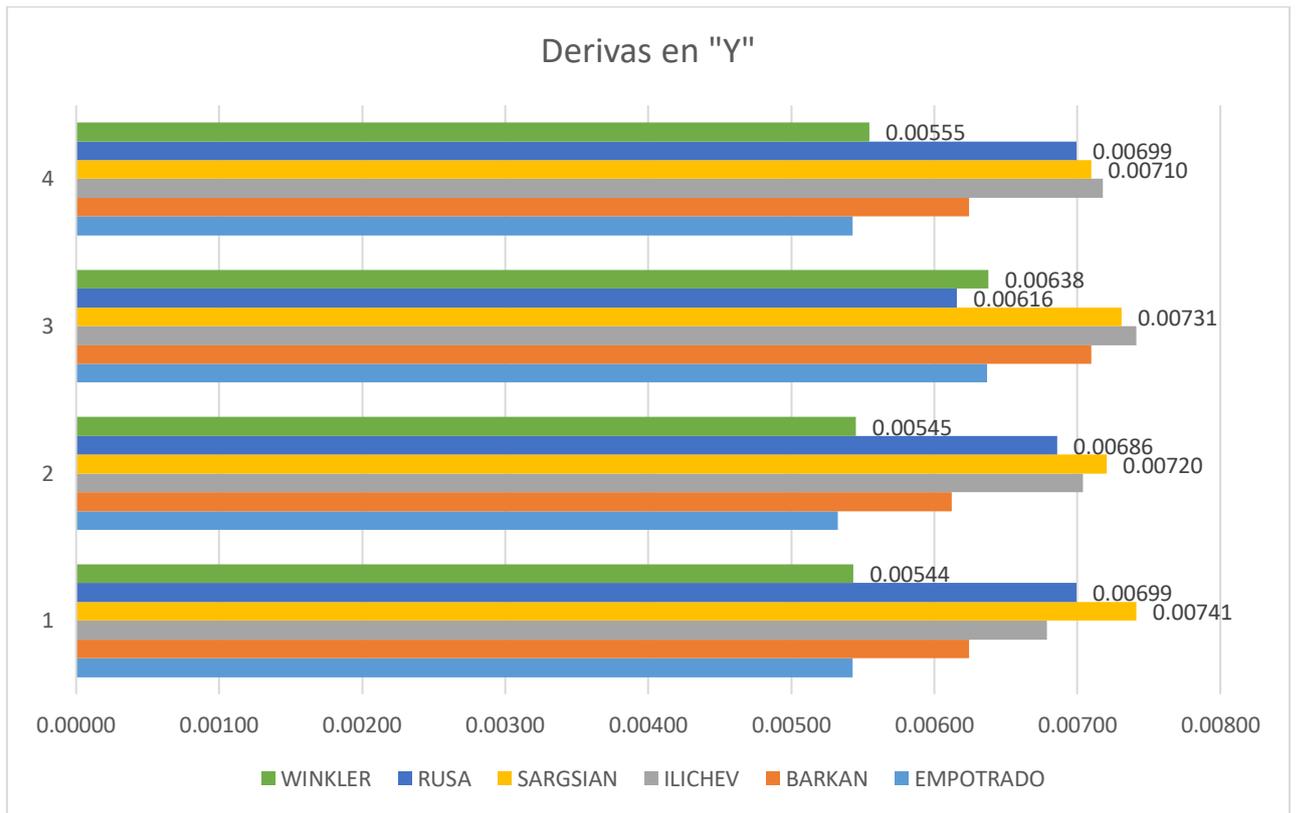
En la figura se puede observar que los valores que superan lo permitido de 0.007 son en el nivel 1 con Sargsian 0.00742 y Ilichev con 0.00763.

Tabla N° 35. Derivas en “Y”.

| NIVEL | EMPOTRADO | BARKAN | ILICHEV | SARGSIAN | RUSA | WINKLER |
|-------|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 1 | 0.00543 | 0.00624 | 0.00679 | 0.00741 | 0.00699 | 0.00544 |
| 2 | 0.00532 | 0.00612 | 0.00704 | 0.00720 | 0.00686 | 0.00545 |
| 3 | 0.00637 | 0.00710 | 0.00741 | 0.00731 | 0.00616 | 0.00638 |
| 4 | 0.00543 | 0.00624 | 0.00718 | 0.00710 | 0.00699 | 0.00555 |

En la tabla se muestran las derivas en la dirección “Y” se puede observar que los valores de empotramiento cumplen en todos los niveles y el mayor valor de 0.00741 en el nivel 2 para Ilichev ocurre lo mismo con un valor de 0.00741 en el nivel 3 para Sargsian, para los demás valores y modelos cumple con tener un valor menor a 0.007.

Figura N° 38. Derivas en "Y"



La figura nos muestra que en la dirección "Y" nos muestra que en con Ilichev y Sargsian se obtiene los máximos valores y no cumplen con las derivas.

5.1.7 Fuerzas internas pabellón F

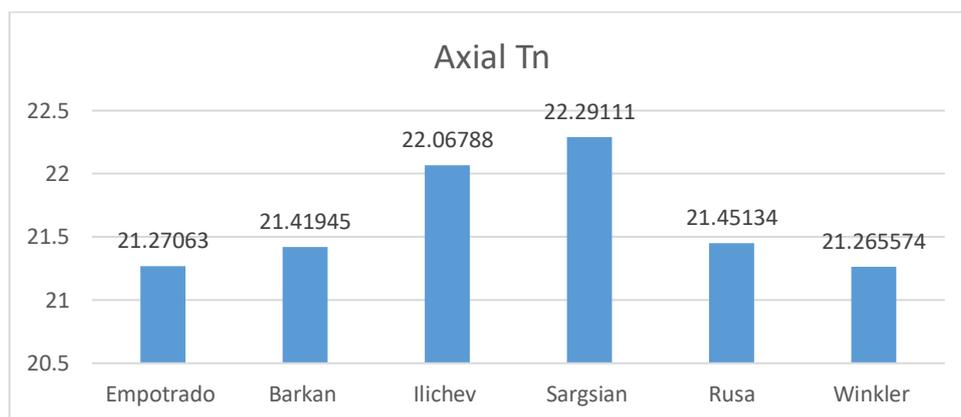
Para el análisis de las fuerzas internas tomaremos la zona más crítica o donde aparecen mayores valores de fuerzas internas en la misma ubicación del modelo en el bloque E, para poder observar el comportamiento.

Tabla N° 36. Fuerza Axial – Labe 30.

| LABE | MODELO | Axial Tn | % VARIACIÓN |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 30 | Empotrado | 21.27063 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 21.41945 | 100.70% |
| 30 | Ilichev | 22.06788 | 103.75% |
| 30 | Sargsian | 22.29111 | 104.80% |
| 30 | Rusa | 21.45134 | 100.85% |
| 30 | Winkler | 21.265574 | 99.98% |

Se puede observar que la fuerza axial en el empotramiento en el labe 30 es de 21.27 tn, como se analiza sin considerar la interacción suelo estructura, para Barkan aumenta en 0.70%, Ilichev en 3.75%, Sargsian en 4.80% con respecto a los 22.29 tn del análisis de empotrado.

Figura N° 39. Fuerza Axial – Labe 30.



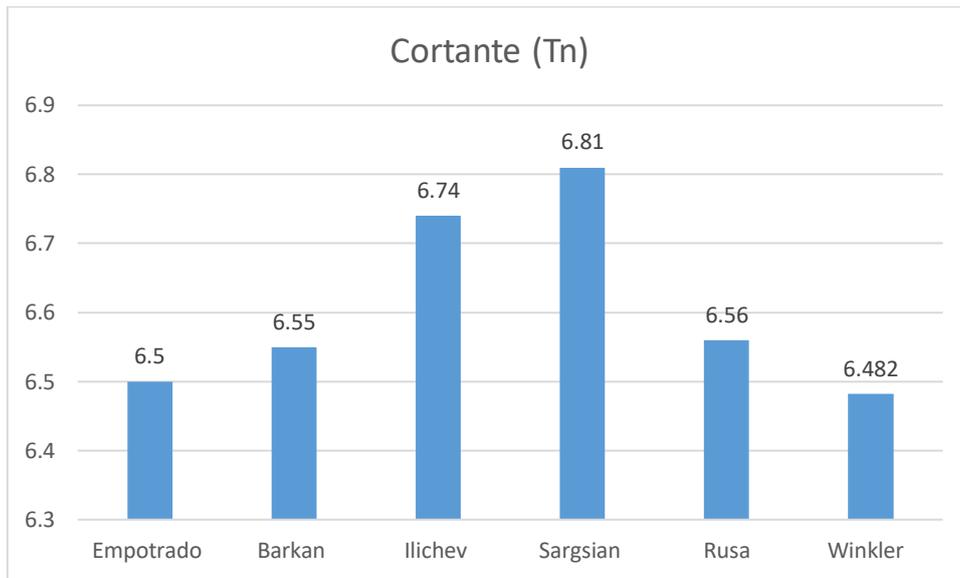
Se puede observar en la figura que la fuerza axial interna no es tan considerable en aumento tomando los mayores valores en el modelo de Sargsian con 22.29 tn y Ilichev con 22.06 tn.

Tabla N° 37. Fuerza Cortante – Labe 30.

| LABE | MODELO | Cortante (Tn) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|---------------|-------------|
| 30 | Empotrado | 6.50 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 6.55 | 100.80% |
| 30 | Ilichev | 6.74 | 103.69% |
| 30 | Sargsian | 6.81 | 104.76% |
| 30 | Rusa | 6.56 | 100.92% |
| 30 | Winkler | 6.50 | 99.72% |

Se puede observar que en el modelo de empotrado tenemos una cortante de 6.50 tn y tomando como base ese valor los demás modelos matemáticos presentan un crecimiento en Barkan de 0.70%, Ilichev de 3.75%, Sargsian 4.80% y la norma rusa en 0.85%.

Figura N° 40. Cortante – Labe 30.



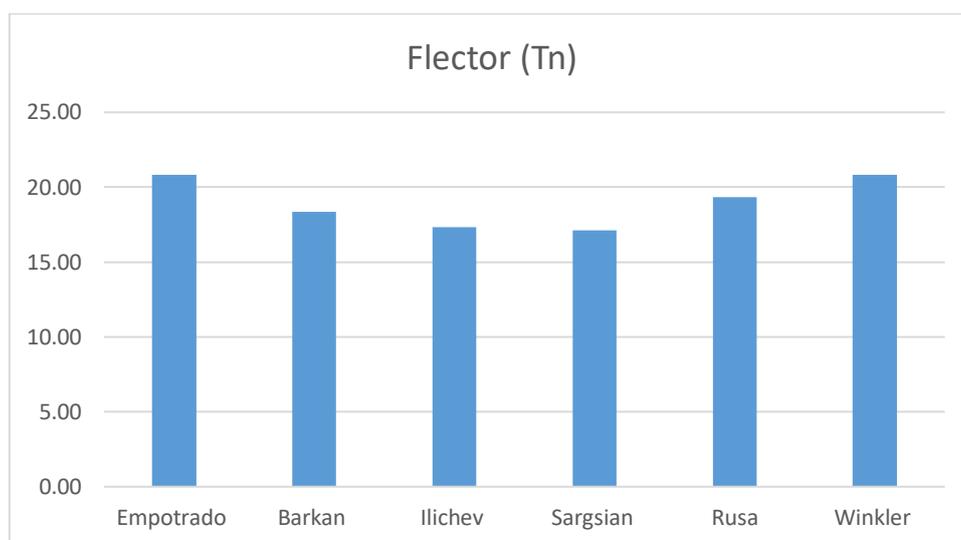
Se puede observar en la figura que los mayores valores son de Sargsian con 6.81 tn y Ilichev con 6.74 tn, siendo el menor valor de empotrado de 6.20 tn.

Tabla N° 38. Momento flector – Labe 30.

| LABE | MODELO | Flector (Tn) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|--------------|-------------|
| 30 | Empotrado | 20.83 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 18.37 | 88.19% |
| 30 | Ilichev | 17.34 | 83.27% |
| 30 | Sargsian | 17.14 | 82.30% |
| 30 | Rusa | 19.33 | 92.81% |
| 30 | Winkler | 20.82 | 99.98% |

Se puede observar que en la tabla la variación del momento flector que los valores en el sistema de empotrado tienen mayor valor con respecto a los otros modelos presentados siendo el menor valor el modelo de Sargsian con 17.14 tn-m y el mayor valor de 20.83 tn-m en el empotrado.

Figura N° 41. Flector – Labe 30.



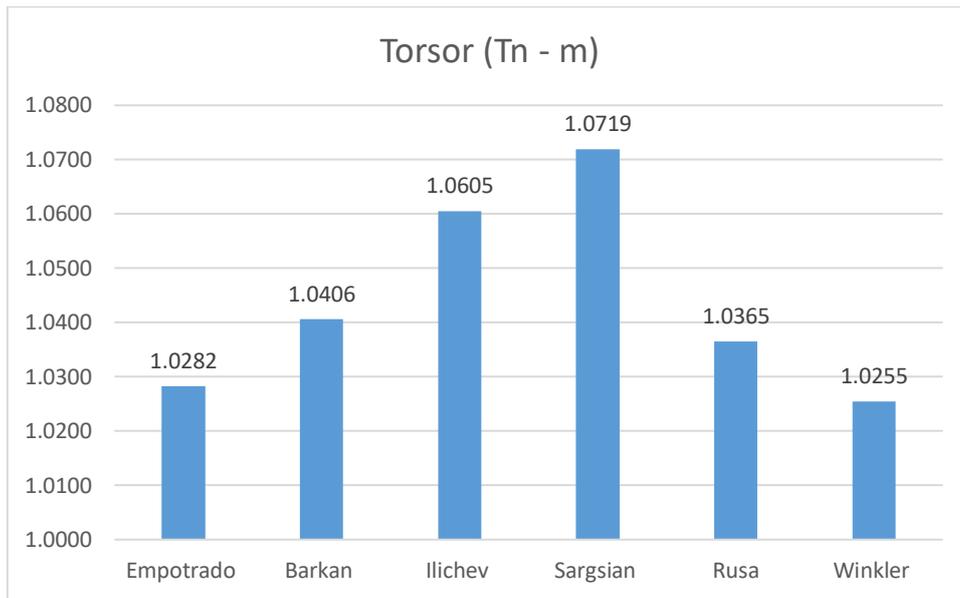
En la figura se puede observar que el sistema de empotrado tiene un valor de 20.83 y va disminuyendo con 19.33 modelo Ruso, 17.34 modelo Barkan, 17.24 modelo Ilichev y 17.14 Modelo Sargsian.

Tabla N° 39. Momento Torsor – Labe 30.

| LABE | MODELO | Torsor (Tn - m) | % VARIACIÓN |
|------|-----------|-----------------|-------------|
| 30 | Empotrado | 1.0282 | 100.00% |
| 30 | Barkan | 1.0406 | 101.20% |
| 30 | Ilichev | 1.0605 | 103.14% |
| 30 | Sargsian | 1.0719 | 104.25% |
| 30 | Rusa | 1.0365 | 100.80% |
| 30 | Winkler | 1.0255 | 99.73% |

En la tabla se puede observar que el sistema empotramiento con 1.0282 tn-m representa el 100.00, para Barkan con 0.9868 tn-m representa el 101.20%, para Ilichev con 1.0057 tn-m con 103.14%, para Sargsian con 1.0165 con 104.25% y la Norma Rusa con 0.9829% con 100.80%.

Figura N° 42. Torsor – Labe 30.



Se puede observar en la figura que el sistema de empotramiento es el que tiene menor torsión con 1.0282 tn-m y el máximo valor con 1.0165 tn-m con el modelo Sargsian.

5.1.8 Análisis del corte basal

Para determinar la rigidez del suelo se utilizarán los dos estratos que presenta la fundación se presentan dos estratos de 0.00 a 1.40 m y de 1.40 a 3.00 m, con una

| Estrato | 1 | 2 |
|-------------------------|--|---|
| Tipo de suelo | Arena Arcillosa | Arena Densa |
| Perfil de suelo | S3 | S2 |
| Espesor | $h_1 := 1.40 \text{ m}$ | $h_2 := 3 \text{ m}$ |
| Módulo de elasticidad | $E_1 := 4000 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$ | $E_2 := 10000 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$ |
| Coefficiente de Poisson | $\mu_1 := 0.3$ | $\mu_2 := 0.4$ |

Para el cálculo del coeficiente de Balasto:

El Modelo Winkler, se calculo el modelo de una losa con un estrato para los coeficientes de balasto.

$$C_1 := \frac{E_1}{h_1 \cdot (1 - 2 \cdot \mu_1^2)} = 3484.32 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

Se calculo el modelo de una losa con dos estratos para los coeficientes de balasto.

$$C_{1,2} := \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} \cdot (1 - 2 \cdot \mu_1^2) + \frac{h_2}{E_2} \cdot (1 - 2 \cdot \mu_2^2)} = 2036.66 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

Modelo de Pasternak P.L

Para el calculo de coeficiente de balasto vertical:

$$\boxed{C_1} := \frac{E_1}{h_1 \cdot (1 - 2 \cdot \mu_1^2)} = 3484.32 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

Para el cálculo de coeficiente de balasto Horizontal:

$$C_2 := \frac{E_1 \cdot h_1}{6 \cdot (1 + \mu_1)} = 717.95 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Cálculo de losa con dos estratos

Para el coeficiente de balasto vertical:

$$\boxed{C_{1,2}} := \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} \cdot (1 - 2 \cdot \mu_1^2) + \frac{h_2}{E_2} \cdot (1 - 2 \cdot \mu_2^2)} = 2036.66 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

Por lo que se necesita calcular el coeficiente de poisson para el estrato

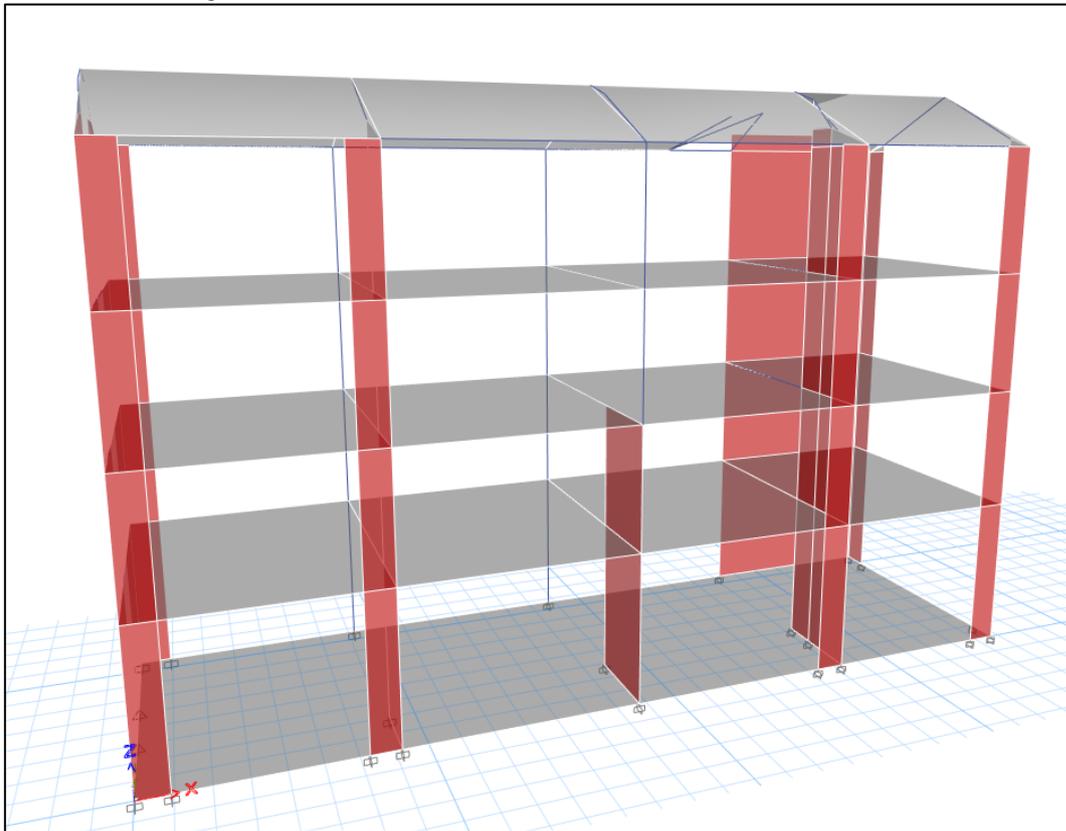
$$\varepsilon := \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \mu_1^2}{1 - 2 \cdot \mu_2^2} \cdot \frac{h_1}{h_2} = 1.41$$

Cálculo de coeficiente de balasto horizontal:

$$\boxed{C_3} := \frac{1}{6 \cdot (1 + \varepsilon)^2} \cdot \left(\frac{E_1 \cdot h_1}{1 + \mu_1} \cdot (3 + 3 \cdot \varepsilon + \varepsilon^2) + \frac{E_2 \cdot h_2}{1 + \mu_2} \right) = 1756.68 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

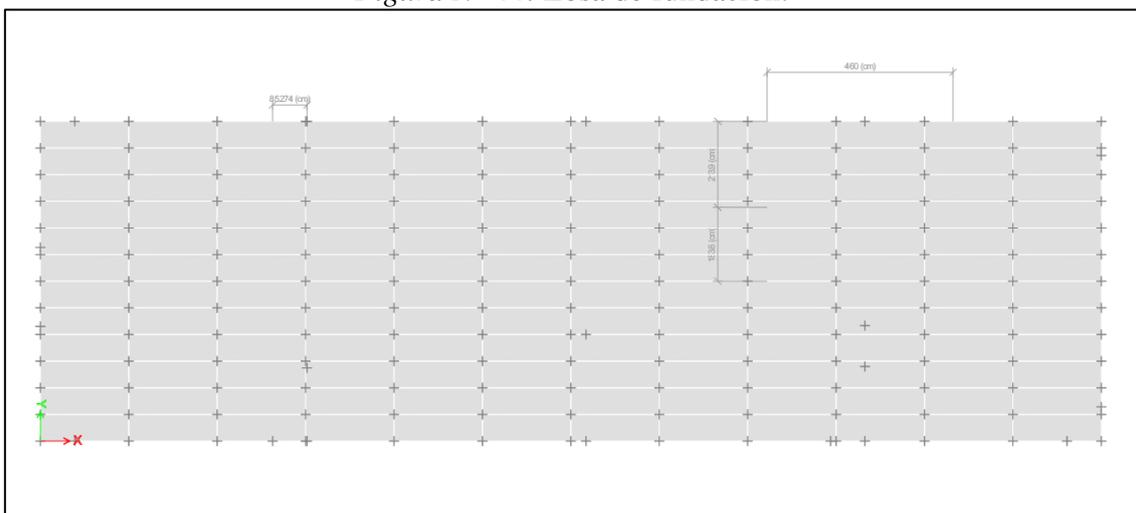
Para el primer análisis consideraremos como si todo fuera una sola losa de fundación entre la estructura con los modelos de Pasternak P.L y Winkler

Figura N° 43. Modelo de la estructura con losa de fundación.



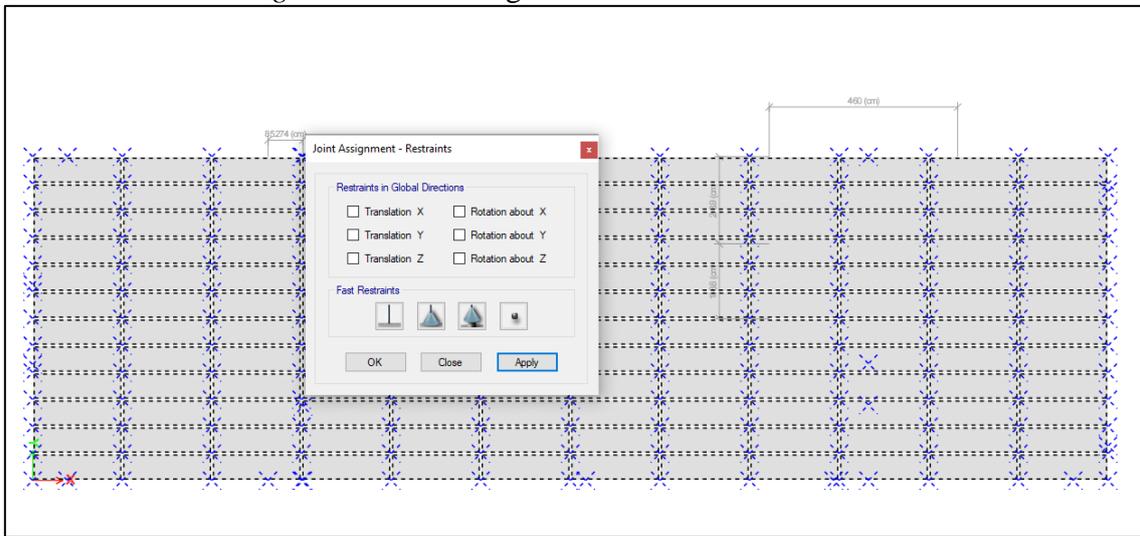
Por lo que dividimos la fundación en elementos de 12x12 unidades de toda la fundación para poder tener un correcto comportamiento.

Figura N° 44. Losa de fundación.



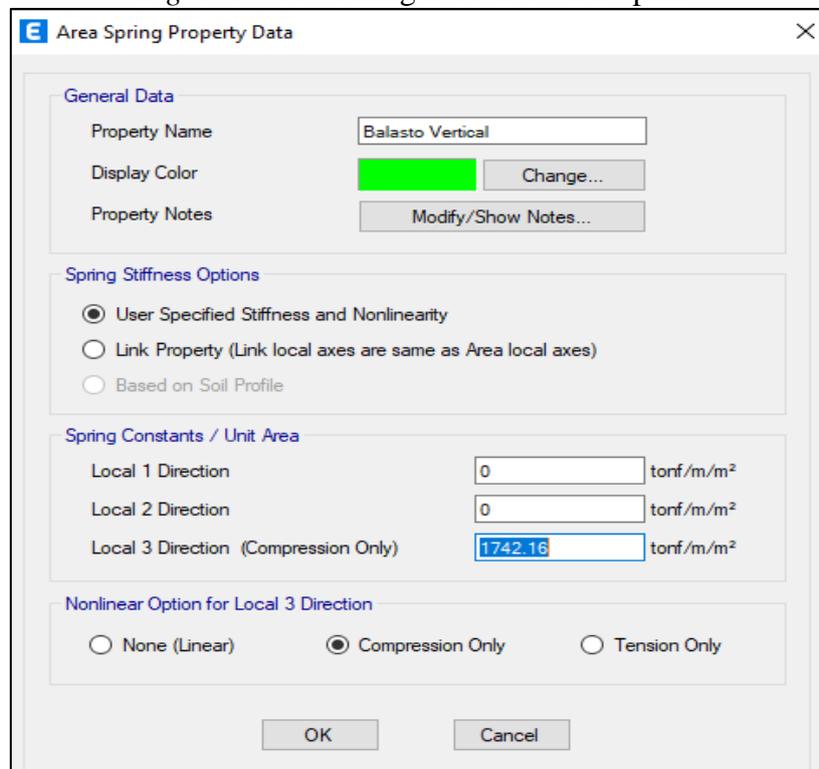
Por lo que no deben de presentarse restricciones en el modelo

Figura N° 45. Configuración de losa de fundación.



Toda la modelo funcionada bajo el principio teórico de que es un resorte en toda el área de fundación, dado que el modelo se debe de agregar un área de sprint

Figura N° 46. Configuración de área sprint.



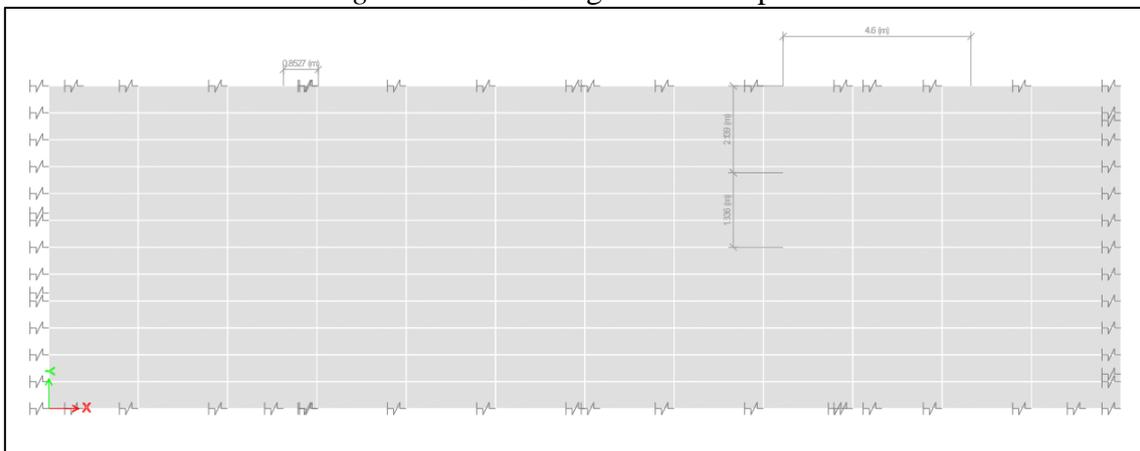
Por lo que el suelo empieza a tener el comportamiento en base al cálculo del coeficiente de balasto considerando como si todo fuera una sola losa.

Figura N° 47. Modelo con coeficiente de balasto



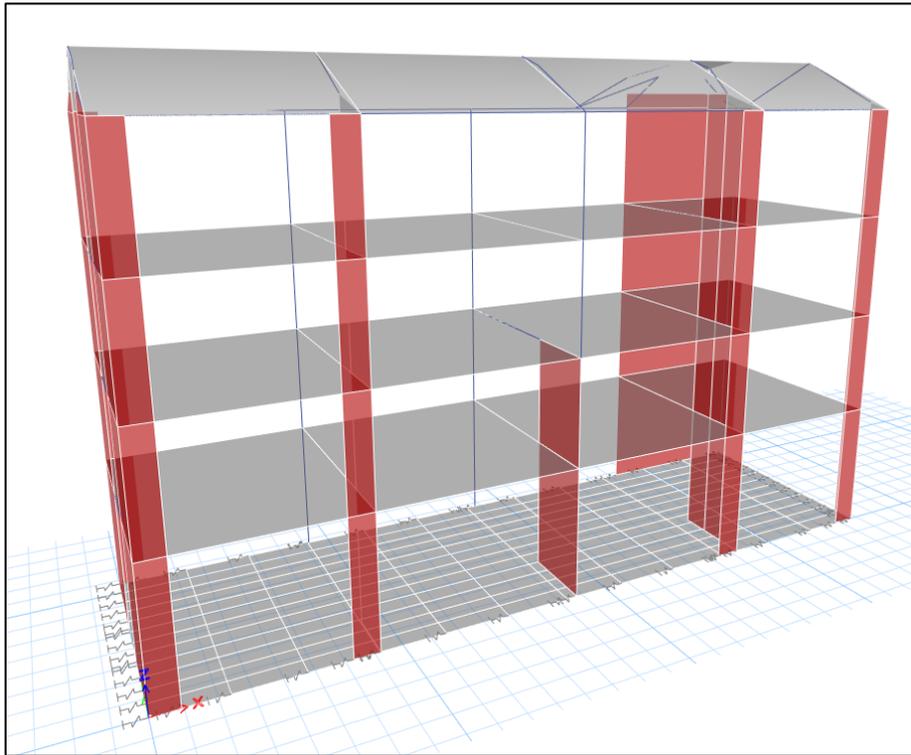
Agregado los valores y coeficiente del balasto vertical faltan los valores del coeficiente en la dirección X y Y

Figura N° 48. Configuración de sprint



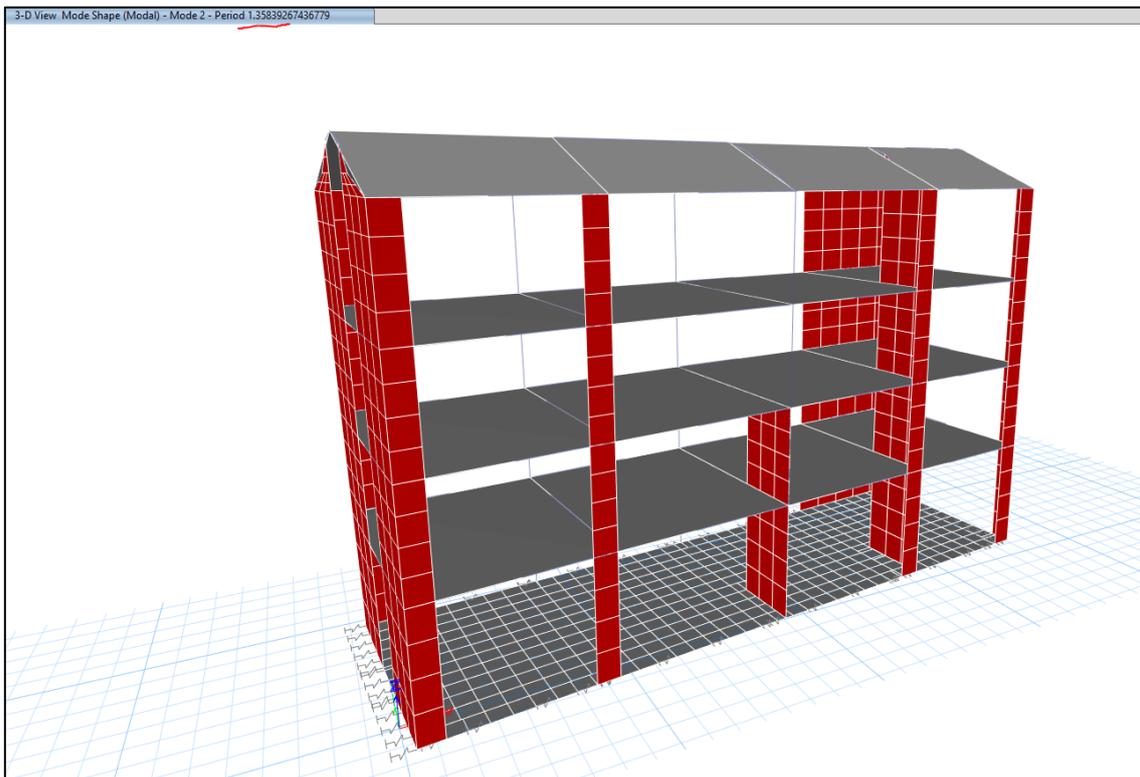
Por lo que el modelo para el primer análisis considerando que toda la fundación funciona como un solo estrato

Figura N° 49. Vista 3d con sprint



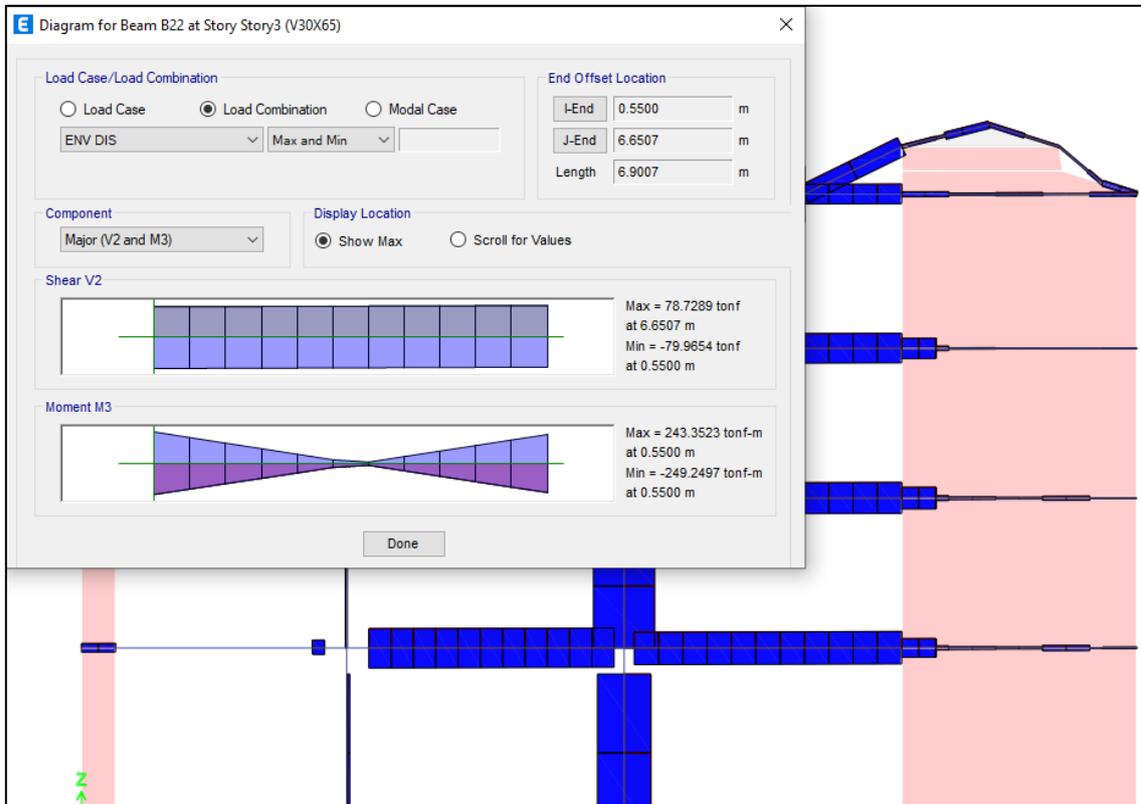
En el análisis modal se observa que el primer periodo de la estructura es de 1.35 s, por lo que este sería el periodo real de la estructura

Figura N° 50. Vista 3d del modelo completo



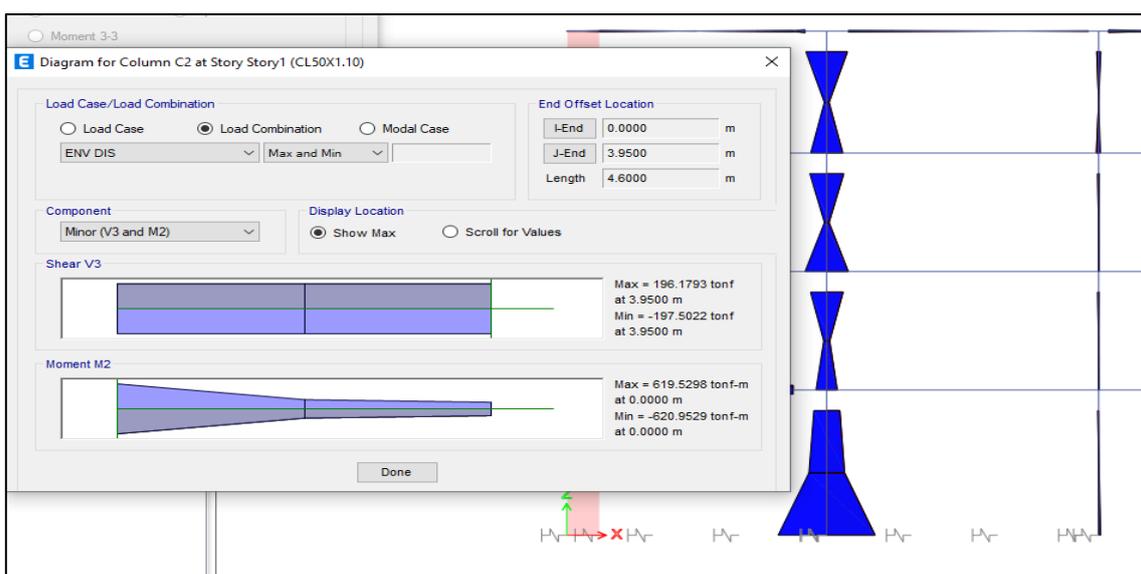
Por lo que se analiza la estructura a partir de su comportamiento considerando como si todo fuera una fundación.

Figura N° 51. Vista de cargas en combinación de cargas V2 – V3.



Se puede observar que las cortantes llegan hasta 78.72 en las vigas.

Figura N° 52. Vista de combinación de cargas en columnas V2 – V3



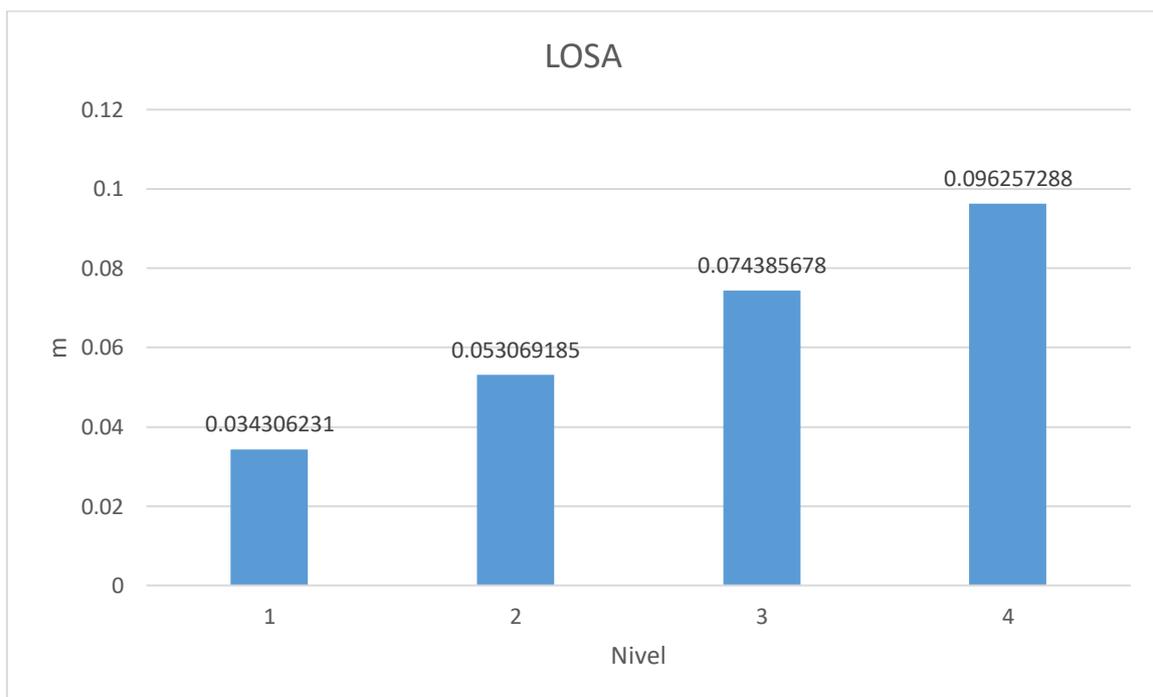
En los momentos analizados llegan hasta 196.17 tn, por lo que serían valores muy elevados colocando a estructura en un sobre esfuerzo.

Tabla N° 40. Desplazamiento de entre piso en dirección “X” en metros.

| NIVEL | LOSA |
|-------|-------------|
| 1 | 0.034306231 |
| 2 | 0.053069185 |
| 3 | 0.074385678 |
| 4 | 0.096257288 |

Se puede observar que los valores en el nivel 1 con 0.034, en el nivel 2 con 0.0530, en el nivel 3 con 0.0743 y en el nivel 0.0962.

Figura N° 53. Desplazamiento de entre piso en “X”



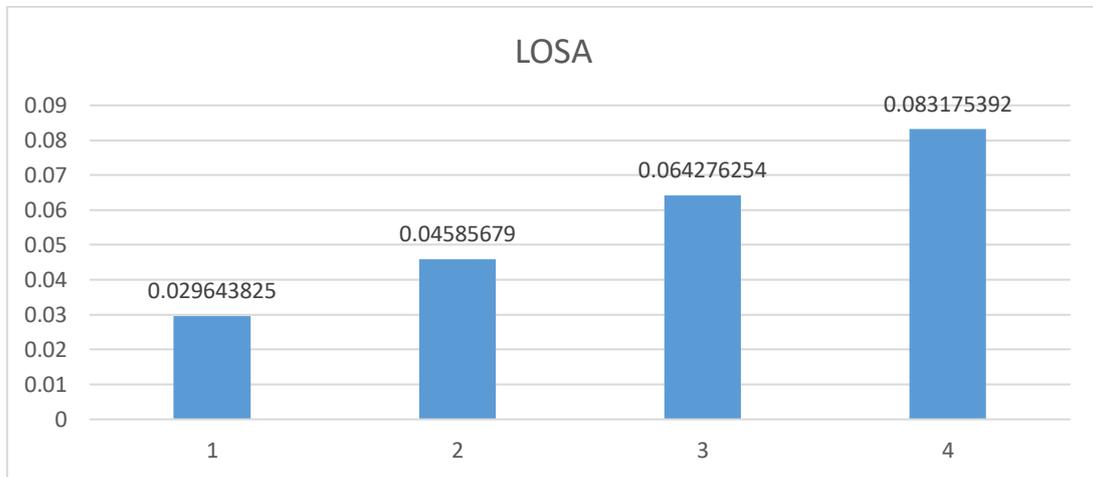
Se observa que conforme aumenta el nivel se va aumentando el desplazamiento siendo el valor más grande es de 0.0962.

Tabla N° 41. Desplazamiento de entre piso en dirección “Y” en metros.

| NIVEL | LOSA |
|-------|-------------|
| 1 | 0.029643825 |
| 2 | 0.04585679 |
| 3 | 0.064276254 |
| 4 | 0.083175392 |

Se puede observar que los valores máximos son empotramiento con 0.0648, Barkan con 0.071, Ilichev con 0.0794, Sargsian con 0.0831 y rusa con 0.0682.

Figura N° 54. Desplazamiento de entre piso en “Y”



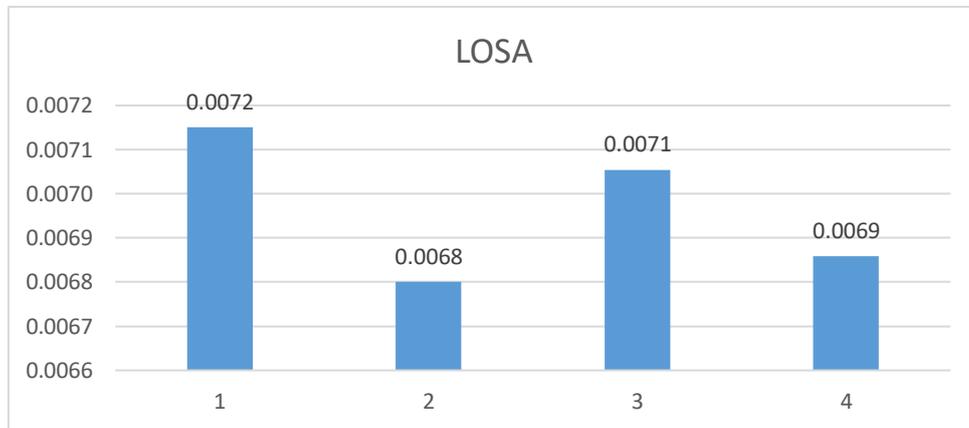
Se observa que la figura los valores máximos son los de Sargsian y Ilichev con 0.0831 y 0.0794 respectivamente, por lo que los modelos de empotramiento y Barkan son los mas bajos con 0.648 y Barkan con 0.0701 respectivamente para el nivel 4.

Tabla N° 42. Derivas en “X”.

| NIVEL | LOSA |
|-------|--------|
| 1 | 0.0072 |
| 2 | 0.0068 |
| 3 | 0.0071 |
| 4 | 0.0069 |

En la tabla muestra que en el nivel 1 y el nivel 3 superan lo permitido con valores de 0.0072 y 0.0071 respectivamente.

Figura N° 55. Derivas en “X”



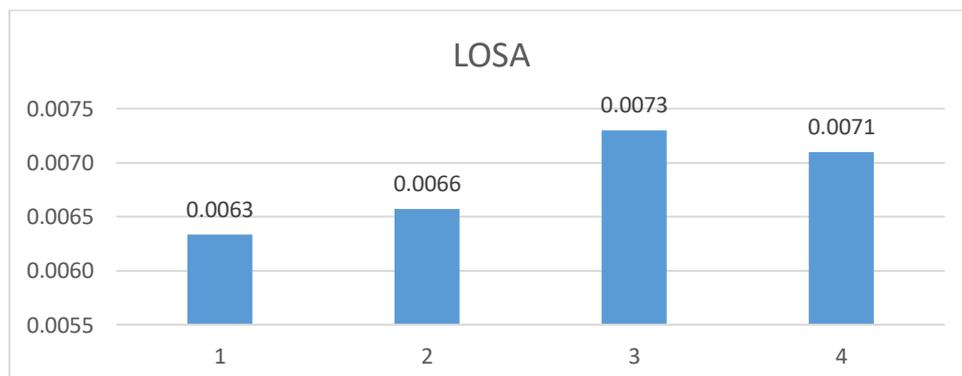
Se observa en la figura que el nivel 1 y 3 superan lo permitido por la norma por lo que se tendrá que rigidizar.

Tabla N° 43. Derivas en “Y”.

| NIVEL | LOSA |
|-------|--------|
| 1 | 0.0063 |
| 2 | 0.0066 |
| 3 | 0.0073 |
| 4 | 0.0071 |

Se observa que en los niveles 3 y 4 superan lo permitido en el nivel 3 con 0.0073 y nivel 4 con 0.0071.

Figura N° 56. Derivas en “Y”



Se observa en la figura existe una tendencia de aumentar en el nivel 3 con 0.0073 y el nivel 4 con 0.0071

5.1.9 Periodo de vibración

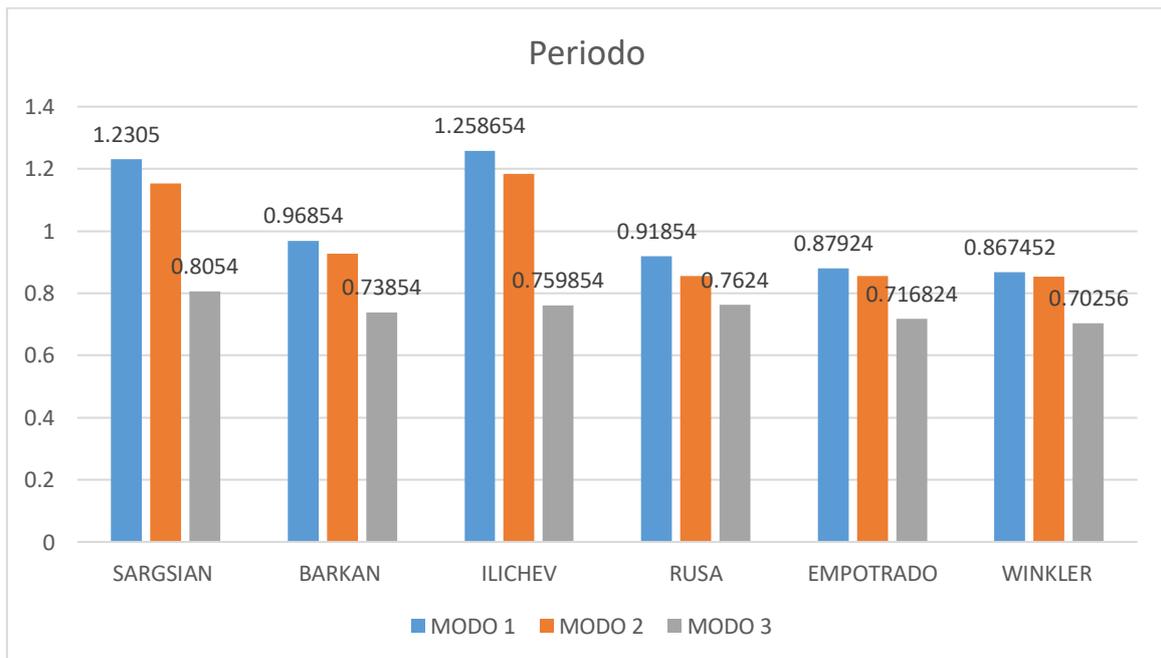
El periodo de vibración de masas y rigidez de la edificación, por lo que en los modelos que se han presentado cada uno de ellos presenta periodos de vibraciones diferentes, por lo que solo se mostraran los 3 primeros modos de cada modelo.

Tabla N° 44. Periodos

| MODELO | MODO 1 | MODO 2 | MODO 3 |
|-----------|----------|----------|----------|
| SARGSIAN | 1.2305 | 1.1524 | 0.8054 |
| BARKAN | 0.96854 | 0.927854 | 0.73854 |
| ILICHEV | 1.258654 | 1.183524 | 0.759854 |
| RUSA | 0.91854 | 0.8548 | 0.7624 |
| EMPOTRADO | 0.87924 | 0.85463 | 0.716824 |
| WINKLER | 0.867452 | 0.853641 | 0.70256 |

Se puede observar que el que posee mejor respuesta es el sistema empotrado dado que en el primer modo responde con 0.879 y va disminuyendo hasta el tercer modo con 0.71; para el valor más elevado se presenta en Ilichev con 1.25 y terminando en el tercer modo con 0.75; para Sargsian con 1.23 y terminando con 0.80.

Figura N° 57. Periodos de los 3 primeros modos.



Se puede observar en la figura que los mayores periodos lo presentan el modelo de Ilichev y Sargsian con un valor de 1.25 y 1.23 respectivamente.

5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados

Dentro del análisis estático se puede observar que los valores en el desplazamiento en la dirección “X” son menores con respecto a los valores obtenidos con los diferentes modelos, incluso analizando toda la fundación como si fuera una sola losa de fundación por lo que se interpreta que la cantidad de energía o fuerza que absorbe la fundación son mayores con respecto a los demás modelos porque considerando el empotramiento se obtiene un valor de 0.06286 de desplazamiento en “X” y con el modelo Sargsian se obtiene un valor de 0.0806, marcando una diferencia de esfuerzo que realiza la estructura por no liberar la energía en la fundación o conocida como la interacción suelo estructura (ISE)

Para los desplazamientos en “y” con el modelo presenta valores de desplazamiento menores con respecto a “x” se observa que el desplazamiento es de 0.0565 en el empotramiento y en el modelo Sargsian 0.0725, por lo que comparando los resultados entre el desplazamiento entre “x” y “y” depende del modelo con el cual se está trabajando.

El porqué de estos valores hace referencia a la rigidez del suelo que va acompañado de la flexibilidad en el sistema empotrado la rigidez es infinita y para todos los demás modelos se presenta una rigidez limitada en base al modelo matemático.

Se puede observar que en el análisis de la zona crítica label – 30, en los modelos Sargsian y Ilichev aumentan con respecto a los valores de empotramiento, Barkan y Rusa que son menores, esto nos indica que la energía en la fundación no es absorbida totalmente y es transmitida a las estructuras adyacentes hacia arriba.

En el momento torsor se observa que los valores van aumentando con respecto a Sargsian en 4.25% y Ilichev con 3.14% por lo que existiría mayor esfuerzo; por lo tanto, mayor desplazamiento y mayores derivas.

En las cortantes en el espectro de diseño se ve aumentando con respecto al empotrado por lo que la cortante contribuiría a mayores desplazamientos y derivas obteniendo valores mayores en un 4.80% en Sargsian y 3.75% con Ilichev.

5.3 Contrastación de hipótesis

El modelo A.E. Sargsian genera mayor efecto de respuesta estructural considerando la interacción suelo estructura de los pabellones “E” y “F” SENATI, por lo que las derivas se incrementan, las cortantes y la torsión considerando el modelo de Sargsian, por lo que queda comprobada la hipótesis.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La Respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI, con el modelo de A.E Sargsian es mayor que todos los demás, continuando con la norma Rusa, sin cumplir los parámetros que exige la normativa en la E.030, concluyendo que la interacción suelo estructura aumenta los esfuerzos por parte de la estructura.

La respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI, depende mucho si se considera la interacción suelo estructura, para los desplazamientos en “Y” con el modelo presenta valores de desplazamiento menores con respecto a “X” se observa que el desplazamiento es de 0.0565 en el empotramiento y en el modelo Sargsian 0.0725, por lo que comparando los resultados entre el desplazamiento entre “X” y “Y”, comprobando que considerar la interacción suelo estructura aumenta los esfuerzos en la estructura indeterminadamente del modelo a escoger.

La respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI, considerando interacción suelo estructura utilizando los modelos dinámicos D. D. Barkan – O. A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Winkler E, dentro del análisis estático se puede observar que los valores en el desplazamiento en la dirección “X” son menores con respecto a los valores obtenidos con los diferentes modelos, incluso analizando toda la fundación como si fuera una sola losa de fundación por lo que se interpreta que la cantidad de energía o fuerza que absorbe la fundación son mayores con respecto a los demás modelos, en el empotramiento se obtiene un valor de 0.06286 de desplazamiento en “x” y con el modelo Sargsian se obtiene un valor de 0.0806, marcando una diferencia de esfuerzo que realiza la estructura por no liberar la energía en la fundación o conocida como la interacción suelo estructura (ISE)

Al comparar la respuesta estructural de los pabellones “E” y “F” SENATI, en los dos pabellones los desplazamientos con el modelo Sargsian en todos los niveles desde el 1 nivel hasta el nivel 4 respectivamente: 0.02512, 0.03886, 0.0544 Y 0.07048 lo que nos muestra la variación con respecto al sistema de empotramiento que regularmente se utiliza

teniendo valores del 1 nivel hasta el 4 nivel respectivamente: 0.0152, 0.0282, 0.0426 y 0.0578, mostrándonos que si existe una variación resaltante, concluyendo que dependiendo del modelo matemático a analizar y la interacción suelo estructura.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar en Elementos finitos un modelo numérico o constitutivo para simular la respuesta sísmica de la estructura y obtener un modelo más cercano, por lo que nos permite analizar con más detalle los modelos de coeficiente de balasto y Pasternak, que han sido considerados para el modelamiento de la interacción suelo estructura estableciendo algunas recomendaciones para ese modelo; las recomendaciones a partir de los resultados obtenidos considerando la interacción suelo estructura:

- **Modelo A.E. Sargsian:** Este modelo presenta la mayor respuesta estructural para los pabellones "E" y "F" del SENATI, superando incluso los valores de la norma E.030. Se recomienda reconsiderar su uso si no se cumplen los parámetros normativos.
- **Desplazamientos:** La interacción suelo-estructura aumenta los esfuerzos en la estructura de manera indeterminada. Se observan mayores desplazamientos en dirección "X" que en "Y", con un valor máximo de 0.0725 mm en el modelo Sargsian.
- **Efectos en la fundación:** La interacción suelo-estructura incrementa los esfuerzos en la estructura al no permitir que la fundación absorba la energía del sismo. El modelo Sargsian presenta un valor máximo de desplazamiento en "X" de 0.0806 mm, comparado con 0.06286 mm en el caso de empotramiento.
- **Comparación entre pabellones:** Los desplazamientos en el pabellón "F" con el modelo Sargsian son mayores en todos los niveles (0.02512, 0.03886, 0.0544 y 0.07048) comparado con el sistema de empotramiento (0.0152, 0.0282, 0.0426 y 0.0578).

Es importante mencionar que:

- La interacción suelo-estructura es un fenómeno complejo que debe ser considerado cuidadosamente en el análisis sísmico de estructuras.

- La elección del modelo matemático adecuado para el análisis depende de varios factores, como las características del suelo, la geometría de la fundación y las características de la estructura.

Para mejorar el modelo y hasta establecer un modelo constitutivo para un tipo de suelo o estrato se comiende considerar los siguientes estudios de suelos:

- Ensayos de placa: Se realiza una carga vertical sobre una placa rígida apoyada sobre el suelo, midiendo los hundimientos y las deformaciones para obtener el módulo de reacción del suelo.
- Ensayos de caja de cimentación: Se construye una caja rígida en el suelo y se aplica una carga, midiendo los esfuerzos y deformaciones en la cimentación y el suelo circundante para evaluar la distribución de cargas.
- Ensayos de vibración: Se induce vibración al suelo y se mide la respuesta de la estructura y el suelo, permitiendo determinar parámetros dinámicos como la impedancia del suelo y la frecuencia natural del sistema.
- Pruebas de cono (CPT): Se introduce un cono en el suelo a medida que se registra la fuerza de penetración y la fricción lateral. Los datos obtenidos se utilizan para estimar la resistencia al corte, la compresibilidad y otros parámetros del suelo.

Una vez establecido estos ensayos se podría establecer los parámetros para el modelo constitutivo de la interacción suelo estructural que luego con Elementos finitos modelar la estructura como tal e instar el modelo de interacción suelo estructura a partir de los resultados de laboratorio encontrados, se recomienda realizar estos ensayos y poder ajustar los modelos matemáticos en futuras investigaciones.

El modelo Winkler y el modelo ruso presentan mejor comportamiento estructural, considerando los valores matemáticos que utiliza, por lo que es necesario ajustar estos modelos a los resultados experimentales que se puedan obtener.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDUMAQY, Yahya Mohammed Ali Ali. Efecto de la interacción suelo-estructura sobre la respuesta dinámica de túneles de baja cobertura durante las fases de construcción sistema túnel-suelo-cimentación. 2021.

CABRERA RODRÍGUEZ, Juan Carlos, et al. Evaluación lineal y no lineal de la interacción suelo-estructura en edificios de concreto reforzado. 2020. Tesis Doctoral. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

CALDERÍN-MESTRE, Francisco; ALMENAREZ-LABANINO, David; BOADA-FERNÁNDEZ, Daniel. Consideración del fenómeno interacción suelo-estructura en edificio prefabricado. Ciencia en su PC, 2020, vol. 1, no 4, p. 79-94.

CALVILLO, Adrià Sánchez; GUZMÁN, Elia Mercedes Alonso; NÚÑEZ, María del Carmen López. Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. Vivienda y comunidades sustentables, 2021, no 10, p. 9-29.

CASTRO, Genner Alvarito Villarreal; GÓMEZ, Cristhoffer Tito Aguila. Interacción suelo-estructura y su influencia en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2021, vol. 26, no 3, p. 426-471.

CASTRO, Genner Alvarito Villarreal; VASQUEZ, Marco Antonio Cerna; TORRES, Cesar Ubaldo Espinoza. Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2021, vol. 26, no 1, p. 153-178.

CAYCI, Bayram Tanik; INEL, Mehmet; OZER, Esra. Effect of soil–structure interaction on seismic behavior of mid-and low-rise buildings. International Journal of Geomechanics, 2021, vol. 21, no 3, p. 04021009.

CENTRO Nacional de Prevención de Desastres. Seguridad en las Construcciones [en línea]. Enero, 2015. [Fecha de consulta: 29 abril 2017]. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo3.html>

COYOLT, Carlos. Interacción dinámica suelo estructura. Tesis para maestría. México, 2016.

DE OLIVEIRA, Gabriel Francisco, et al. Proposta de método ISE para avaliação dos recalques e da capacidade de carga de fundações em estaca Proposal of the ISE method

for assessment of settlements and loading capacity of piled foundations. Brazilian Journal of Development, 2021, vol. 7, no 6, p. 60626-60652.

DE PIRCAS, evaluación de vulnerabilidad sísmica. escuela de posgrado. 2019. tesis doctoral. pontificia universidad católica del Perú. Estructuras de Mampostería no Reforzada. Memorias del XV Congreso Nacional de Estructuras.

EXPEDIENTE TÉCNICO, Construcción De Edificio De 4 Pisos Y Cambio De Coberturas – CFP Cajamarca, 2016.

FABRE, Lautaro José; FICCA, Juan Facundo. Programa para el cálculo de estructuras de hormigón armado. 2024.

FACULTAD de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Mendoza. Cimentaciones [en línea]. Octubre, 2014 [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en: <http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/CIMENTACIONES.htm>

FACULTAD de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. Periodos de vibración [en línea]. Agosto, 2013 [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en: <https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01201/Ondas/AYondas.html>

FREIRE, Manuel J. Interacción del suelo, cimiento y estructura: el caso de las zapatas. Informes de la Construcción, 52 (14): 44 -54, enero/febrero 2001.

GALICIA, W. & LEÓN, J. Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación. Tesis para título. Trujillo, 2007.

GARCÍA, A. Interacción Suelo-Estructura en el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras en mampostería. 2020

GARCÍA, Daniel Alberto Hernández; COLUNGA, Arturo Tena. Amplificación del riesgo a desarrollar una condición de piso suave en edificios de mediana altura por la no consideración de efectos de interacción suelo-estructura. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2022, vol. 27, no 1.

GONZÁLES, O. Análisis estructural (pp. 23). México: Limusa. (2008).

GONZÁLEZ LOOR, Yaritza Isabel. Evaluación del efecto interacción suelo-estructura en edificaciones con cimentación profunda. 2024. Tesis de Licenciatura. Machala; Universidad Técnica de Machala.

HUAMÁN MENDOZA, G. C. (2018). Respuesta Dinámica Por Los Modelos De Cálculo De Interacción Suelo Estructura Del Fema Y Norma E030-2016 Del Edificio De Comando De Control Ribereño-Iquitos.

IBARRA, Gema Karina; AGUIRRE, David Ruiz; FLORES, Dagoberto Burgos. Análisis y diseño de mejora de desempeño estructural de pérgolas. epistemes, ciencia tecnología y salud, 2019, vol. 1, no 26, p. 13.

INFANTE CHAPARRO, Alvaro Sebastian. Influencia del comportamiento dinámico de una edificación regular para la selección del método de análisis de resistencia sísmica. Tesis Doctoral. Pregrado Ingeniería Civil. 2020

INGENIERÍA ESTRUCTURAL EN JALISCO, 40 (9): 543-552, 2006.

INSTITUTO geológico, minero y metalúrgico (INGEMMET). Ministerio de energía y minas. Mapa de peligros de la ciudad de Baños del Inca. [Lima], 2014. 117p.

INSTITUTO nacional de defensa civil (INDECI). Ministerio de Defensa. Impacto socio económico y ambiental del sismo del 15 de agosto de 2007. [Lima], 2011. 93p.

INSTITUTO Nacional de Prevención Sísmica. Concepto elemental para interpretar los efectos de un terremoto en las construcciones y en los objetos [en línea]. Agosto,2014. [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en: <http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Nociones>

INSTITUTO Nacional de Prevención Sísmica. Concepto elemental para interpretar los efectos de un terremoto en las construcciones y en los objetos [en línea]. Agosto,2014. [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en: <http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Nociones>

JUÁREZ, Gelacio; ORTIZ, Plácido. Importancia del mallado de elementos finitos de muros de mampostería confinada en el análisis sísmico de edificios. Revista Internacional De Ingeniería De Estructuras, 2021, vol. 26, no 4, p. 712-745.

KHALIL L. et al. Influence of the Soil-structure Interaction on the Fundamental Period of Building. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36(8): 2445-2453, 2007.

LEÓN, Juan. Interacción estática suelo estructura análisis con el método de elementos finitos. Tesis para maestría. Ecuador, 2011.

LOPEZ CANTORIN, Kevin Oscar. La Influencia de la Rigidez del Suelo en el Comportamiento Estructural en Edificaciones Educativas de la Provincia de Huancayo, 2021. 2021.

LÓPEZ LÓPEZ, Diego Santiago; BOTERO PALACIO, Juan Carlos. Análisis de la respuesta dinámica estructural considerando los efectos de la interacción suelo estructura limitada a los requisitos de la NEC-SE-DS-2015. 2020.

MARIN BARDALES, Noe Humberto. Influencia de la resistencia del suelo mejorado en el diseño de losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo-estructura. 2021.

MARTINEZ, Juan. Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento dinámico de estructuras sometidas al paso de cargas móviles. Tesis para optar título. Sevilla, 2014.

MENDOZA, J. & RODAS, H. Análisis de interacción suelo estructura de centros educativos con zapatas corridas en la urb. Nicolas Garatea – Nuevo Chimbote. Tesis para título. Áncash, 2015.

MONTES MALDONADO, Javier. Algunos aspectos del caos en sistemas dinámicos con más de 2 grados de libertad. 2020. Tesis Doctoral. Agronomica.

NINA, Noelia Edith Falcon, et al. Evaluación de la Respuesta Sísmica de un Edificio Aporticado Considerando Interacción Suelo Estructura. 2024.

NTE E.030. 2016. Diseño Sismorresistente. Lima-Perú: Diario El Peruano. 6 p.

OLIVERA, Raúl; VILLARREAL, Genner. Interacción Suelo-Estructura para edificaciones con platea de cimentación por los modelos estático y dinámico. Memoria Investigaciones en Ingeniería, 2023, no 25, p. 137-171.

ORDOÑEZ, Ritza Mariela Pacheco. Comparación de respuesta estructural de una edificación con cimentación empotrada e interacción suelo-estructura. 2023.

OSORIO CASTELLANOS, Angie Viviana, et al. Influence of soil-structure interaction on the fragility curves of medium-height moment resisting frames and thin-walled buildings located in Bogotá, Colombia. 2021, Tesis de Maestría. Universidad de La Sabana.

PRADA CONDE, Grecia Chije; MATEO SUAREZ, Isabel Thalia. Influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de un edificio de oficinas de 6 pisos y 2 sótanos considerando diferentes condiciones de suelo. 2020

RAZO CARRASCO, Daniela Giovanna; GARCÍA DOMÍNGUEZ, Octavio. Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud. Ingeniería sísmica, 2020, no SPE104, p. 51-71.

RODRÍGUEZ MAGAÑA, Sergio, et al. Evaluación de la respuesta estructural considerando la incertidumbre en los parámetros del suelo en los efectos de interacción dinámica suelo estructura. 2022. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.

RODRÍGUEZ, Pablo César Sánchez. Normativa de puebla y normativa asce análisis de nave industrial por sismo/viento.

SALVATIERRA, Orlando Oscar Maldonado. Estimación de funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con base en procedimientos probabilísticos. 2020. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru).

SHENDKAR, PhD Mangeshkumar, 2020. Interacción suelo-estructura.

SILVA, D. & IPANAQUÉ, G. Interacción sísmica suelo estructura en edificaciones aporricadas. Tesis para título. Piura, 2009.

SORIANO, Alfonso G. Interacción suelo-estructura. Modificación del movimiento. Física de la Tierra, 01 (22): 285 – 307, abril/mayo 1989.

TAHGHIGHI, Hossein; MOHAMMADI, Ali. Numerical evaluation of soil–structure interaction effects on the seismic performance and vulnerability of reinforced concrete buildings. International Journal of Geomechanics, 2020, vol. 20, no 6, p. 04020072.

ULCUANGO MERINO, Franklin David; DE POSGRADOS, Centros; HARO BÁEZ, Ana Gabriela. Evaluación del desempeño sísmico por medio del análisis dinámico incremental de un sistema dual de hormigón armado con diferentes niveles de irregularidad torsional.

UNIDAD Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres – Colombia. Respuesta dinámica del subsuelo y efectos de sitio. Manual de gestión de riesgos de desastres, 01 (78): 1-78, marzo /abril 2012.

VALDERRAMA, Christian & MEZA, José. Influencia de la interacción suelo estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas. Tesis para título. Lima, 2014.

VILLARREAL, Genner. Interacción suelo estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Revista internacional de ingeniería de estructuras, 2020, vol. 25, no 3, p. 311-332.

VISCARRA, Kevin Ricardo Proaño; SÁNCHEZ, Luis Mario Almache; CABRERA, Carlos Julio Cordero. Interacción Suelo–Estructura para edificaciones de hormigón armado, mediante modelos dinámicos. Domino de las Ciencias, 2022, vol. 8, no 4, p. 956-989.

ZAVALETA, L. Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Trujillo. Tesis para título. Trujillo, 2009.

APÉNDICES

ANEXOS N° 01 – MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Se observo que la estructura debió de modelar con la normativa vigente y poder considerar si cumple con el espectro de diseño actual, por lo que la unidad de análisis evaluado es el pabellón E – SENATI Cajamarca, por lo que se parte de los planos estructurales (Anexo N° 2)

Datos para los elementos de concreto armado

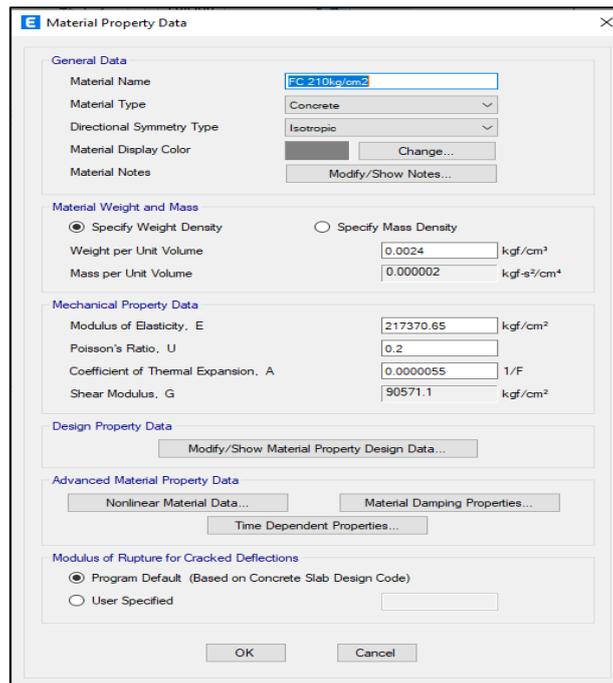
- Resistencia a la compresión del concreto : $f'_c = 210.00 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto : $E_c = 15000 f'_c{}^{0.5}$
: $E_c = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto armado : $\gamma = 2400.00 \text{ kg/m}^3$
- Relación de Poisson del concreto : $\mu = 0.20$
- Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo : $f_y = 4200.00 \text{ kg / cm}^2$

Datos para el acero

- Peso Unitario : $\gamma = 7850.0 \text{ Kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad : $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
- Relación de Poisson : $\mu = 0.30$
- Módulo de Corte : $G = 8 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$
- Esfuerzo de Fluencia : $F_y = 2530.0 \text{ Kg/cm}^2$
- Resistencia a la Fractura : $F_u = 4080.0 \text{ Kg/cm}^2$

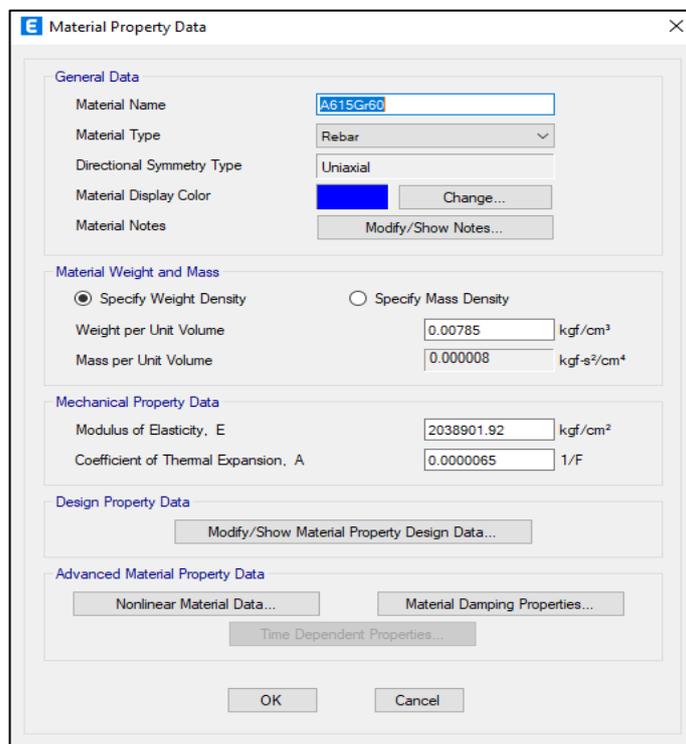
Se ingresaron los datos para el modelamiento de los elementos estructurales, empezando por el concreto

Figura N° 58. Definición de materiales en concreto



Luego se definió las características del acero con Grado 60.

Figura N° 59. Definición de materiales



Con el cumplimiento de los requisitos que exige la normativa E.060, diseño de concreto armado con las propiedades que debe de tener el acero, para grado 60, se definio las características necesarias para los elementos estructurales tanto como acero y concreto.

Se debe de definir los elementos estructurales en el Pabellon “E” para las columnas, presenta:

- Columna 50x50 cm
- Columna 50x110 cm en L
- Columna 50x100 cm en L
- Columna 170x50 cm e T

Figura N° 60. Determinación de sección de columnas estructurales

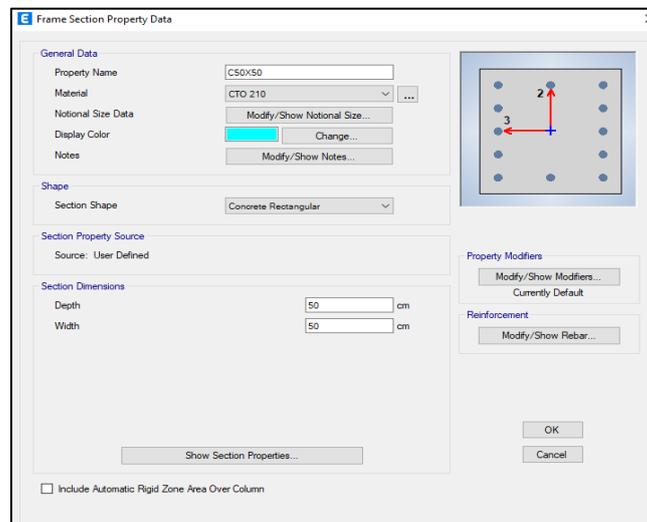


Figura N° 61. Creación de elementos estructurales

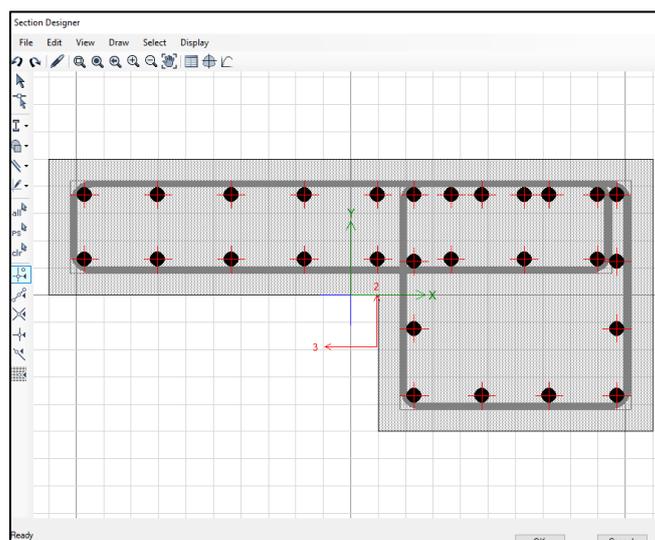
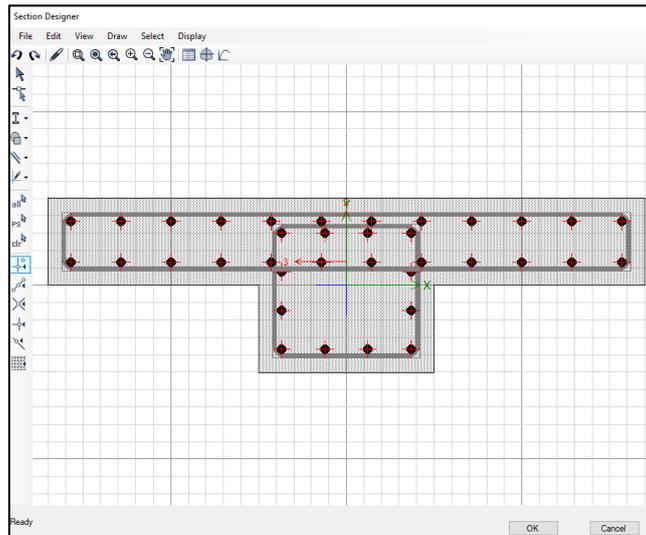


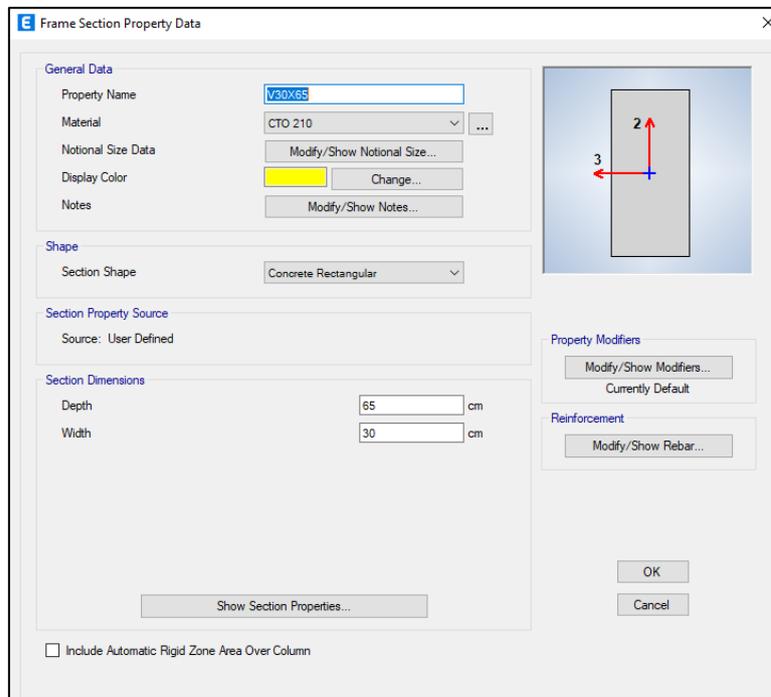
Figura N° 62. Creación de sección de vigas estructurales.



Se debe de definir los elementos estructurales en el Pabellon “E” para las vigas, presenta:

- Viga de 25x20 cm
- Vigas de 25x65 cm
- Vigas de 30x65 cm

Figura N° 63. Creación de sección de elementos estructurales columnas



Se debe de definió los elementos estructurales en el Pabellón “E” para las losas se modelo:

- Losa aligerada de 20 cm en dirección X-Y
- Losa aligerada de 25 cm en dirección X-Y

Figura N° 64. Creación de sección de losas

The image shows a software dialog box titled "Slab Property Data". It contains two main sections: "General Data" and "Property Data".

General Data:

- Property Name: ALIG 25-XY
- Slab Material: CTO 210
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thin
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: [Dark Grey] Change...
- Property Notes: Modify/Show...

Property Data:

- Type: Waffle
- Overall Depth: 25 cm
- Slab Thickness: 5 cm
- Stem Width at Top: 10 cm
- Stem Width at Bottom: 10 cm
- Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 1-Axis: 40 cm
- Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 2-Axis: 40 cm

Buttons: OK, Cancel

Se debe de definió los elementos estructurales en el Pabellon “E” para las placas se modelo:

- Placa de 25 cm

Figura N° 65. Creación de placas

The image shows a software dialog box titled "Wall Property Data". It contains two main sections: "General Data" and "Property Data".

General Data:

- Property Name: PLACA 25
- Property Type: Specified
- Wall Material: fc 210kg/cm2
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thin
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: [Red] Change...
- Property Notes: Modify/Show...

Property Data:

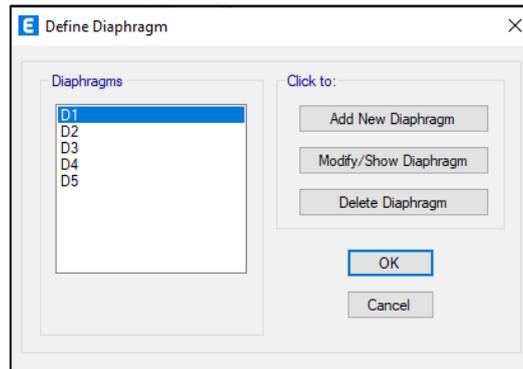
- Thickness: 25 cm
- Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

Buttons: OK, Cancel

Por lo que se modelara en base al plano de estructuras en el Anexo N° 02 en los Planos E-03, E-04, E-05 y E-07.

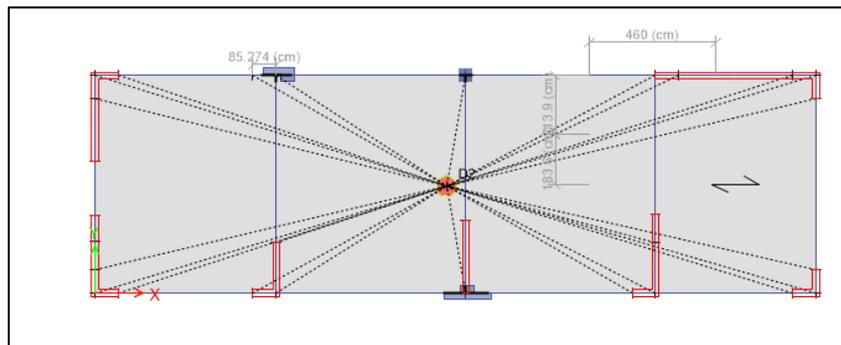
Una vez colocado los elementos estructurales se deben de asignar los diafragmas y los brazos.

Figura N° 66. Creación de diafragmas



Generados los diafragmas debemos de asignar a cada losa

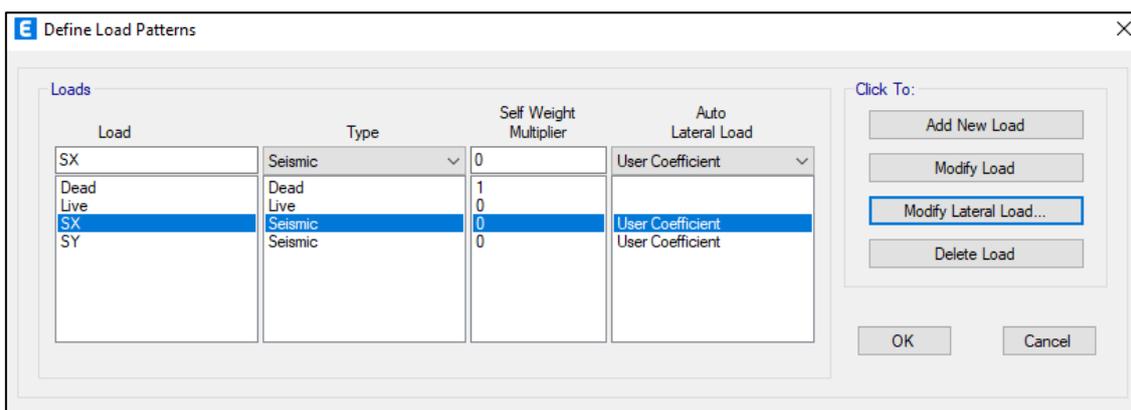
Figura N° 67. Asignación de diafragmas



Asignación de diafragma a cada losa.

Por lo que ahora se deben de definir las cargas que tiene para el calculo del sismo en la cortante basal, se definió las cargas (load)

Figura N° 68. Creación de Load Patterns



Por lo que se estableció el espectro de diseño de acuerdo a la norma actual, en base a la normativa E.030 y la caracterización del suelo con los parámetros que establece en irregularidad.

- Factor de Zona $Z = 0.35$ (Cajamarca, Cajamarca)
- Factor de Uso $U = 1.50$ (edificación esencial)
- Factor de Amplificación Sísmica $C = 2.5(T_p/T) \leq 2.5$
- Factor de Suelo $S = 1.15$ (Suelo intermedio)
 $T_p = 0.60$ seg
 $TL = 2.00$ seg
- Factor de reducción de capacidad $R = 6$ (Muros estructurales)
- Regularidad estructural Regular

Donde se generó el espectro de respuesta de pseudo aceleración a partir de lo planteado en la normativa: $S_a / g = ZUCS / R$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (aceleración de la gravedad)

Figura N° 69. Figura de espectro de aceleración

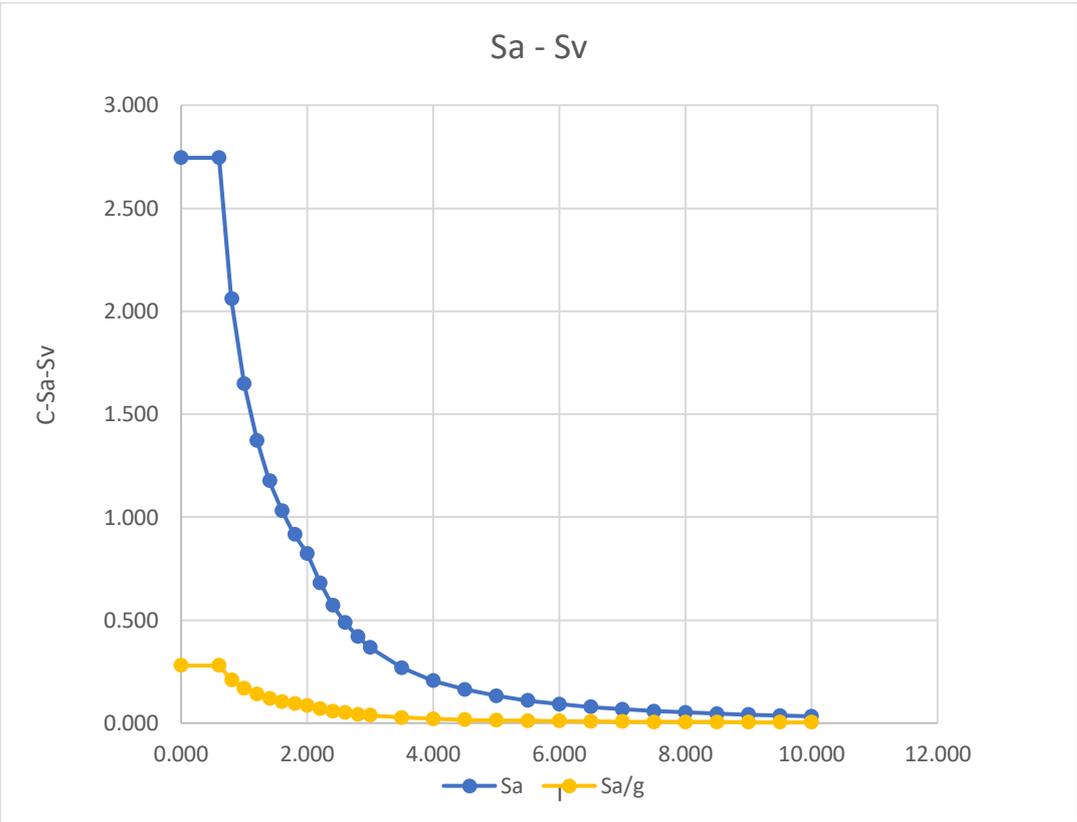
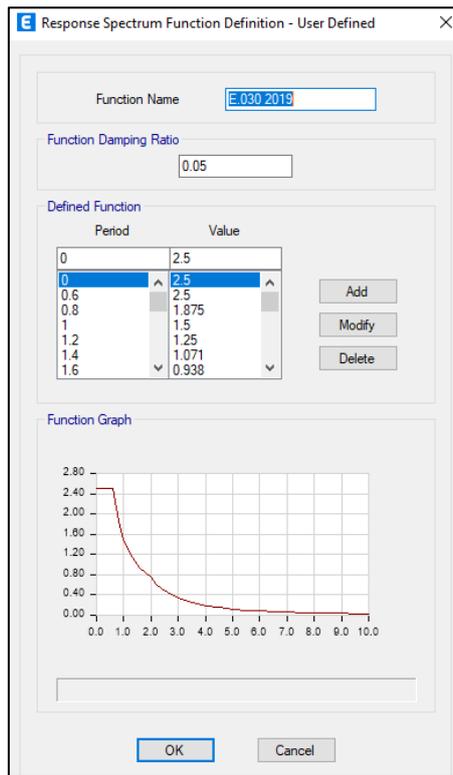


Tabla N° 45.T vs C

| T (seg) | C |
|---------|-------|
| 0 | 2.50 |
| 0.6 | 2.50 |
| 0.8 | 1.875 |
| 1 | 1.500 |
| 1.2 | 1.250 |
| 1.4 | 1.071 |
| 1.6 | 0.938 |
| 1.8 | 0.833 |
| 2 | 0.750 |
| 2.2 | 0.620 |
| 2.4 | 0.521 |
| 2.6 | 0.444 |
| 2.8 | 0.383 |
| 3 | 0.333 |
| 3.5 | 0.245 |
| 4 | 0.188 |
| 4.5 | 0.148 |
| 5 | 0.120 |
| 5.5 | 0.099 |
| 6 | 0.083 |
| 6.5 | 0.071 |
| 7 | 0.061 |
| 7.5 | 0.053 |
| 8 | 0.047 |
| 8.5 | 0.042 |
| 9 | 0.037 |
| 9.5 | 0.033 |
| 10 | 0.030 |

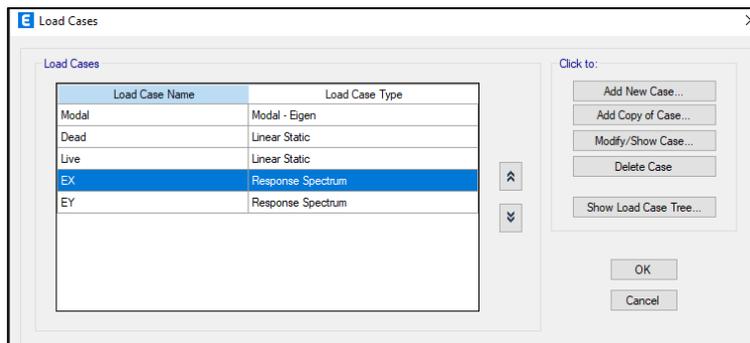
Se ingreso al Etabs para la generación del espectro de diseño

Figura N° 70. Asignación de espectro de respuesta



Ahora debemos de definió los casos de cargar (load case), para el análisis de la estructura, por lo que debemos de analizar la estructura con el sismo en la dirección X y Y.

Figura N° 71. Asignación de Load Case.



Para cada caso de sismo se configuro el espectro de respuesta en la dir

Figura N° 72. Asignación de valores de diseño de espectro en X

Load Case Data

General

Load Case Name: EX Design...
 Load Case Type: Response Spectrum Notes...
 Mass Source: Previous (MS1)
 Analysis Model: Default

Loads Applied

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|--------------|-----------|------------|--------------|
| Acceleration | U1 | E.030 2019 | 1156.5 |

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

Se establece los parámetros de aceleración espectral para la dirección U1 o X

Figura N° 73. Asignación de valores de diseño de espectro en X.

Load Case Data

General

Load Case Name: EY Design...
 Load Case Type: Response Spectrum Notes...
 Mass Source: Previous (MS1)
 Analysis Model: Default

Loads Applied

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|--------------|-----------|------------|--------------|
| Acceleration | U2 | E.030 2019 | 1492 |

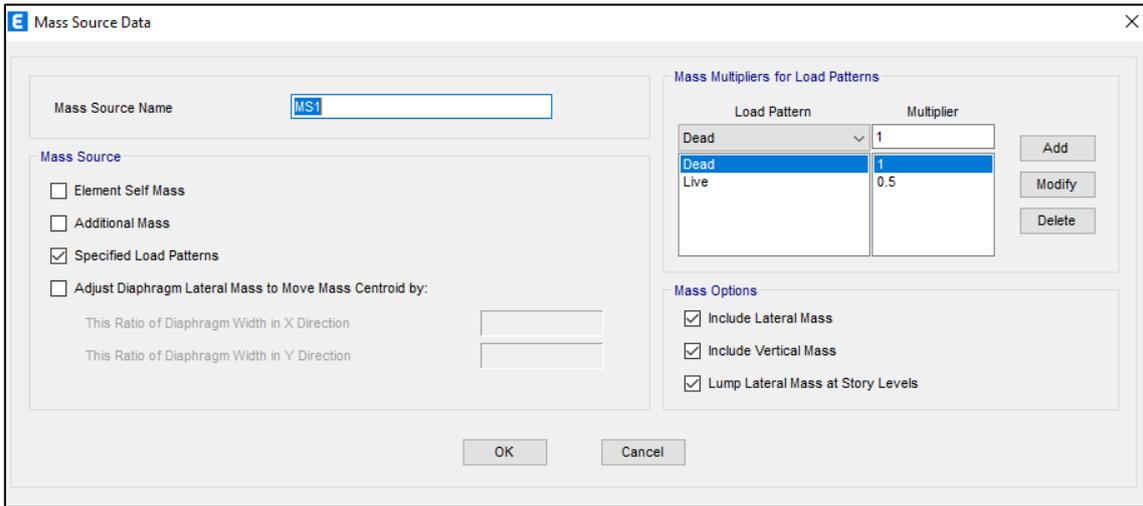
Other Parameters

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

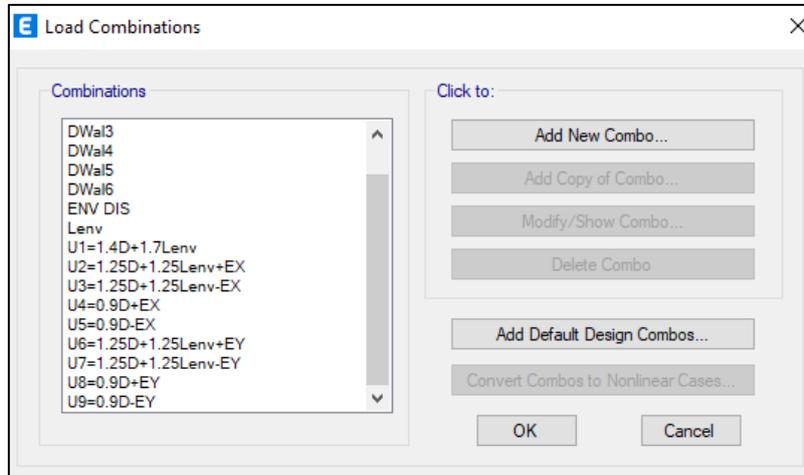
Se establece los parámetros de aceleración espectral para la dirección U1 o Y.

Figura N° 74. Asignación de masa sísmica



Se configuro la masa de la estructura como indica la norma 0.5 de live y 1 dead.

Figura N° 75. Asignación de combinación de cargas.



Por lo que es necesario establecer los combos de diseño establecido

- 1.4D+1.7L
- 1.25D+1.25L+EX
- 1.25D+1.25L-EX
- 1.25D+1.25L-EY
- 1.25D+1.25L+EY
- 0.90D+EX
- 0.90D-EY

Por lo que debemos de colocarlo en una envolvente para observar el comportamiento de la estructura.

Figura N° 76. Asignación de combo de diseño

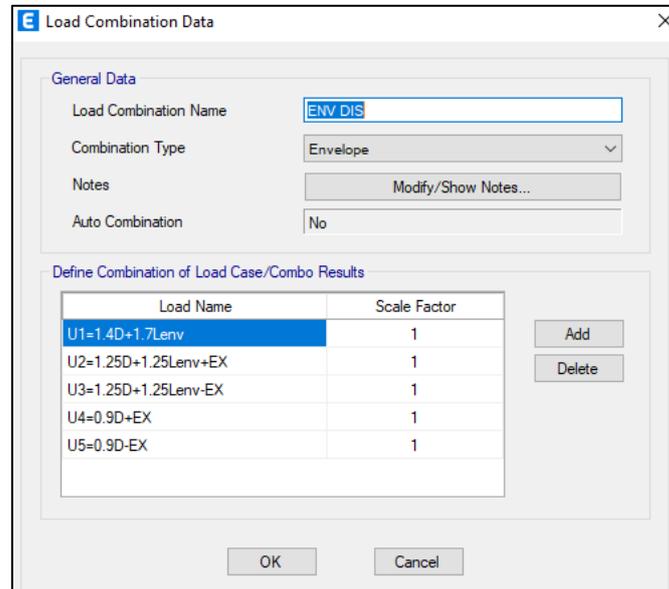
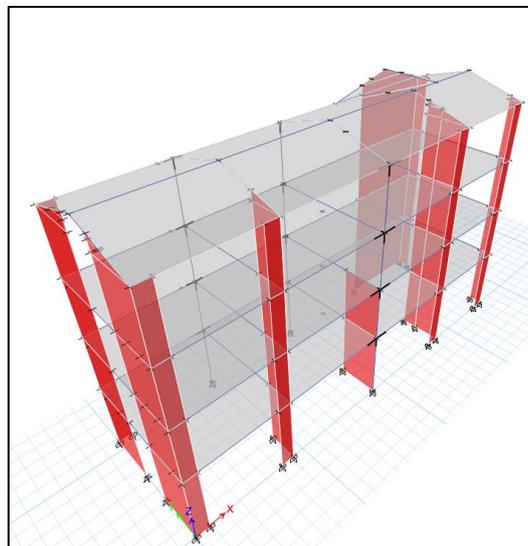
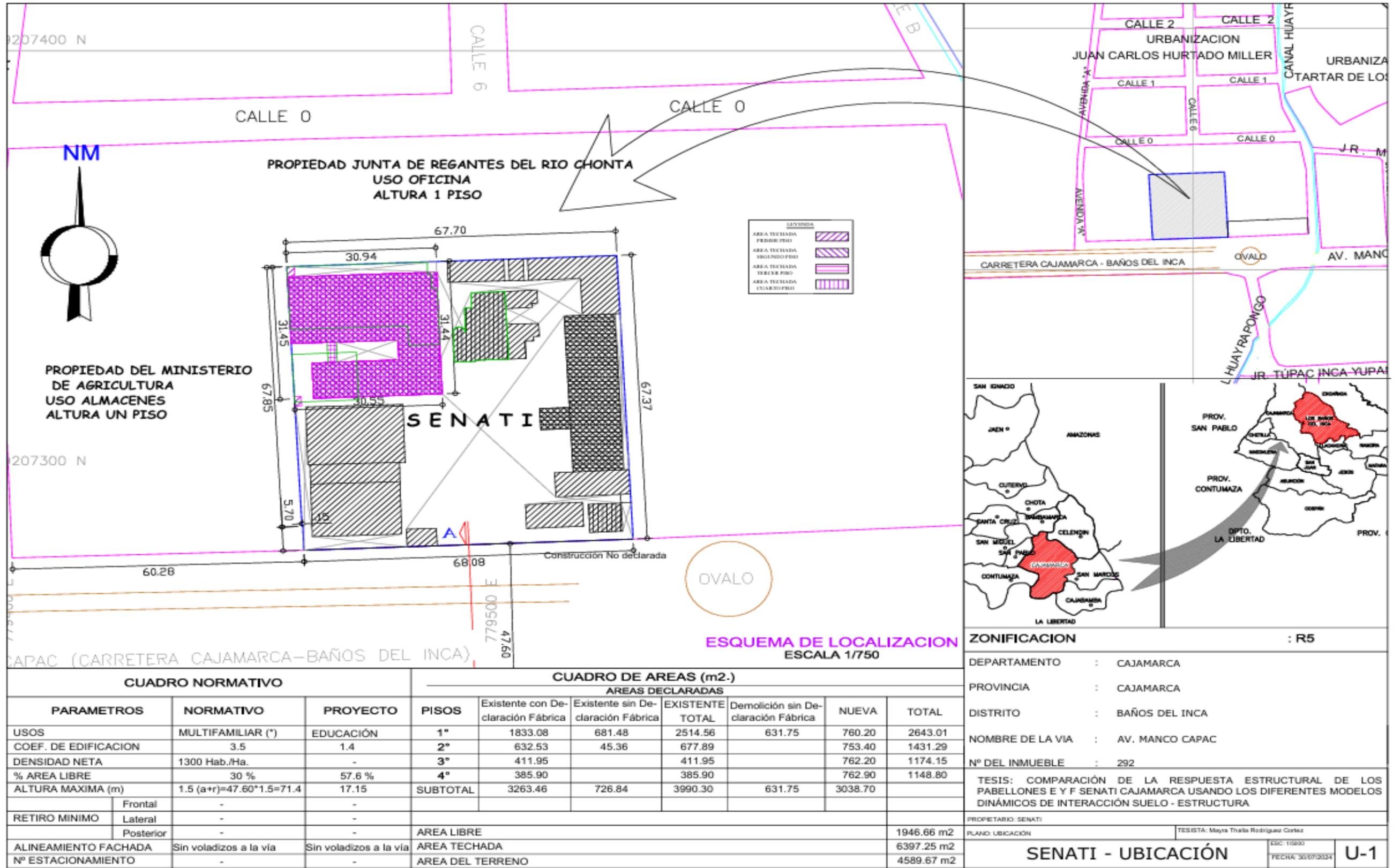


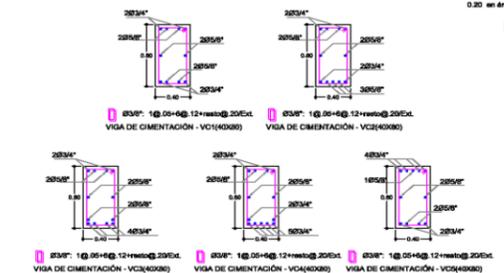
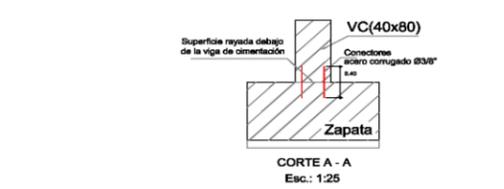
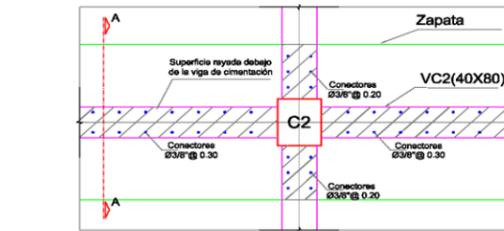
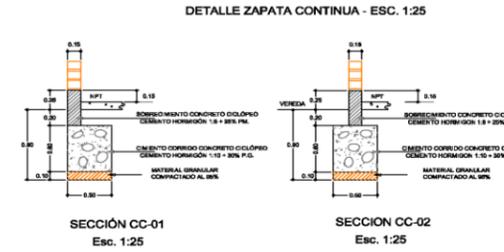
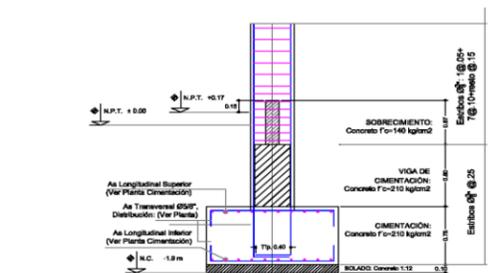
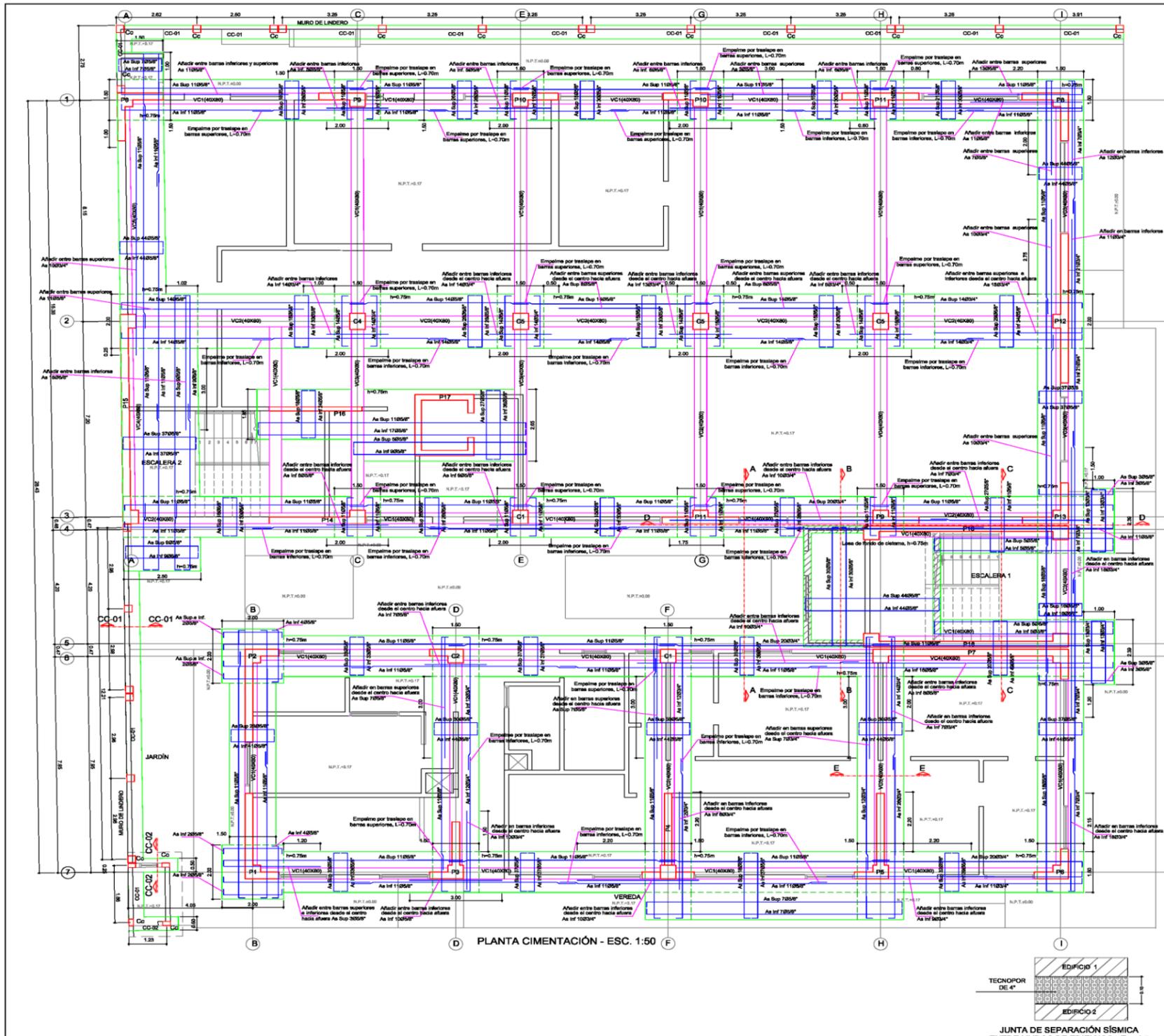
Figura N° 77. Modelamiento del Pabellón E.



ANEXOS N° 02 – PLANO DE UBICACIÓN



ANEXOS N° 03 – PLANO DE ESTRUCTURAS



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO
 $q_f = 1.27 \text{ Kg/cm}^2$ (Según Estado de Suelos)

ESTRATO DE APOYO DE LA CIMENTACIÓN
 Grava mediana con arena
 No debe compactarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, cenizas o sulfatos expansivos. Estos materiales traccionados deberán ser removidos en su totalidad, y reemplazados con material seleccionado.

TIPO DE CIMENTACIÓN
 Zapatas continuas rígidas, con vigas de cimentación, de concreto armado, con Cemento Portland Tipo MS, debiéndose usar preferentemente concreto premezclado.

MATERIAL DE RELLENO
 Relleno DW Compactado al 95% MDS.

SOBRECARGAS DE DISEÑO
 Las sobrecargas de diseño consideradas, son las mínimas establecidas por el Reglamento Nacional de Edificaciones, para Centros Urbanos.

CONDICIONES Y EXCELSIONES
 400 Kg/m²
 Techos: 50 Kg/m²
 Con cubiertas livianas: 30 Kg/m²

BLOQUE A
 Nivel 2: 250 Kg/m²
 Nivel 3: 300 Kg/m²
 Nivel 4: 250 Kg/m²

BLOQUE B
 Nivel 2: 400 Kg/m²
 Nivel 3: 300 Kg/m²
 Nivel 4: 250 Kg/m²
 Nivel 5: 250 Kg/m²

CONCRETO ARMADO
 ASTM A-615M fy = 4200 Kg/cm²

CONCRETO
 Fc = 210 Kg/cm²

REQUISITOS
 1) Cimentación, vigas de cimentación, columnas, pilares y losas.
 2) Columnas y vigas de confinamiento de estribos.
 3) Losas, columnas y vigas chatas.
 4) Cajas de neblón.
 5) Cajas de neblón.
 6) Superficie en contacto con el terreno = 7.5 cm.
 7) Carga superior y lateral = 5 cm.

CONCRETO SIMPLE
 Fc = 100 Kg/cm²
 Fc = 140 Kg/cm² + 30% P.D.
 Fc = 140 Kg/cm² + 20% P.M.

ALBAÑILERÍA
 En todo caso utilizar ladrillo pendiente de arcilla de fabricación industrial. En muros de cerco utilizar ladrillo adido de arcilla de fabricación industrial. Ladrillos Tipo III de dimensiones 9 x 13 x 24 cm.
 Revestidos a la compresión Fm = 50 Kg/cm²
 Mortero = 1:4

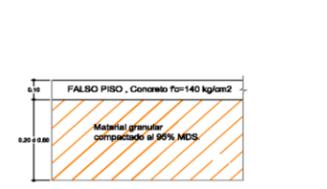
PARAMETROS SÍSMICOS Norma E.030 - D.S. 011-2018-VIVIENDA
 2 - 1.35
 FACTOR DE ZONA SISMICA S = 1.15
 FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO Ts = 2.0
 PERIODO: Tp = 0.8
 Ts = 2.0

CATEGORÍA Y FACTOR DE USO DE LA EDIFICACIÓN "A", U = 1.50
 COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE FUERZA SISMICA R = 6.0
 BLOQUE A, B y ESCALERA - dirección X (Muros Estructurales) R = 6.0
 BLOQUE ESCALERA - dirección Y (Impulso, tp = 0.8) (Pórticos) R = 6.0

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA CONTRAFLECHAS
 La contraflecha se materializará desde el encofrado, de acuerdo a las medidas especificadas en planos.

PERIODO DE VIBRACIÓN DE LOS EDIFICIOS

| EDIFICIO | Tx (seg) | Ty (seg) |
|---------------------|----------|----------|
| BLOQUE A | 0.313 | 0.414 |
| BLOQUE B | 0.398 | 0.500 |
| BLOQUE DE ESCALERAS | 0.116 | 0.333 |



| PLANO DE REFERENCIA | NOTAS | CARGO | HOMBRE | REGISTRO PROFESIONAL | EMPLEADOR | PROYECTO | FECHA |
|--|-------|-----------|------------------------------|----------------------|---|---|--------------------------|
| 1. DISTRIBUCIÓN PLANTAS PRIMER Y SEGUNDO PISO (A-01) | | DISEÑADO: | ING. JOSÉ RAÚL ROLAN CULQUI | 7964 | EMPRESA INGENIERIA CONSULTORA S.A. (E.I.C.S.A.) | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE CUBIERTURAS - CPP CALAMARCA | 10 de septiembre de 2018 |
| 2. | | DESEÑADO: | ING. JOSÉ LUIS VÁSQUEZ | 7964 | EMPRESA INGENIERIA CONSULTORA S.A. (E.I.C.S.A.) | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE CUBIERTURAS - CPP CALAMARCA | 10 de septiembre de 2018 |
| 3. | | REVISADO: | ING. JOSÉ URTEAGA RECERRA | 2639 | EMPRESA INGENIERIA CONSULTORA S.A. (E.I.C.S.A.) | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE CUBIERTURAS - CPP CALAMARCA | 10 de septiembre de 2018 |
| 4. | | APROBADO: | ING. HORACIO URTEAGA RECERRA | 22816 | EMPRESA INGENIERIA CONSULTORA S.A. (E.I.C.S.A.) | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE CUBIERTURAS - CPP CALAMARCA | 10 de septiembre de 2018 |



ANEXOS N° 04 – ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS



HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS SRL
 Domicilio social: Jr. La Mar N° 224 - Telefax: 076-365288
 RUC: 20453782761
 www.hurteco.com

| | |
|--------------|--|
| PROYECTO: | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE COBERTURAS – CFP CAJAMARCA |
| SOLICITANTE: | SERVICIO NACIONAL DE ADIESTRAMIENTO EN TRABAJO INDUSTRIAL (SENATI) |
| UBICACIÓN: | LUGAR: SENATI / DISTRITO: BAÑOS DEL INCA / PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: CAJAMARCA |

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

| | | | |
|--------------------|----------|-----------------------|------------|
| CALICATA N°: | C - 2 | NIVEL FILTRACIÓN (m): | N.P. |
| PROFUNDIDAD TOTAL: | - 3.00 m | FECHA: | 25/09/2015 |

| DESCRIPCIÓN | | | | ESTRATO N° 1 | ESTRATO N° 2 | ESTRATO N° 3 | ESTRATO N° 4 | | |
|---|-------------|----------------------------------|--------------|--|-------------------------|---|--|--|--|
| PROFUNDIDAD: | | | | 0.00 - 1.20 m. | 1.20 - 3.00 m. | | | | |
| MUESTRA NÚMERO: | | | | S/M | M1 | | | | |
| CLASIFICACIÓN | | | | S.U.C.S.: | Pt | GP - GM | | | |
| | | | | SIMBOLO: | |  |  | | |
| | | | | DESCRIPCIÓN | | MEZCLA DE ARCILLA ORGÁNICA CON RELLENO NO CONTROLADO | Grava mal graduada con limo y arena, no plástica. | | |
| CONSISTENCIA | | ARCILLAS/LIMOS | ARENAS | GRÁVAS | | 2 | FIN DE EXCAVACIÓN | | |
| | 1 | MUY SUAVE | MUY SUELTA | MUY SUELTA | | | | | |
| | 2 | SUAVE | SUELTA | SUELTA | | | | | |
| | 3 | FRÍE | ± DENSA | ± COMPACTA | | | | | |
| | 4 | DURA | DENSA | COMPACTA | | | | | |
| 5 | MUY DURA | MUY DENSA | MUY COMPACTA | | | | | | |
| PLASTICIDAD | NP | NO PLÁSTICA | | | | NP | | | |
| | BP | BAJA PLASTICIDAD | | | | | | | |
| | MP | MEDIANA PLASTICIDAD | | | | | | | |
| | AP | ALTA PLASTICIDAD | | | | | | | |
| HUMEDAD | Sa | SATURADO | | | H | H | | | |
| | H | HÚMEDO | | | | | | | |
| | S | SECO | | | | | | | |
| COLOR | | | | MARRÓN ROJIZO | GRIS AMARILLENTO OSCURO | | | | |
| TAMAÑO MÁXIMO EN PULGADAS | | | | 5" | 5" | | | | |
| PORCENTAJE DE PARTICULAS | > 20" | BLOQUES | | | - | - | | | |
| | > 12" - 20" | BOLONES | | | - | - | | | |
| | > 3" - 12" | CANTOS RODADOS | | | 10% | 10% | | | |
| | < 3" | FINOS, ARENAS Y GRAVAS | | | 90% | 90% | | | |
| ANGULOSIDAD DE LAS PARTICULAS GRUESAS | A | ANGULAR | | | SR | SR | | | |
| | SA | SUB ANGULAR | | | | | | | |
| | SR | SUB REDONDEADA | | | | | | | |
| | R | REDONDEADA | | | | | | | |
| PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO: SI / NO | | | | SI | NO | | | | |
| PRESENCIA DE OXIDACIONES: SI / NO | | | | NO | NO | | | | |
| MÉTODO DE EXCAVACIÓN | | | | CALICATAS A CIELO ABIERTO, EXCAVACIÓN MANUAL | | | | | |
| NIVEL DE EXCAVACIÓN | | | | NIVEL TERRENO NATURAL | | | | | |
| COORDENADAS UTM | EQUÍPO: | ESTACIÓN TOTAL LBCA TS06 PLUS S" | | ESTE | NORTE | COTA | | | |
| | SISTEMA: | WGS - 84 | | 779,481.939 | 9'207,331.750 | 2,670.00 | | | |



HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS SRL
 Domicilio social: Jr. La Mar N° 224 - Telefax: 076 - 365288
 RUC: 20453782761
 www.hurteco.com

| | |
|--------------|--|
| PROYECTO: | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE COBERTURAS – CFP CAJAMARCA |
| SOLICITANTE: | SERVICIO NACIONAL DE ADIESTRAMIENTO EN TRABAJO INDUSTRIAL (SENATI) |
| UBICACIÓN: | LUGAR: SENATI / DISTRITO: BAÑOS DEL INCA / PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: CAJAMARCA |

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

| | | | |
|--------------------|----------|-----------------------|------------|
| CALICATA N°: | C - 1 | NIVEL FILTRACIÓN (m): | N.P. |
| PROFUNDIDAD TOTAL: | - 3.00 m | FECHA: | 25/09/2015 |

| DESCRIPCIÓN | | ESTRATO N° 1 | ESTRATO N° 2 | ESTRATO N° 3 | ESTRATO N° 4 |
|---|------------------------|--|--|---------------|--------------|
| PROFUNDIDAD: | | 0.00 - 1.40 m. | 1.40 - 3.00 m. | | |
| MUESTRA NÚMERO: | | S/M | M1 | | |
| S.U.C.S.: | | Pt | GW - GM | | |
| SIMBOLO: | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | MEZCLA DE ARCILLA ORGÁNICA CON RELLENO NO CONTROLADO | Grava bien graduada con limo y arena, no plástica. | | |
| CONSISTENCIA | ARCILLAS/LIMOS | | | | |
| | 1 MUY SUAVE | MUY SUELTA | MUY SUELTA | | |
| | 2 SUAVE | SUELTA | SUELTA | | |
| | 3 BROME | ± DENSA | ± COMPACTA | | |
| | 4 DURA | DENSA | COMPACTA | | |
| 5 MUY DURA | MUY DENSA | MUY COMPACTA | | | |
| PLASTICIDAD | NP NO PLÁSTICA | | | | |
| | BP BAJA PLASTICIDAD | | | | |
| | MP MEDIANA PLASTICIDAD | | | | |
| | AP ALTA PLASTICIDAD | | | | |
| HUMEDAD | Sa SATURADO | | | | |
| | H HÚMEDO | H | H | | |
| | S SECO | | | | |
| COLOR | | MARRÓN ROJIZO | GRIS AMARILLENTO OSCURO | | |
| TAMAÑO MÁXIMO EN PULGADAS | | - | 5" | | |
| PORCENTAJE DE PARTICULAS | > 20" | BLOQUES | - | - | |
| | > 12" - 20" | BOLONES | - | - | |
| | > 3" - 12" | CANTOS RODADOS | - | 10% | |
| | < 3" | FINOS, ARENAS Y GRAVAS | - | 90% | |
| ANGULOSIDAD DE LAS PARTICULAS GRUESAS | A ANGULAR | | | | |
| | SA SUB ANGULAR | | | | |
| | SR SUB REDONDEADA | | | | SR |
| | R REDONDEADA | | | | |
| PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO: SI / NO | | SI | NO | | |
| PRESENCIA DE OXIDACIONES: SI / NO | | NO | NO | | |
| MÉTODO DE EXCAVACIÓN | | CALICATAS A CIELO ABIERTO, EXCAVACIÓN MANUAL | | | |
| NIVEL DE EXCAVACIÓN | | NIVEL TERRENO NATURAL | | | |
| COORDENADAS UTM | EQUIPO: | ESTACIÓN TOTAL LBGA TS06 PLUS S" | | | |
| | SISTEMA: | WGS - 84 | 779,494.956 | 9'207,339.054 | 2,670.00 |

FIN DE EXCAVACIÓN

| | |
|--------------|--|
| PROYECTO: | CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE 4 PISOS Y CAMBIO DE COBERTURAS – CFP CAJAMARCA |
| SOLICITANTE: | SERVICIO NACIONAL DE ADIESTRAMIENTO EN TRABAJO INDUSTRIAL (SENATI) |
| UBICACIÓN: | LUGAR: SENATI / DISTRITO: BAÑOS DEL INCA / PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: CAJAMARCA |

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

| | | | |
|--------------------|----------|-----------------------|------------|
| CALICATA N°: | C - 3 | NIVEL FILTRACIÓN (m): | N.P. |
| PROFUNDIDAD TOTAL: | - 3.00 m | FECHA: | 25/09/2015 |

NF=2.80

| DESCRIPCIÓN | | ESTRATO N° 1 | ESTRATO N° 2 | ESTRATO N° 3 | ESTRATO N° 4 |
|---|------------------------|---|--|-----------------|--------------|
| PROFUNDIDAD: | | 0.00 - 1.20 m. | 1.20 - 3.00 m. | | |
| MUESTRA NÚMERO: | | S/M | M1 | | |
| S.U.C.S.: | | Pt | GP - GM | | |
| SIMBOLO: | |  |  | | |
| DESCRIPCIÓN | | MEZCLA DE ARCILLA ORGÁNICA CON RELLENO NO CONTROLADO | Grava mal graduada con limo y arena, no plástica. | | |
| CONSISTENCIA | ARCILLAS/LIMOS | | | | |
| | 1 MUY SUAVE | MUY SUELTA | MUY SUELTA | | |
| | 2 SUAVE | SUELTA | SUELTA | | |
| | 3 BEME | ± DENSA | ± COMPACTA | | 2 |
| | 4 DURA | DENSA | COMPACTA | | |
| 5 MUY DURA | MUY DENSA | MUY COMPACTA | | | |
| PLASTICIDAD | NP NO PLÁSTICA | | | | |
| | BP BAJA PLASTICIDAD | | | | |
| | MP MEDIANA PLASTICIDAD | | | | NP |
| | AP ALTA PLASTICIDAD | | | | |
| HUMEDAD | Sa SATURADO | | | | |
| | H HÚMEDO | H | H / Sa | | |
| | S SECO | | | | |
| COLOR | | MARRÓN ROJIZO | GRIS AMARILLENTO OSCURO | | |
| TAMAÑO MÁXIMO EN PULGADAS | | | 5" | | |
| PORCENTAJE DE PARTICULAS | > 20" | BLOQUES | | | |
| | > 12" - 20" | BLOQUES | | | |
| | > 3" - 12" | CANTOS RODADOS | | 10% | |
| | < 3" | FINOS, ARENAS Y GRAVAS | | 90% | |
| ANGULOSIDAD DE LAS PARTICULAS GRUESAS | A ANGULAR | | | | |
| | SA SUB ANGULAR | | | | |
| | SR SUB REDONDEADA | SR | SR | | |
| | R REDONDEADA | | | | |
| PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO: SI / NO | | SI | NO | | |
| PRESENCIA DE OXIDACIONES: SI / NO | | NO | NO | | |
| MÉTODO DE EXCAVACIÓN | | CALICATAS A CIELO ABIERTO, EXCAVACIÓN MANUAL | | | |
| NIVEL DE EXCAVACIÓN | | NIVEL TERRENO NATURAL | | | |
| COORDENADAS UTM | EQUIPO: | ESTACIÓN TOTAL LBCA TS06 PLUS S" | | | |
| | SISTEMA: | WGS - 84 | 779,468,037 | 9°20',33.00"054 | 2,669.80 |

FIN DE EXCAVACIÓN