



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Desarrollo de tecnología alterna para evaluar el comportamiento
sísmico de edificaciones regulares sobre suelos flexibles,
Huancayo**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Pichihua Lagos, Denis (ORCID: 0000-0002-6161-3367)

ASESOR:

M.Sc. Clemente Condori, Luis Jimmy (ORCID: 0000-0002-0250-4363)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Mi tesis la dedico a mi familia por estar siempre apoyándome, dándome consejos, ellos son la razón de mi vida todo lo que soy es por ellos y que sin su ayuda todo esto sería complicado.

Mucho de mis logros se los debo a ellos en especial esta tesis porque me enseñaron a luchar por lo que me gusta alcanzar mis sueños.

Agradecimiento

De: Pichihua Lagos, Denis

Agradecer a Dios y a mi familia que gracias a ellos estoy donde estoy, por todos sus consejos e inmensa sabiduría. Así mismo agradecer a mi asesor de tesis, M.Sc. Clemente Condori Luis Jimmy que con su ayuda pudimos realizar una tesis óptima para nuestra exposición.

Índice de contenido

| | |
|---|------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenido | v |
| Índice de gráficos y figuras..... | vii |
| Índice de tablas | ix |
| Índice de anexos | x |
| Índice de abreviaturas | xi |
| RESUMEN | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Formulación del problema | 2 |
| 1.2. Justificación..... | 3 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.4. Hipótesis..... | 4 |
| 1.5. Delimitación..... | 4 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 10 |
| III. METODOLOGÍA..... | 34 |
| 3.1. Tipo y Diseño de investigación..... | 34 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 34 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo | 35 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 36 |
| 3.5. Procedimientos..... | 37 |
| 3.6. Aspectos éticos | 62 |
| 3.7. Método de análisis de datos..... | 62 |
| IV. RESULTADOS..... | 63 |
| V. DISCUSIÓN | 70 |
| VI. CONCLUSIONES | 73 |
| VII. RECOMENDACIONES | 75 |

| | |
|-------------------|----|
| REFERENCIAS | 77 |
| ANEXOS | 80 |

Índice de gráficos y figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Módulo de rigidez a corte G_{max} | 12 |
| Figura 2. Degradación de la rigidez del suelo..... | 12 |
| Figura 3. Parámetros para el cálculo de resortes. | 14 |
| Figura 4. Modelos de cálculo para determinar la matriz de rigidez lateral. | 17 |
| Figura 5. Coordenadas locales para una viga con rigidez axial infinita. | 18 |
| Figura 6. Coordenadas locales para una columna totalmente flexible. | 18 |
| Figura 7. Transformación a las coordenadas globales. | 19 |
| Figura 8. Ejemplo de Vector de colocación. | 21 |
| Figura 9. Coordenadas principales en rojo y secundarias en azul. | 21 |
| Figura 10. Modelo simplificado con resortes del suelo. | 23 |
| Figura 11. Modelo simplificado de una estructura plana de 2 pisos. | 25 |
| Figura 12. Distribución de velocidades. | 26 |
| Figura 13. Mapa de zonificación sísmica del Perú. | 28 |
| Figura 14. Modelo simplificado de un grado de libertad. | 28 |
| Figura 15. Amortiguamiento para el modelo de un grado de libertad. | 30 |
| Figura 16. Modelo tridimensional de la estructura de 15 pisos..... | 38 |
| Figura 17. Planta típica de configuración regular. | 39 |
| Figura 18. Modelo 3D en Etabs V18 del edificio regular de 2 pisos. | 42 |
| Figura 19. Primer modo de vibración, edificio regular de 2 pisos (Etabs V18). ... | 42 |
| Figura 20. Modelo en plano de la edificación regular de 2 pisos. | 43 |
| Figura 21. Modos de vibración del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna). | 44 |
| Figura 22. Modelo 3D del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18). | 44 |
| Figura 23. Primer modo de vibración, edificio regular de 6 pisos (Etabs V18). ... | 45 |
| Figura 24. Modelo plano del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna). | 46 |
| Figura 25. Modos de vibración del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna). | 47 |
| Figura 26. Modelo 3D del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18). | 47 |
| Figura 27. Primer modo de vibración, edificio regular de 15 pisos (Etabs V18). . | 49 |
| Figura 28. Modelo plano de la edificación de 15 pisos con muros estructurales. 49 | |
| Figura 29. Modos de vibración del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna). | 51 |
| Figura 30. Desplazamiento inelástico del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna). 52 | |

| | |
|--|----|
| Figura 31. Derivas de entrepiso del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna)..... | 53 |
| Figura 32. Desplazamiento inelástico del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna). | 54 |
| Figura 33. Derivas de entrepiso del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna)..... | 55 |
| Figura 34. Desplazamiento inelástico, edificio regular de 15 pisos (T. Alterna)... | 57 |
| Figura 35. Derivas de entrepiso del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna)..... | 57 |
| Figura 36. Momentos flectores del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18). | 58 |
| Figura 37. Momentos flectores del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18). | 59 |
| Figura 38. Momentos flectores del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18). | 61 |
| Figura 39. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de los valores propios. | 63 |
| Figura 40. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la frecuencia natural..... | 64 |
| Figura 41. Precisión de la T. Alterna en el cálculo del periodo fundamental. | 65 |
| Figura 42. Precisión de la T. Alterna, cálculo del desplazamiento inelástico..... | 66 |
| Figura 43. Precisión de la T. Alterna, cálculo de la deriva máxima de entrepiso. 66 | |
| Figura 44. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la fuerza axial critica. | 67 |
| Figura 45. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la fuerza cortante critica... 68 | |
| Figura 46. Precisión de la T. Alterna en el cálculo del momento flector crítico.... 69 | |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Tipos de perfiles de suelo (NEC-SE-DS, 2015).</i> | 11 |
| Tabla 2. <i>Tipos de perfiles de suelo (E030, 2018).</i> | 11 |
| Tabla 3. <i>Factor de reducción de rigidez del suelo.</i> | 13 |
| Tabla 4. <i>Rigideces para vigas de cimentación y zapatas aisladas.</i> | 15 |
| Tabla 5. <i>Tabla de confiabilidad alfa de Cronbach.</i> | 37 |
| Tabla 6. <i>Descripción de los objetos de estudio.</i> | 38 |
| Tabla 7. <i>Manual de instrucciones del programa de computo.</i> | 40 |
| Tabla 8. <i>Propiedades dinámicas, edificación regular de 2 pisos (Etabs V18).</i> | 42 |
| Tabla 9. <i>Propiedades dinámicas, edificación regular de 2 pisos (T. Alterna).</i> | 43 |
| Tabla 10. <i>Propiedades dinámicas del edificio de 6 pisos (Etabs V18).</i> | 45 |
| Tabla 11. <i>Propiedades dinámicas del edificio de 6 pisos (T. Alterna).</i> | 46 |
| Tabla 12. <i>Propiedades dinámicas del edificio de 15 pisos (Etabs V18).</i> | 48 |
| Tabla 13. <i>Propiedades dinámicas de la edificación de 15 pisos.</i> | 50 |
| Tabla 14. <i>Deformación lateral del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).</i> | 51 |
| Tabla 15. <i>Deformación lateral del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).</i> | 52 |
| Tabla 16. <i>Deformación lateral del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).</i> | 53 |
| Tabla 17. <i>Deformación lateral del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).</i> | 54 |
| Tabla 18. <i>Deformación lateral del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).</i> | 55 |
| Tabla 19. <i>Deformación lateral del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).</i> | 56 |
| Tabla 20. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).</i> ... 58 | |
| Tabla 21. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).</i> ... 59 | |
| Tabla 22. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).</i> ... 60 | |
| Tabla 23. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).</i> ... 60 | |
| Tabla 24. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).</i> 61 | |
| Tabla 25. <i>Fuerzas internas críticas del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).</i> .. 62 | |
| Tabla 26. <i>Precisión de la T. Alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas.</i> 63 | |
| Tabla 27. <i>Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la deformación lateral.</i> | 65 |
| Tabla 28. <i>Precisión de la T. Alterna, fuerzas internas críticas en columnas.</i> | 67 |
| Tabla 29. <i>Precisión de la T. Alterna en el cálculo del comportamiento sísmico.</i> ... 69 | |

Índice de anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia | 81 |
| Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables..... | 82 |
| Anexo 3. Tecnología alterna..... | 83 |
| Anexo 5. Fichas de recolección de datos. | 100 |

Índice de abreviaturas

- FPi. factores de participación modal
- \emptyset . Factor de forma por corte de la sección
- \emptyset_i . Forma de vibración i
- \emptyset_i^t . Transpuesta de la forma de vibración i
- ΔK_e . Matriz del elemento ordenado para sumarse a K
- A. Área de la sección transversal
- a y b. Lados de la cimentación
- be. Área de la cimentación efectiva
- C. Factor de amplificación de la estructura
- e. Número de elementos
- E. Módulo de elasticidad del material
- F_i. Fuerzas máximas
- g. Aceleración de la gravedad
- G. Módulo de corte
- h. Altura de la estructura de un grado de libertad
- h_i. Altura del piso considerado desde la base
- I. Inercia a flexión de la sección transversal
- J. Vector de incidencia que relaciona los grados de libertad con el movimiento del suelo
- K. Rigidez de la estructura de un grado de libertad, Matriz de rigidez total de la estructura
- K_d. Rigidez de desplazamiento de la cimentación con interacción del suelo
- K_L. Matriz de rigidez lateral
- K_r. Rigidez de rotación de la cimentación con interacción del suelo
- L. Longitud del elemento
- M. Matriz de masa
- m_i. Masa en el piso i
- M_v. Momento de volcamiento con base empotrada
- n. Número total de pisos de la estructura, Total de elementos de la estructura
- \emptyset . Modos de vibración

- q. Vector de coordenadas generalizadas
- Q. vector de coordendas generalizadas
- q_i. Desplazamientos máximos elásticos
- Qa. Coordenadas principales
- Qb. Coordenadas secundarias
- qi. Desplazamiento inelástico del piso de estructura empotrada en la base
- R. Factor de reducción sísmica que depende del material de la estructura
- RRSb. Factor de reducción del espectro
- S. Matriz unitaria en triangulo superior, Factor del tipo de suelo
- Sa. Aceleración espectral
- T. Periodo de la estructura con la base empotrada, Periodo del espectro, Periodo de vibración, Matriz de transformación
- Tp y TL. Periodos de vibración que dependen del tipo de suelo
- Ts. Periodo de la estructura con interacción con el suelo
- U. Factor de uso del edificio
- V. Cortante sísmica con base empotrada
- V_i. Fuerzas cortantes
- Vs. Cortante sísmica con interacción suelo estructura
- w. Frecuencia de vibración
- Z. Factor de zona

RESUMEN

El tema de investigación tratado se refiere al desarrollo de tecnología alterna para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones regulares sobre suelos flexibles, Huancayo. Para lo cual se planificó como objetivo principal determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible, como metodología se aplicó el método analítico, debido que este método es apropiado para este tipo de investigaciones. Los resultados obtenidos fueron en las propiedades dinámicas variaciones promedio de 0.28, -0.24 y 0.25 % para los edificios de 1, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las deformaciones laterales las variaciones promedio son de -46.15, -24.46 y -9.13 % y en las fuerzas internas críticas las variaciones promedio son de -0.78, -5.77 y 2.27 %. La investigación muestra como conclusión que la tecnología alterna obtiene resultados semejantes en el cálculo de las propiedades dinámicas y fuerzas internas del edificio. Sin embargo, los resultados obtenidos para las deformaciones laterales son diferentes, sobretodo en edificios de baja altura, debido al modelo dinámico simplificado utilizado en la tecnología alterna, a diferencia del modelado por elementos finitos del software Etabs V18. La importancia de esta investigación radica en la contribución de herramienta de computo escrito en código de Matlab, que realiza el análisis sísmico de edificaciones regulares con interacción suelo – cimentación - estructura, bajo las especificaciones de la norma peruana y la metodología de la norma estadounidense ASCE-10 y la NERPH-NIST-2012. Que solucionara los problemas presentados en la enseñanza académica como en las oficinas de diseño, para mejorar el entendimiento y la práctica del diseño sismo resistente.

Palabras claves: Comportamiento sísmico, Interacción suelo – estructura, suelos flexibles, edificaciones regulares.

ABSTRACT

The research topic discussed refers to the development of alternative technology to evaluate the seismic behavior of regular buildings on flexible soils, Huancayo. For which the main objective was to determine the precision of the alternative technology in the calculation of the seismic behavior of regular buildings on flexible soil, as a methodology the analytical method was applied, because this method is appropriate for this type of research. The results obtained were in the dynamic properties average variations of 0.28, -0.24 and 0.25% for the buildings of 1, 6 and 15 floors respectively. Similarly, in the lateral deformations the average variations are -46.15, -24.46 and -9.13% and in the critical internal forces the average variations are -0.78, -5.77 and 2.27%. The research shows as a conclusion that the alternative technology obtains similar results in the calculation of the dynamic properties and internal forces of the building. However, the results obtained for lateral deformations are different, especially in low-rise buildings, due to the simplified dynamic model used in alternative technology, unlike the finite element modeling of the Etabs V18 software. The importance of this research lies in the contribution of a computer tool written in Matlab code, which performs the seismic analysis of regular buildings with soil - foundation - structure interaction, under the specifications of the Peruvian standard and the methodology of the American ASCE standard. -10 and the NERPH-NIST-2012. That it solve the problem of academic teaching as in design offices, to improve in this way the practice of earthquake resistant design.

Keywords: Seismic behavior, Soil-structure interaction, flexible soils, regular buildings.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional se sabe que los continentes se deslizan centímetros sobre la superficie de la tierra (BBC Ciencia, 2017). Debido a las corrientes convectivas que se presentan en el manto, debajo de ellas. Las placas están en constante fricción, en consecuencia, ocurren grandes temblores que se expanden a la superficie. Cuando dos placas chocan frontalmente una se introduce por debajo de la otra, generando zonas de subducción que son las más inestables. Entonces una de las placas se introduce hasta llegar al núcleo del manto en forma de magma.

En América Latina, las zonas más cercanas al océano pacífico son las más propensas a sufrir terremotos (DAMIÁN, 2018). Esto se debe al cinturón de fuego que se extiende por 40000 kilómetros sobre la placa tectónica del pacífico y otras más pequeñas. Países como Japón, Perú, Chile y la costa oeste de Estados Unidos están sobre la unión de estas placas. Las placas tectónicas son losas macizas de la corteza terrestre que están en movimiento constante una contra la otra provocando fricción, la energía se acumula y al liberarse se desencadena un terremoto. Las placas se mueven un promedio de algunos centímetros por año, pero durante un terremoto, pueden moverse varios metros por segundo.

El problema identificado es la norma E030 que regula el análisis sísmico de las estructuras en el Perú se basa en modelos simplificados de base empotrada, quedando desfasada a comparación de normas internacionales como la Rusa SNIP-II-7-81, la Norma Boliviana de Diseño sísmico NBDS-2006, norma EE.UU. NIST GCR 12-917-21 ó Norma Japonesa para la construcción; que incluyen la flexibilidad del suelo representado por los modelos de interacción suelo – cimentación - estructura. Según Los modelos de base empotrada que contempla la norma peruana no describen el comportamiento real del edificio, ya que no se considera la flexibilidad del suelo de fundación.

En consecuencia, las edificaciones que se apoyan sobre suelos flexibles experimentan mayores periodos de las formas de vibración, mayores deformaciones de piso, además de acrecentar las fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores (VILLARREAL, 2017). La flexibilidad del suelo acrecienta las máximas deformaciones del centro de masa en un rango de 7.6% a 49.4%. La

deformación del edificio debe predecirse de manera realista para contemplar su impacto en las personas, garantizar la estabilidad y disminuir la pérdida económica del propietario.

La solución al problema identificado es el modelo de interacción suelo – cimentación - estructura con el cual se representa la flexibilidad del suelo. Según (VILLARREAL, 2009) existen diversos modelos que deberían ser incorporadas en el análisis sísmico, porque otorgan propiedades al suelo de fundación, que es capaz de disipar las cargas que actúan en la edificación, así como la estimación de las verdaderas fuerzas que soportará en un comportamiento más realista.

El aporte del presente estudio es la creación de un sistema de computación escrito en código de Matlab, que realiza el análisis sísmico de edificaciones regulares sobre suelo flexible, bajo las especificaciones de la norma peruana y la metodología de la norma estadounidense ASCE-10 y la NERPH-NIST-2012.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Problema general

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se plantea el Problema general:

¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible?

1.1.2. Problemas específicos:

De acuerdo a las dimensiones de la variable dependiente se plantean los siguientes problemas específicos:

- ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible?
- ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de las edificaciones regulares sobre suelo flexible?
- ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas máximas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible?

1.2. Justificación

Con la finalidad de justificar estos problemas, se redacta la justificación teórica y práctica.

Justificación teórica

Se menciona que, se presenta el modelo de interacción suelo – estructura de la norma estadounidense ASCE/SEI 7-10, que separan la rigidez del amortiguamiento que produce el suelo en interacción con la cimentación y define que las fuerzas de corte en el modelo de base flexible se deben calcular con las aceleraciones de la estructura de base empotrada. Además; se presenta las fórmulas de Gazetas (1991) modificadas por Mylonakis (2006) para el cálculo de los resortes de rigidez para cimentaciones que recomienda la guía estadounidense NERPH-NIST-2012.

justificación práctica

En cuanto a la justificación práctica se menciona que, el sistema de computación desarrollado en código Matlab contiene el procedimiento detallado del cálculo del comportamiento sísmico de edificaciones regulares incluyendo los modelos de base rígida y flexible. Que será útil en la enseñanza académica como en las oficinas de diseño, para mejorar de esta manera la práctica del diseño sismo resistente de las futuras construcciones.

Justificación social

En cuanto a la justificación social se menciona la necesidad de la evaluación estructural de las construcciones en lugares donde la flexibilidad del suelo tendrá protagonismo en el comportamiento global de la estructura, como por ejemplo en ciudades como Moyobamba en la Región de San Martín, que fue considerado en la actualización de la norma peruana sismo resistente E030 del 2016, como Zona de peligro 3, debido a que en gran parte de esta región se encontraron suelos flexibles con capacidad admisible menores a 1.3 Kg/cm².

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

En relación al problema general planteado se formula el siguiente objetivo general:

Determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.

1.3.2. Objetivos específicos

En relación a los problemas planteados, se formulan los siguientes objetivos específicos:

- Definir la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.
- Definir la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.
- Mostrar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas máximas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación espacial

La aplicación de este método se orienta a evaluar las características estructurales de edificaciones regulares ubicadas en cualquier región de nuestro país, por lo tanto se considera de una aplicación de carácter general.

1.4.2. Delimitación temporal

La investigación se realizó en un periodo de 4 meses iniciando en febrero y culminando el de mayo de 2022.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

(OLIVERA, 2021), realizó la tesis de titulación: “Influencia de la interacción suelo estructura en el análisis y diseño estructural de edificios de concreto armado, Urb. Álamos, Wánchaq, Cusco - 2021”, en la Universidad Cesar vallejo en Lima - Perú, que tuvo como objetivo principal estimar los efectos de los modelos de interacción suelo estructura en el diseño de estructuras de hormigón reforzado. Fue un estudio cuantitativo de nivel explicativo, donde los instrumentos fueron plantillas de Excel, software de modelamiento y los reglamentos vigentes, la muestra fue una vivienda multifamiliar de 6 pisos de concreto armado, los resultados fueron el acrecentamiento de las distorsiones en un 200% y 255% en la dirección X e Y respectivamente, el acrecentamiento de los modos de vibración donde el periodo fundamental acrecienta en un 172%, la reducción del corte del primer piso de -32% y - 17% en la dirección X e Y respectivamente. La investigación concluye que el diseño de la edificación que contempla la interacción suelo – estructura son positivos a pesar de las pequeñas diferencias, el acero en los elementos estructurales varía y también el dimensionado de las columnas de 0.30x0.60m a 0.30x0.90m, aumentando en un 50% en el primer nivel.

(BRAMÓN, 2020), Realizó la tesis de titulación: “Análisis dinámico comparativo del comportamiento sísmico del Edificio Multifamiliar Salamanca de Monterrico 10 mediante los modelos de interacción suelo - estructura, Ate 2020”, en la Universidad Cesar vallejo en Lima - Perú, que tuvo como objetivo principal estudiar los efectos de los modelos de interacción suelo estructura en análisis sísmico de la estructura multifamiliar Salamanca de Monterrico 10. Fue un estudio tipo aplicada de diseño experimental, donde los instrumentos fueron un programa computacional, la muestra fue el edificio multifamiliar Salamanca de Monterrico 10, los resultados fueron: Para el modelo de base empotrada, el periodo fundamental es 0.875 s, el máximo desplazamiento es 2.64 cm y la cortante de piso es 110.9 Ton; Para el modelo de base flexible M.Barkan, el periodo fundamental es 1.065 s, el máximo desplazamiento es 3.32 cm y la cortante de piso es 100.93 Ton; Para el modelo de

base flexible Norma Rusa, el periodo fundamental es 0.98 s, el desplazamiento máximo es 2.98 cm y la cortante de piso es 103.9 Ton; finalmente para el modelo de base flexible M. Sargian, el periodo fundamental es 1.11 s, el desplazamiento máximo es 3.51 cm y la cortante de piso es 100.27 Ton. La investigación concluye que la influencia de la base flexible M. Barkan, Norma Rusa y M. Sargian, en el periodo fundamental es de 121.71%, 112.00% y 126.97% respectivamente, en el desplazamiento máximo es de 86.62%, 94.89% y 83.24% y el cortante de piso es de 100.93%, 103.90% y 100.27%.

(RIOS, 2020), realizó la tesis de titulación: “Análisis de la interacción sísmica suelo estructura en un edificio con sistema de muros estructurales sometido a diferentes perfiles de suelo, Trujillo 2020”, en la Universidad Privada del Norte Trujillo - Perú, que tuvo como objetivo principal estudiar los efectos de la interacción sísmica suelo – estructura en análisis sísmico de un sistema de muros estructurales sobre distintos suelos en la ciudad de Trujillo. Fue un estudio tipo aplicada de diseño transversal descriptivo, donde los instrumentos los software informáticos Etabs y Microsoft Excel, la muestra fue una estructura de muros estructurales de 11 niveles con platea de cimentación en la ciudad de Trujillo, los resultados fueron el acrecentamiento de las deformaciones del primer piso de 44.6% a 125.7% en la dirección X para el suelo S1 con el modelo Barkan y Norma boliviana, el acrecentamiento de las deformaciones de 72.4% a 120.2% para el suelo S2 con la norma Rusa y Norma Boliviana respectivamente, se incrementa las deformaciones a 54.02%, 86.89%, 59.40% y 50.27% al pasar de un suelo S1 a un suelo S2 con la norma peruana, Barkan, Norma Rusa y Norma Boliviana respectivamente. La investigación concluye que la flexibilidad del suelo de fundación con una platea de cimentación disminuye las fuerzas internas independientemente del modelo de interacción suelo estructura utilizado.

(VELASQUEZ, 2019), realizó la tesis de titulación: “Efectos del suelo arcilloso en el comportamiento sísmico de un edificio de 8 pisos con sistema estructural Dual, Perene – Junín 2018”, que tuvo como objetivo principal estimar los efectos del suelo arcilloso en el análisis sísmico de una estructura dual de 8 niveles. Fue un estudio tipo aplicada de nivel explicativo, donde los instrumentos fueron una cedula técnica y el software informático Etabs, la muestra fue el modelo de un Hotel de 8 pisos con

sistema Dual, los resultados fueron que los suelos arcillosos acrecientan las deformaciones de 0.031m a 0.037m en el eje Y y de 0.023m a 0.026m en X, en las vigas las fuerzas máximas de corte se reducen hasta un 33.57% y los máximos momentos en un 32.14%, en las columnas se reducen las fuerzas axiales hasta un 29.05%, las fuerzas de corte hasta un 23.25% y los momentos flectores hasta un 25.74%, en las placas las fuerzas de corte se reducen en un 31.80% y los momentos flectores en un 11.53%, por último, las derivas aumentan en 7%. La investigación concluye que los efectos del suelo arcillo en el comportamiento sísmico es significativo por lo que la estructura tiene que ser rediseñada para cumplir con las especificaciones de la norma peruana E030.

(NEYRA, y otros, 2019), realizó la tesis de titulación: “Influencia de la interacción sísmica suelo - estructura en el análisis sísmico de edificaciones aporticados sobre zapatas aisladas debido al cambio de geometría y condiciones geotécnicas”, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de Lima - Perú, que tuvo como objetivo principal estimar los efectos de la interacción suelo estructura en el comportamiento sísmico en estructuras aporticados debido a la variación de la geometría y condiciones de suelo. Fue un estudio tipo básico de nivel explicativo, donde los instrumentos los software informáticos Etabs, la muestra fue 4 modelos de edificaciones aporticados de 3, 5, 7 y 9 pisos sobre zapatas aisladas, los resultados fueron para los modelos 3, 5, 7 y 9, que los periodos aumentan en 1.15% al cambiar del suelo S1 al S2 y aumenta en 100% al pasar del suelo S2 al S3, las derivas en el modelo de 3 niveles aumenta en 45.58% en un suelo S1, aumenta en 51.35% en un suelo S2 y aumenta en 102.61% en un suelo S3. La investigación concluye que no resulta significativa los efectos del modelo de interacción suelo - cimentación – estructura en estructuras apoyadas sobre suelos rígidos S1 e intermedios S2. No obstante, si es significativa sobre suelos blandos S3, por lo tanto, se recomienda considerar la participación de estos modelos en el análisis sísmico de las estructuras.

2.1.2. Internacionales

(ARANCIBIA, 2020), realizó la tesis de titulación: “Estudio del efecto de la interacción suelo estructura en edificios bajos de albañilería”, en la Universidad de Chile, que tuvo como objetivo principal mejorar la predicción del desempeño de

estructuras de albañilería a través del desarrollo de modelos de elementos finitos que representen el fenómeno de interacción suelo estructura. Fue un estudio diseño experimental, donde los instrumentos fueron programas de computación, las muestras fueron un edificio de estructura aporticada de 4 pisos, los resultados fueron: Para el modelo de base empotrada la aceleración máxima fue de 0.784 g, la velocidad máxima 0.053 m/s y el desplazamiento máximo 0.005 m, mientras para el modelo de base flexible la aceleración máxima fue 0.785 g. La investigación concluye que el efecto de la interacción suelo estructura afecta el comportamiento de la respuesta para estructuras con periodos bajo los 2 segundos, rango que en el que se encuentra la mayoría de edificaciones y en todos los tipos de suelo donde conocer el periodo asociado a este es de gran importancia para predecir los efectos de este fenómeno, observando una mayor incidencia en periodos cortos y en el caso que la estructura entra en resonancia.

(LÓPEZ, 2020), realizó la tesis de maestría: “Análisis de la respuesta dinámica estructural considerando los efectos de la Interacción suelo – estructura limitada a los requisitos de la NEC-SE-DS-2015”, en la Universidad EAFIT de Ecuador, que tuvo como objetivo principal evaluar la influencia del comportamiento sísmico de una estructura considerando modelos de interacción suelo estructura. Fue un estudio tipo aplicada de nivel explicativo, donde los instrumentos fueron programas de computación, las muestras fueron 2 edificios de huéspedes de 22 y 13 pisos (A y B) con cimentaciones tipo cajón, los resultados fueron: El edificio A caso 1 consiguió un aumento del periodo del 7.38% y el amortiguamiento disminuyó en 6%, los desplazamientos máximos y derivas se redujeron aproximadamente 7%, para el caso 2 el periodo aumentó 11.38% y el amortiguamiento disminuyó en 8%, los desplazamientos máximos y derivas se redujeron aproximadamente 15%. En el edificio B el periodo aumentó 22.80% y el amortiguamiento disminuyó en 12%, los desplazamientos máximos y derivas redujeron entre 30% y 34%. La investigación concluye que la relación directa que hay entre la Rigidez Relativa y el período ISE en los casos estudiados, mientras mayor es el valor de RR también hay un mayor porcentaje de incremento del periodo por efectos ISE.

(TENA, 2019), realizó el artículo científico: “interacción suelo-estructura. reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos”, para

la revista internacional de ingeniería de estructuras en México, que tuvo como objetivo principal dar a conocer que los efectos de la interacción suelo - estructura puede ser significativo en estructuras sobre suelos rígidos e intermedios. Fue un estudio de nivel exploratorio, donde los instrumentos fueron programas de computación, la muestra fue el edificio parque de España de 9 pisos con losa de cimentación, los resultados fueron: Que en la dirección más vulnerable la estructura, la interacción suelo estructura provoca el 41.8% de la deformación lateral del tope, mientras que la estructura participa con solo el 30.6%. La investigación concluye en alternativas de reestructuración del edificio del parque de España para la reducción del riesgo de colisión con las estructuras adyacentes, como el acoplamiento de disipadores histeréticos de energía, aminoración del peso o de niveles, reforzamiento de columnas, incorporación de diagonales y la combinación de éstas.

(AGUIAR, y otros, 2017), realizaron el artículo científico: “Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando Interacción suelo - estructura”, para la revista internacional de ingeniería de estructuras en Ecuador, que tuvo como objetivo principal realizar el análisis sísmico de un edificio ubicado en la ciudad de Manta sobre un suelo flexible. Fue un estudio tipo básico de nivel descriptivo, donde los instrumentos fueron programas de computación, la muestra fue un edificio de 12 pisos de concreto armado cimentado sobre vigas de cimentación, los resultados fueron derivas de piso no mayores a 0,70 % en los primeros diez pisos, que coincide con el leve daño que experimento la edificación, la deriva en los 2 últimos pisos fue del 1,40 % excediendo el límite de la norma, esto se debe a la configuración de este planta la cual no se contempló en el diseño original y solamente posee cuatro columnas. La investigación concluye en relación al modelo que consideró interacción suelo estructura que el factor de amplificación del suelo influyo muy poco en las deformaciones de la estructura por encontrarse en un suelo tipo C, y que las Vigas de cimentación tipo T influyen significativamente en el grado de empotramiento de la cimentación.

(AGUIAR, y otros, 2015), realizaron el artículo científico: “Interacción suelo estructura de edificios según ASCE-10 y la GUIA NERPH-NIST-2012”, en la Escuela Politécnica Nacional en Quito Ecuador, que tuvo como objetivo principal

revisar los efectos de daño causados por el movimiento del suelo de una estructura con zapatas aisladas. Fue un estudio tipo básico de nivel descriptivo, donde los instrumentos fueron programas de computación, la muestra fue una estructura de 5 pisos de sistema aporticado con zapatas aisladas de cimentación, los resultados fueron que existes cambios en las características dinámicas de la estructura para valores de V_{s30} menores a 400 m/s, para valores mayores la estructura se estabiliza. Las formas modales de la estructura con base empotrada son distintas a las formas modales de la estructura con resortes estable en roca ($V_{s30} > 750$ m/s), por lo cual no tienen comparación. La variabilidad de V_{s30} , solo afecta a periodos en el modo fundamental, teniendo valores altos de periodos para V_{s30} bajos, para valores altos de V_{s30} el periodo disminuye hasta el periodo de la estructura de base empotrada. Las aceleraciones espectrales por ende las acciones en la estructura son menores a las acciones de la estructura empotrada con valores de V_{s30} menos a 200 m/s. Los desplazamientos y derivas de piso son críticas para un rango de V_{s30} entre 150 m/s y 200 m/s. La investigación concluye que hay que tomar en cuenta que estos resultados presentados son válidos para el pórtico plano planteado, la influencia de la interacción suelo estructura puede ser trascendente en cimentaciones de mayor área.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tecnología alterna

La tecnología alterna es un conjunto de programas escritos en código de lenguaje de programación, desarrollados con el objetivo de optimizar procesos, tareas, actividades, etc. La tecnología alterna que se presenta en la presente investigación está desarrollada con las teorías de análisis y diseño sísmico e incluye un modelo de interacción suelo estructura para simular el comportamiento flexible de los suelos de acuerdo a los lineamientos de la norma estadounidense ASCE-10 y la NERPH-NIST-2012.

2.2.1.1. Modelo de interacción suelo estructura

a. Rigidez del suelo

En diversas recomendaciones internacionales, tales como las del NEHRP, la calidad del suelo superficial se indica mediante el promedio de la velocidad de propagación de las ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad V_{s30} (AGUIAR, y otros, 2017). De manera similar, la norma ecuatoriana de la construcción, en el capítulo de peligro sísmico NEC-15, proporciona la tabla 1 donde utiliza la velocidad promedio de las ondas de corte para la definición de los perfiles de suelo.

Tabla 1. Tipos de perfiles de suelo (NEC-SE-DS, 2015).

| Tipo | V_{s30} (m/s) | Descripción |
|------|--|-------------------------------|
| A | > 1,500 | Roda dura |
| B | 760 – 1,500 | Roca |
| C | 360 – 760 | Roca blanda y suelo muy denso |
| D | 180 – 360 | Suelo rígido |
| E | < 180 | Suelo blando |
| F | Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos) | |

Fuente: AGUIAR, y otros.

Tabla 2. Tipos de perfiles de suelo (E030, 2018).

| Tipo | V_{s30} (m/s) | Descripción |
|------|---|---------------------------|
| So | > 1,500 | Roda dura |
| S1 | 500 – 1,500 | Roca o suelos muy rígidos |
| S2 | 180 – 500 | Suelos intermedios |
| S3 | < 180 | Suelo blando |
| S4 | Clasificación basada en estudio de mecánica de suelos | |

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de rigidez a corte del suelo es el parámetro determinante en las propiedades del suelo, un elemento diferencial del suelo pierde rigidez conforme la onda sísmica sube a la superficie, es decir conforme la distorsión angular del elemento aumenta, la rigidez a corte del suelo disminuye. Ver figura 1. Según (GAZETAS, 2012), el amortiguamiento aumenta conforme el módulo de corte disminuye, problema del suelo de México. Ver figura 2.

Para obtener estos parámetros se debería realizar ensayos de laboratorio, la (ASCE/SEI 7-10, 2010) simplifico esto en función del inicio del espectro conocido

como $SDS/2.5$ y presenta la tabla 19.2-1, para efectos de este estudio se realizó una adaptación de la tabla mencionada y se indica la tabla 3 la cual a partir de la aceleración máxima en suelo (PGA) permite contemplar la degradación del módulo de rigidez (G). Según (AGUIAR, y otros, 2017), para valores medios se debe interpolar y para suelo tipo S4 es necesario realizar ensayos (a).

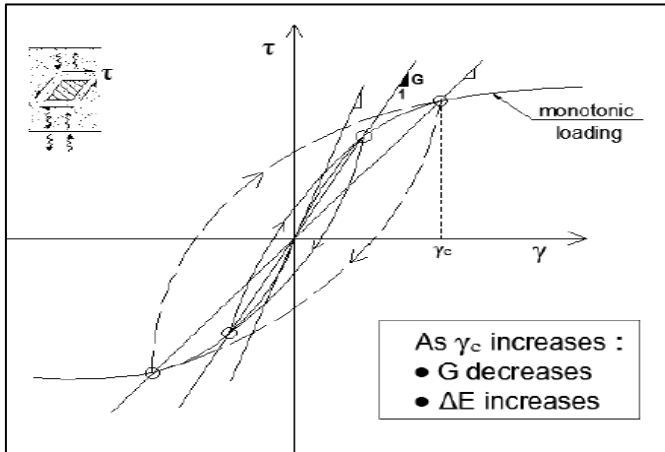


Figura 1. Módulo de rigidez a corte G_{max} .

Fuente: Gazetas (2012).

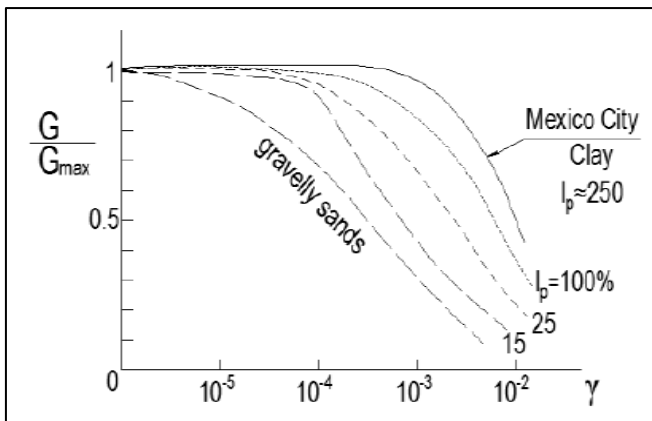


Figura 2. Degradación de la rigidez del suelo.

Fuente: Gazetas (2012).

Tabla 3. Factor de reducción de rigidez del suelo.

| Perfil de suelo | G/Gmax | | |
|-----------------|--------|------|-------|
| | PGA | | |
| | ≤ 0.1 | 0.4 | ≥ 0.8 |
| So | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| S1 | 0.95 | 0.75 | 0.60 |
| S2 | 0.90 | 0.50 | 0.10 |
| S3 | 0.60 | 0.05 | a |
| S4 | a | a | a |

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de rigidez a corte inicial o máximo (G_{max}) está en función de la velocidad de onda de corte (V_{s30}), parámetro dado como dato a partir de definir el tipo de suelo.

$$G_{max} = \frac{\gamma (V_{s30})^2}{g} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

V_{s30} : Velocidad de onda de corte promedio a 30 m de profundidad.

γ : Peso específico del suelo.

g : Gravedad.

Se obtiene la relación (G/G_{max}), y con esa proporción se calcula el módulo de corte del suelo con degradación de sismo (G).

$$G = \% G_{max} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por último, la velocidad de onda de corte con degradación de sismo V_s .

$$V_s = \sqrt{\frac{(G \cdot g)}{\gamma}} \quad (\text{Ec. 3})$$

b. Resortes para la cimentación

La guía (NEHRP NIST, 2012) promueve la aplicación de las ecuaciones de Gazetas (1991) y Mylonakis (2006). En estas ecuaciones el lado mayor de la cimentación esta siempre en el sentido de la dirección (x), en otras palabras, las coordenadas son locales y no globales como se muestra en la figura 3.

La frecuencia en la interacción suelo estructura es dependiente de la rigidez y el amortiguamiento. Por lo tanto, la rigidez del suelo se define como una función de impedancia.

$$K_j = k_j + i\omega x_j \quad (\text{Ec. 4})$$

En cambio la norma (NEHRP NIST, 2012) para que la rigidez dependa de las características de la cimentación separa la rigidez del amortiguamiento:

$$k = K \eta \alpha \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

K : Rigidez superficial de la cimentación.

η : Factor de desplante.

α : Factor de rigidez dinámica.

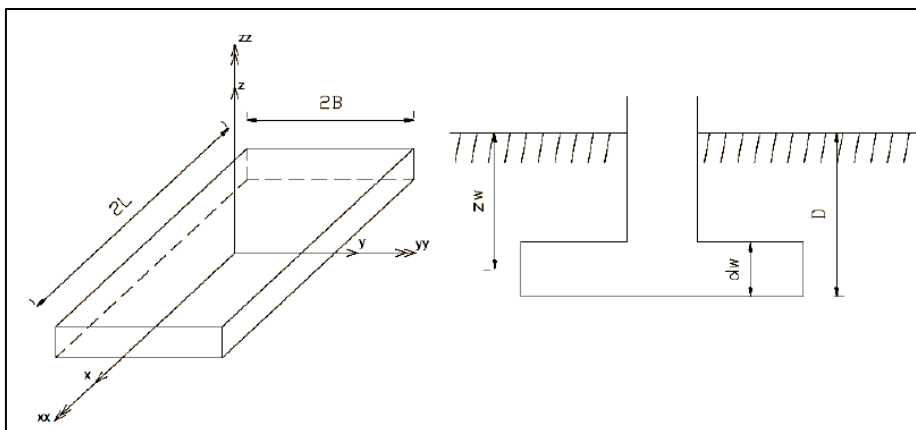


Figura 3. Parámetros para el cálculo de resortes.

Fuente: Gazetas, 2012.

Tabla 4. Rigideces para vigas de cimentación y zapatas aisladas.

| SENTIDO | RIGIDEZ SUPERFICIAL | FACTOR DE DESPLANTE | FACTOR RIGIDEZ DINÁMICA |
|--------------------|---|---|---|
| Rigidez z | $K_z = \frac{2GL}{1-\nu} \left[0.73 + 1.54 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.75} \right]$ | $\eta_z = \left[1 + \frac{D}{21B} \left(1 + 1.3 \frac{B}{L} \right) \right] \left[1 + 0.2 \left(\frac{A_w}{4BL} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$ | $\alpha_z = 1 - \left[\frac{\left(0.4 + \frac{0.2}{L/B} \right) a_o^2}{\left(\frac{10}{1 + 3(L/B - 1)} \right) + a_o^2} \right]$ |
| Rigidez y | $K_y = \frac{2GL}{2-\nu} \left[2 + 2.5 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.85} \right]$ | $\eta_y = \left[1 + 0.15 \sqrt{\frac{D}{B}} \right] \left[1 + 0.52 \left(\frac{Z_w A_w}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$ | $\alpha_y = 1$ |
| Rigidez x | $K_x = K_y - \frac{0.2GL}{0.75-\nu} \left[1 - \left(\frac{B}{L} \right) \right]$ | $\eta_x = \left[1 + 0.15 \sqrt{\frac{D}{B}} \right] \left[1 + 0.52 \left(\frac{Z_w A_w}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$ | $\alpha_x = 1$ |
| Torsión z | $K_{zz} = GJ^{0.75} \left[4 + 11 \left(1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right]$ | $\eta_{zz} = 1 + 1.4 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d_w}{B} \right)^{0.9}$ | $\alpha_{zz} = 1 - \left[\frac{\left(0.33 - 0.03 \sqrt{L/B - 1} \right) a_o^2}{\left(\frac{0.8}{1 + 0.33(L/B - 1)} \right) + a_o^2} \right]$ |
| Rotación yy | $K_{yy} = \frac{G}{1-\nu} I_y^{0.75} \left[3 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.15} \right]$ | $\eta_{yy} = 1 + 0.92 \left(\frac{d_w}{B} \right)^{0.6} \left[1.5 + \left(\frac{d_w}{D} \right)^{1.9} \left(\frac{B}{L} \right)^{-0.6} \right]$ | $\alpha_{yy} = 1 - \left[\frac{0.55 a_o^2}{\left(0.6 + \frac{1.4}{(L/B)^3} \right) + a_o^2} \right]$ |
| Rotación xx | $K_{xx} = \frac{G}{1-\nu} I_x^{0.75} \left(\frac{L}{B} \right)^{0.25} \left[2.4 + 0.5 \left(\frac{B}{L} \right) \right]$ | $\eta_{xx} = 1 + 1.26 \frac{d_w}{B} \left[1 + \frac{d_w}{B} \left(\frac{d_w}{D} \right)^{-0.2} \left(\frac{B}{L} \right)^{0.5} \right]$ | $\alpha_{xx} = 1 - \left[\frac{\left(0.55 + 0.01 \sqrt{L/B - 1} \right) a_o^2}{\left(2.4 + \frac{0.4}{(L/B)^3} \right) + a_o^2} \right]$ |

Fuente: NEHRP NIST, (2012).

Los resortes del suelo se calculan en función de las características de la cimentación como se muestra en la tabla 4. La norma (NEHRP NIST, 2012) también presenta una tabla parecida para los amortiguamientos. Dónde:

G : Módulo de rigidez degradada del suelo.

a_o : Factor que toma en cuenta la frecuencia de la estructura.

$$a_o = \frac{w B}{V_s} \quad (\text{Ec. 6})$$

w : Frecuencia del primer modo de vibración.

V_s : Velocidad de onda de corte con efecto de degradación de la rigidez del suelo.

Las demás variables se encuentran en la figura 13.

2.2.2. Comportamiento sísmico

2.2.2.1. Propiedades dinámicas

Matriz de rigidez lateral con base empotrada

a. Modelación numérica

La matriz de rigidez lateral (KL), está relacionada a las coordenadas laterales de piso considerando un modelo de “piso rígido” que se da cuando en el análisis sísmico se considera un solo grado de libertad horizontal por piso, incluyendo el grado de libertad horizontal para el movimiento del suelo (AGUIAR, 2012).

Hay dos maneras de modelar los miembros de un pórtico plano, frente la fuerza sísmica horizontal, como se muestra en la figura 4. A la izquierda se muestra la forma donde se considera que las vigas son axialmente rígidas y las columnas son totalmente flexibles y en el pórtico de la derecha se considera que todos los elementos son axialmente rígidos (AGUIAR, 2012).

b. Matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales

En el análisis sísmico de un pórtico plano, se recomienda modelar que todo el piso se desplaza lo mismo considerando que las vigas son axialmente rígidas ($A = \infty$) como se muestra en la figura 2 (AGUIAR, 2012). Además, se considera que las coordenadas locales coinciden con las coordenadas globales. La matriz de rigidez de los elementos siempre es simétrica con respecto a la diagonal principal.

Para la viga mostrada en la figura 5, la matriz de rigidez local es como se muestra a continuación.

$$k = \begin{vmatrix} raax & rabx & -raax & rbax \\ rabx & r11x & -rabx & r12x \\ -raax & -rabx & raax & -rbax \\ rbax & r21x & -rbax & r12x \end{vmatrix} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$r_{11x} = \frac{4EI_0}{L} \left(\frac{1 + \phi}{1 + 4\phi} \right)$$

$$r_{22x} = r_{11x}$$

$$r_{12x} = \frac{2 E I_0}{L} \left(\frac{1 - 2 \phi}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$r_{21x} = r_{12x}$$

$$r_{abx} = \frac{6 E I_0}{L^2} \left(\frac{1}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$r_{bax} = r_{abx}$$

$$r_{aax} = \frac{12 E I_0}{L^3} \left(\frac{1}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$\phi = \frac{3 E I_0 \beta}{G A_0 L^2}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del material.

I: Inercia a flexión de la sección transversal.

ϕ : Factor de forma por corte de la sección.

A: Área de la sección transversal.

G: Módulo de corte.

L: Longitud del elemento.

El factor (ϕ) contempla los efectos de corte, muchas veces se desprecia en el modelamiento de vigas y columnas, pero para muros de corte es muy importante este valor (TENA, 2007).

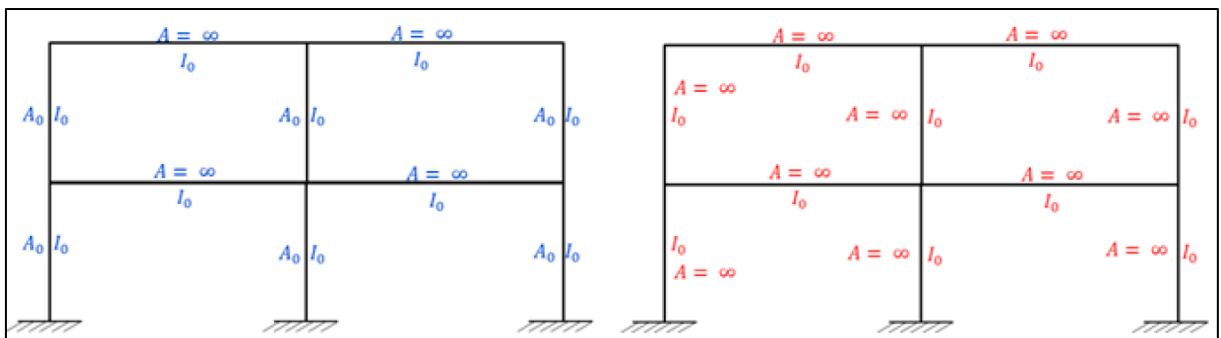


Figura 4. Modelos de cálculo para determinar la matriz de rigidez lateral.

Fuente: Aguiar, 2012, p.138.

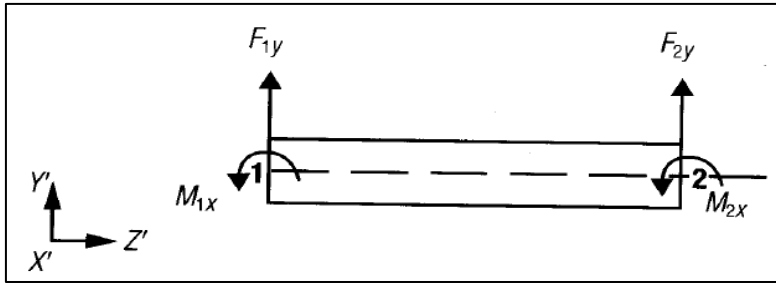


Figura 5. Coordenadas locales para una viga con rigidez axial infinita.

Fuente: Tena, 2007, p. 94.

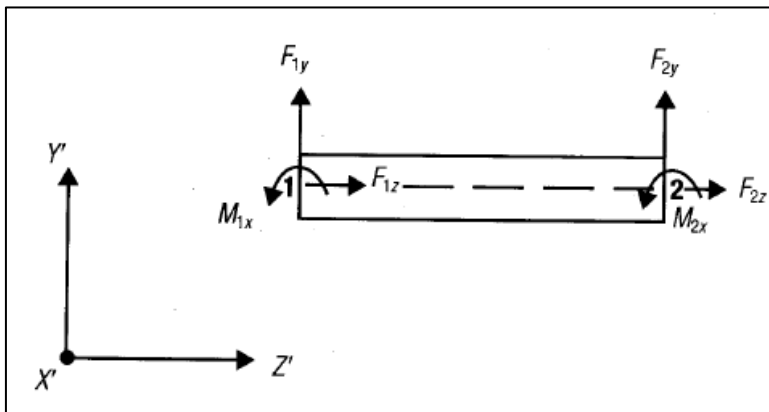


Figura 6. Coordenadas locales para una columna totalmente flexible.

Fuente: Tena, 2007, p. 96.

Para la modelación de las columnas, existen 2 maneras de hacerlo. Una forma es considerando el elemento totalmente flexible y otra es considerándolo axialmente rígido (AGUIAR, 2012). En la figura 3 mostramos la columna modelada totalmente flexible en coordenadas locales.

$$k = \begin{vmatrix} r_{az} & 0 & 0 & -r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & r_{aax} & r_{abx} & 0 & -r_{aax} & r_{abx} \\ 0 & r_{abx} & r_{11x} & 0 & -r_{abx} & r_{12x} \\ -r_{az} & 0 & 0 & r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & -r_{aax} & -r_{abx} & 0 & r_{aax} & -r_{abx} \\ 0 & r_{abx} & r_{21x} & 0 & -r_{abx} & r_{12x} \end{vmatrix} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$r_{az} = \frac{EA}{L}$$

c. Matriz de rigidez del elemento en coordenadas globales

Hasta el momento se ha obtenido la forma de construir la matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales, ahora se deben transformar a coordenadas globales de acuerdo al esquema de la figura 4 (TENA, 2007). Para ello se utiliza la matriz de transformación mostrada en la ecuación 3. Una vez resuelto el problema se suman las matrices de los elementos para obtener la matriz de rigidez de la estructura.

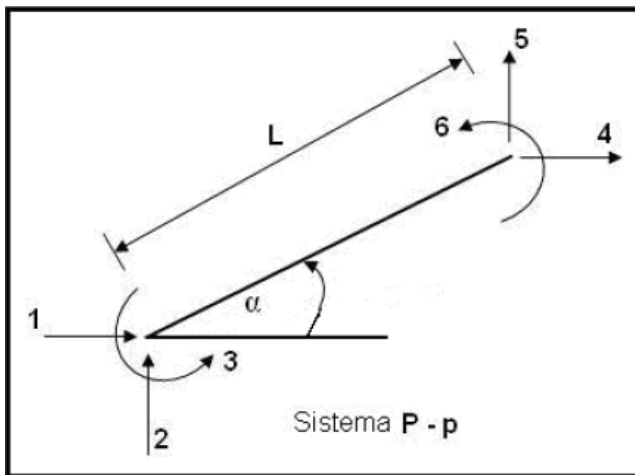


Figura 7. Transformación a las coordenadas globales.

Fuente: Aguiar, Rodríguez y Mora, 2016.

$$T = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$k_e = [T]^T [k] [T] \quad (\text{Ec. 10})$$

d. Matriz de rigidez global de la estructura

Para encontrar la matriz de rigidez de la estructura (K) se deben reacomodar las matrices de rigidez del elemento en una matriz que tiene las dimensiones de la matriz de la estructura (ΔK_e) y se hace la sumatoria como indica la ecuación 5, donde (n) es el número de grados de libertad. Para ello, según (HURTADO, 2020),

se construyen los vectores de colocación que tienen la forma de la figura 5. Donde cada fila representa los elementos y las columnas sus grados de libertad.

$$K = \sum_{e=1}^n \Delta K_e \quad (\text{Ec. 11})$$

Dónde:

e: Número de elemento.

n: Total de elementos de la estructura.

e. Matriz de rigidez condensada

Se construye la matriz de rigidez lateral de la estructura (K_L) realizando la técnica de la condensación estática para las coordenadas principales en los pisos rígidos con la ecuación 7. Las coordenadas principales serán los movimientos horizontales y las coordenadas secundarias serán los movimientos verticales y rotaciones, como se muestra en la figura 6. Según (AGUIAR, 2012 pág. 132) , este método es uno de los más fáciles de programar.

Todo surge de la ecuación de equilibrio estático que se muestra a continuación:

$$Q = K q \quad (\text{Ec. 12})$$

Dónde:

Q : Vector de coordenadas generalizadas.

K : Matriz de rigidez total de la estructura.

q : Vector de coordenadas generalizadas.

| GRADOS DE LIBERTAD | |
|--------------------|----|
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 1 | 5 |
| 1 | 9 |
| 2 | 11 |
| 2 | 15 |
| 2 | 16 |
| 3 | 17 |
| 3 | 21 |
| 3 | 22 |
| 1 | 5 |
| 1 | 7 |
| 2 | 11 |
| 2 | 13 |
| 3 | 17 |
| 3 | 19 |
| 4 | 23 |

$$VC_{HOR} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 9 & 10 \\ 1 & 5 & 6 & 2 & 11 & 12 \\ 1 & 9 & 10 & 2 & 15 & 16 \\ 2 & 11 & 12 & 3 & 17 & 18 \\ 2 & 15 & 16 & 3 & 21 & 22 \\ 3 & 17 & 18 & 4 & 23 & 24 \\ 3 & 21 & 22 & 4 & 25 & 26 \\ 1 & 5 & 6 & 1 & 7 & 8 \\ 1 & 7 & 8 & 1 & 9 & 10 \\ 2 & 11 & 12 & 2 & 13 & 14 \\ 2 & 13 & 14 & 2 & 15 & 16 \\ 3 & 17 & 18 & 3 & 19 & 20 \\ 3 & 19 & 20 & 3 & 21 & 22 \\ 4 & 23 & 24 & 4 & 25 & 26 \end{bmatrix}$$

ELEMENTOS

Figura 8. Ejemplo de Vector de colocación.

Fuente: Aguiar, Rodríguez y Mora, 2016.

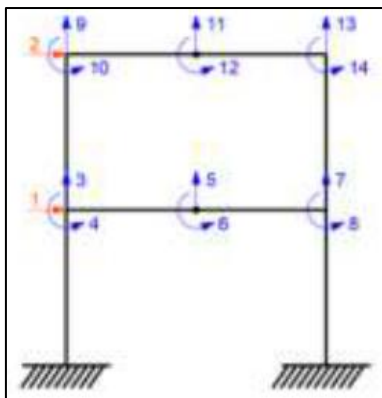


Figura 9. Coordenadas principales en rojo y secundarias en azul.

Fuente: Aguiar, Rodríguez y Mora, 2016.

Para realizar la condensación se desglosa la ecuación anterior en la forma.

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ Q_b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix}$$

Donde (Qa) son las cargas laterales en la dirección principal y (Qb) las cargas secundarias en la dirección vertical y rotación. Si necesitamos encontrar el comportamiento principal de la estructura (Qb) debe ser igual a cero.

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix}$$

De donde:

$$Q_a = K_{aa}q_a + K_{ab}q_b$$

$$0 = K_{ba}q_a + K_{bb}q_b$$

Luego:

$$q_b = -K_{bb}^{-1}K_{ba}q_a$$

$$Q_a = (K_{aa} - K_{ab}K_{bb}^{-1}K_{ba})q_a$$

finalmente:

$$KL = K_{aa} - K_{ab}K_{bb}^{-1}K_{ba} \quad (\text{Ec. 13})$$

Matriz de rigidez lateral con base flexible

a. Modelo simplificado de la ASCE-10

Los efectos cinemáticos son tomados en cuenta por medio de una reducción del espectro, pero este efecto está influyendo en áreas de cimentación altas, los efectos cinemáticos se toman en cuenta con (NEHRP NIST, 2012):

$$RRS_b = 1 - \frac{1}{14100} \left(\frac{be}{T} \right)^{1.2} \quad \text{para } T > 0.2s$$

$$be = \sqrt{ab}$$

Dónde:

RRS_b: Factor de reducción del espectro.

be: Área de la cimentación efectiva.

a y b: Lados de la cimentación.

T: Periodo del espectro.

El modelo utilizado por la (ASCE/SEI 7-10, 2010) para efectos inerciales, separa la rigidez del amortiguamiento que produce el suelo en interacción con la cimentación, así tenemos solo utilizando la rigidez para el 1er modo de vibración de la estructura:

Para condiciones de suelo empotrados la rigidez del suelo es infinito, por lo que:

$$q = \frac{F}{k} \quad (\text{Ec. 14})$$

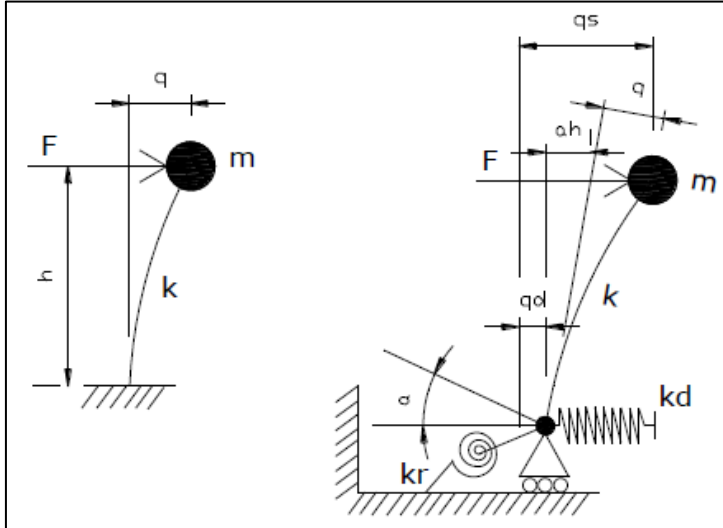


Figura 10. Modelo simplificado con resortes del suelo.

Fuente: Aguiar y Gallegos, 2015, p. 6.

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$T = \frac{2\pi}{w} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$T^2 = (2\pi)^2 \frac{m}{F/q} = (2\pi)^2 \frac{m q}{F} \quad (\text{Ec. 17})$$

Considerando interacción suelo estructura el desplazamiento final está definido por:

$$qs = q + ah + qd \quad (\text{Ec. 18})$$

$$q = \frac{F}{k}$$

$$qr = ah = \frac{Fh}{kr} h \quad (\text{Ec. 19})$$

$$qd = \frac{F}{kd} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$qs = \frac{F}{k} + \frac{F}{kd} + \frac{F h^2}{kr} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$T s^2 = (2 \pi)^2 \frac{m q_s}{F} \quad (\text{Ec. 22})$$

Combinando la ecuación 16 con la 22 tenemos.

$$\left(\frac{T_s}{T}\right)^2 = \frac{k}{m} m \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{k_d} + \frac{h^2}{k_r}\right)$$

$$\frac{T_s}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_d} + \frac{k h^2}{k_r}} \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:

Ts: Periodo de la estructura con interacción con el suelo.

T: Periodo de la estructura con la base empotrada.

K: Rigidez de la estructura de un grado de libertad.

h: Altura de la estructura de un grado de libertad.

Kd: Rigidez de desplazamiento horizontal de la cimentación con interacción del suelo.

Kr: Rigidez de rotación de la cimentación con interacción del suelo.

El máximo desplazamiento deberá ser calculado como:

$$q_s = \frac{V_s}{V} \left[\frac{M_v}{K_r} h_i + q_i \right] \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

Vs: Cortante sísmica con interacción suelo estructura.

V: Cortante sísmica con base empotrada.

Mv: Momento de volcamiento con base empotrada.

Kr: Rigidez de rotación de toda la cimentación.

hi: Altura del piso considerado desde la base.

qi: Desplazamiento inelástico del piso de estructura empotrada en la base.

Se modifica la matriz de rigidez lateral de la estructura incorporando los resortes que representan la rigidez del suelo (AGUIAR, y otros, 2015):

$$K = \begin{vmatrix} K_L & 0 & 0 \\ 0 & K_d & 0 \\ 0 & 0 & K_r \end{vmatrix} \quad (\text{Ec. 25})$$

Dónde:

K_L : Matriz de rigidez lateral de la estructura empotrada en la base.

Matriz de masas con base empotrada

Realizar el análisis modal significa determinar las propiedades dinámicas de la estructura como son las frecuencias (w), los periodos (T) y los modos de vibración (ϕ) (AGUIAR, 2012 pág. 165). Para ello se requiere la matriz de masas (M) que es una matriz cuadrada con dimensiones igual al número de coordenadas principales y se calcula con la ecuación 8 y las especificaciones de la norma peruana E020 que especifican las cantidades de carga muerta y viva de la estructura.

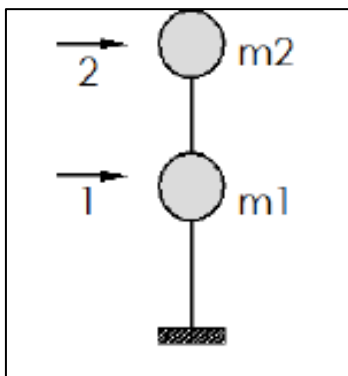


Figura 11. Modelo simplificado de una estructura plana de 2 pisos.

Fuente: Aguiar, Rodríguez y Mora, 2016.

$$M = \begin{vmatrix} m_i & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_{i+1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & & m_{i+2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_n \end{vmatrix} \quad (\text{Ec. 26})$$

Dónde:

m_i : Masa en el piso i .

n : Número total de pisos de la estructura.

Luego se determinan las propiedades dinámicas de la estructura, mediante la función “eig” de Matlab.

Matriz de masas con base flexible

Según (AGUIAR, 2012), para hallar la matriz de masas se evalúa el diagrama de distribución de velocidades, por lo cual la energía cinética será:

$$Tc = \sum \frac{1}{2} m q^2 \quad (\text{Ec. 27})$$

$$M = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & m_1 h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & m_2 & m_2 h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & m_3 & m_3 h_3 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & m_4 & m_4 h_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & m_5 & m_5 h_5 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & m_0 + \sum m_i & \sum m_i h_i \\ m_1 h_1 & m_2 h_2 & m_3 h_3 & m_4 h_4 & m_5 h_5 & \sum m_i h_i & \sum m_i h_i^2 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 28})$$

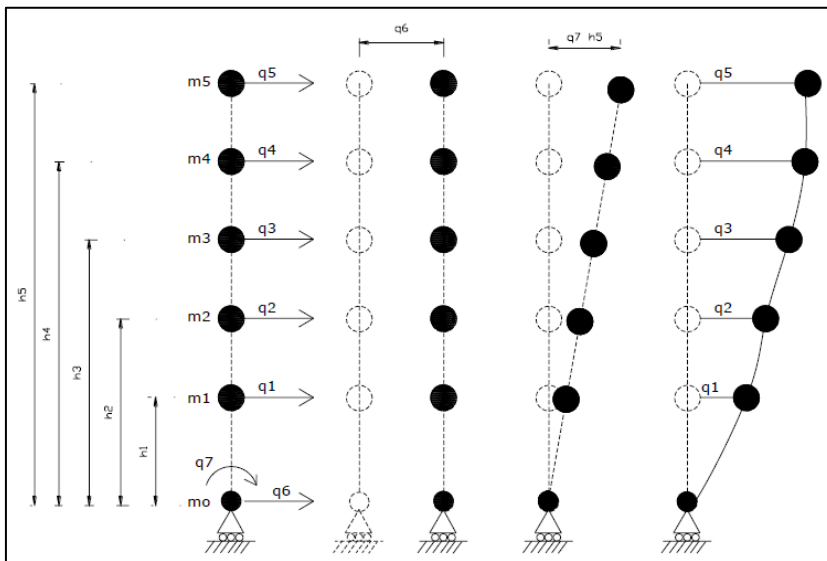


Figura 12. Distribución de velocidades.

Fuente: Aguiar y Gallegos, 2015, p.9.

Propiedades dinámicas de la estructura

Las propiedades dinámicas de la estructura son la frecuencia y el periodo fundamental de vibración y se determinan con la función “eig” de Matlab, teniendo como entrada las matrices de masa y rigidez de la estructura.

2.2.2.2. Deformación lateral

Espectro Elástico Con Base Empotrada

a. Análisis espectral

Se construye el espectro de pseudo aceleraciones encontrando los parámetros sísmico en la norma técnica peruana (NTP E.030, 2019). Se asume que las estructuras planas de concreto reforzado tienen la base empotrada como en el análisis convencional. El sismo será característico de la ciudad de Huancayo de acuerdo al mapa de la figura 8. Para obtener la aceleración espectral nos apoyamos en el periodo fundamental de la estructura.

$$Sa = \frac{Z U C S}{R} g \quad (\text{Ec. 29})$$

Dónde:

Z: Factor de zona.

U: Factor de uso del edificio.

C: Factor de amplificación de la estructura.

S: Factor del tipo de suelo.

g: Aceleración de la gravedad.

R: Factor de reducción sísmica que depende del material de la estructura.

Se calcula el factor de amplificación sísmica (C) de acuerdo a la ecuación 30.

$$\begin{aligned} T < T_p & \quad C = 2,5 \\ T_p < T < T_L & \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \\ T > T_L & \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p T_L}{T^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 30})$$

Dónde:

T: Periodo fundamental de la estructura calculado en Ítem anterior.

Tp y TL: Periodos de vibración que dependen del tipo de suelo.



Figura 13. Mapa de zonificación sísmica del Perú.

Fuente: NTP E030, (2019).

Espectro Elástico Con Base Flexible

Para transformar una estructura de varios grados de libertad a un sistema simple de péndulo invertido se realiza calculando para el primer modo de vibración (AGUIAR, y otros, 2015):

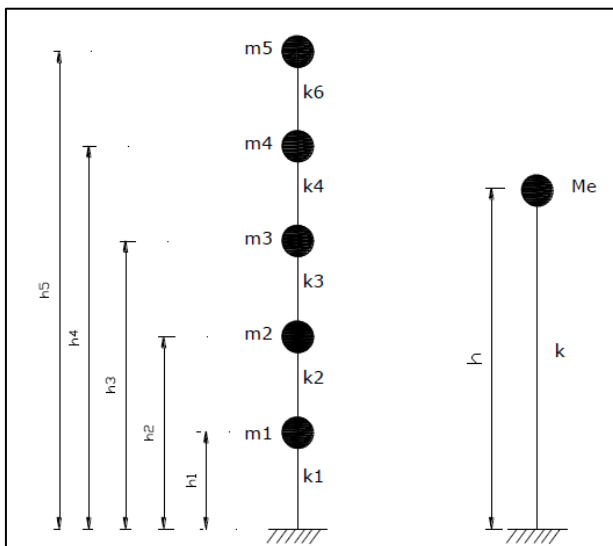


Figura 14. Modelo simplificado de un grado de libertad.

Fuente: Aguiar, y otros, (2015 pág. 9).

El porcentaje de participación de la masa en el modo 1 es:

$$\alpha_m = \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \phi_1)^2}{(\sum_{i=1}^N m_i) \cdot (\sum_{i=1}^N m_i \phi_1^2)} \quad (\text{Ec. 31})$$

Rigidez equivalente de un grado de libertad.

$$k = \alpha_m M_t \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (\text{Ec. 32})$$

Altura equivalente.

$$h = \frac{\phi_i^T M H}{\phi_i^T M J} \quad (\text{Ec. 33})$$

Dónde:

m_i : Masa en el nivel i .

ϕ_i : Modo i de vibración.

M_t : Masa total de la estructura.

M : Matriz de masas.

H : Vector de alturas de piso desde el nivel 0.

J : Vector de unos.

Tomando en cuenta el amortiguamiento que da el suelo a la estructura, la (ASCE/SEI 7-10, 2010) recomienda usar la siguiente ecuación:

$$\beta_f = \beta_o + \frac{0.05}{\left(\frac{T_s}{T}\right)^3} \quad (\text{Ec. 34})$$

Dónde:

β_f : Amortiguamiento de la cimentación.

β_o : Amortiguamiento del modelo de un grado de libertad.

La (ASCE/SEI 7-10, 2010) establece que se ingrese a la figura 15 con la relación de periodos y la relación de (h) ; altura de la estructura de 1gdl sobre $r=rr$; radio de giro de la estructura por rotación y $PGA=SDS/2.5$, FEMA 440 establece unas formulas aproximadas para calcular el amortiguamiento, así tenemos:

$$\beta_o = a1 \left(\frac{T_s}{T} - 1 \right) + a2 \left(\frac{T_s}{T} - 1 \right)^2 \quad (\text{Ec. 35})$$

$$a1 = C_e \exp \left(4.7 - 1.6 \frac{h}{r_r} \right) \quad (\text{Ec. 36})$$

$$a2 = C_e \left[25 \ln \left(\frac{h}{r_r} \right) - 16 \right] \quad (\text{Ec. 37})$$

$$C_e = 1.5 \left(\frac{e}{rd} \right) + 1 \quad (\text{Ec. 38})$$

Dónde:

rd: Radio de giro de la estructura por traslación.

rr: Radio de giro de la estructura por rotación.

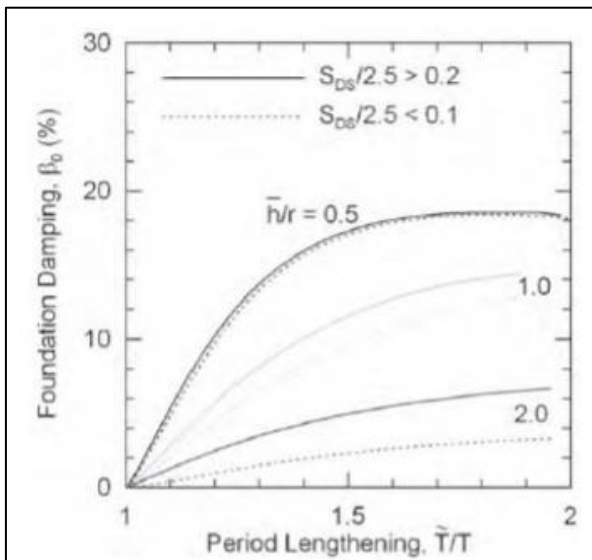


Figura 15. Amortiguamiento para el modelo de un grado de libertad.

Fuente: Aguiar, y otros, (2015 pág. 7).

Las ecuaciones anteriores son aplicables para $T_s/T < 1.5$, para valores mayores el amortiguamiento es bajo, es decir conservador.

Para los radios de giro se utiliza las rigideces de (AGUIAR, 2012).

$$rd = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$K_d = \frac{8}{2-\nu} G rd \quad (\text{Ec. 40})$$

Despejando de la ecuación 40.

$$Kr = \frac{k h^2}{\left(\frac{T_s}{T}\right)^2 - 1 - \frac{k}{Kd}} \quad (\text{Ec. 41})$$

$$r_r = \left(\frac{3(1-\nu)Kr}{8G}\right)^{1/3} \quad (\text{Ec. 42})$$

Dónde:

A: Área de la cimentación.

G: Módulo de rigidez del suelo.

ν : Módulo de Poisson del suelo.

Para reducir el espectro elástico de diseño por amortiguamiento de la cimentación se tiene:

$$Sa_r = \frac{Sa}{B} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$B = \left(\frac{\beta_f}{0.05}\right)^{0.4} \quad (\text{Ec. 44})$$

Definido el espectro reducido por amortiguamiento de la cimentación, la (ASCE/SEI 7-10, 2010) define que se debe calcular las fuerzas de corte con las aceleraciones recalculadas con la estructura de base empotrada.

Respuesta Sísmica

La respuesta sísmica es el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de los pisos en un sistema de varios grados de libertad que pueden estar representados en un modelo simple un grado de libertad conocido como péndulo invertido.

Para transformar el desplazamiento de un sistema simple de péndulo invertido en desplazamientos de un sistema de varios grados, se calcula el factor de participación modal (FP_i) con la ecuación 45. Según (AGUIAR, 2012 pág. 88), este factor se calcula como valor absoluto e indica el grado de participación del modo en el comportamiento dinámico de la estructura.

$$FP_i = \left| \frac{\phi_i^t M J}{\phi_i^t M \phi_i} \right| \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

ϕ_i : Forma de vibración i .

ϕ_i^t : Transpuesta de la forma de vibración i .

M : Matriz de masa.

J : Vector de incidencia que relaciona los grados de libertad con el movimiento del suelo.

La ecuación diferencial que describe el comportamiento del modelo simplificado de un grado de libertad es.

$$\ddot{x}_i + 2 \xi W_{ni} \dot{x}_i + W_{ni}^2 x_i = -FP_i \ddot{u}_g$$

Luego se calculan las deformaciones máximas (q_i) con el modo fundamental de vibración que describe el comportamiento de la estructura. Luego las fuerzas máximas (F_i) y las cortantes (V_i) de piso.

$$q_i = FP_i \left(\frac{T_i}{2\pi}\right)^2 S_{ai} \phi_i \quad (\text{Ec. 46})$$

$$F_i = KL q_i \quad (\text{Ec. 47})$$

$$V_i = S F_i \quad (\text{Ec. 48})$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec.49})$$

Dónde:

KL : Matriz de rigidez calculada en el Ítem anterior.

S : Matriz unitaria en triangulo superior.

2.2.2.3. Fuerzas internas máximas

Las fuerzas internas en los elementos en coordenadas globales (PG) se obtienen del producto matricial de la matriz de rigidez del elemento en coordenadas globales por el vector de deformación también en coordenadas globales (AGUIAR, 2014).

$$PG = k p \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

k = Matriz de rigidez del elemento en coordenadas globales

p = Vector de deformación de la estructura en coordenadas globales

Teóricamente ahí se podría dar por finalizado el problema, pero es bastante difícil utilizarlas para el diseño lo mejor es obtener la matriz de fuerzas internas en coordenadas locales (PL) (AGUIAR, 2014). Por ese motivo los resultados se pasan a dichas coordenadas por medio de la matriz de transformación (T).

$$PL = T PG \quad (\text{Ec. 51})$$

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de investigación

El método del presente estudio es el método analítico, porque se procederá de manera ordenada en la descomposición de las teorías encontradas para estudiarlas y adaptarlas a nuestra realidad problemática. Según (GOMEZ BASTAR, 2012 pág. 15), el método analítico es la descomposición de la totalidad en partes más pequeñas con el propósito de estudiarlas por separado para encontrar la relación que hay entre ellas.

El tipo de investigación del presente estudio es tipo aplicada, porque según (CARRASCO, 2005), este tipo de investigación tiene el objetivo de aplicación en la práctica como también la creación de herramientas. La investigación aplicada es conocida también como tecnológica.

El nivel de investigación del presente estudio es explicativo, porque se busca explicar el cambio del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares por la participación de la flexibilidad del suelo. Según (BEHAR, 2008 pág. 18), en este nivel de investigación además de describir el fenómeno se busca la explicación del comportamiento de las variables.

El diseño de la investigación es No experimental - Descriptivo comparativo, porque la investigación no cuenta con grupo experimental. Ya que no es factible obtener una muestra lo suficientemente grande para realizar la inferencia estadística, por tanto, es necesario sacrificar la exactitud y la precisión en la medición de los parámetros de la población obteniendo una muestra de 3 edificios regulares sobre suelo flexible modelados con herramientas de computo. Por consiguiente, la presente investigación pertenece al estudio de casos, donde un caso se entiende como una familia, una institución, una empresa o pocos individuos. Por ello que el diseño de la investigación es No experimental, porque los estudios de caso se limitan a medir la variable de estudio (SUPO, 2014 pág. 29).

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable independiente: Tecnología Alternativa

La variable tecnología alternativa se refiere a los programas de computación como algoritmos que a través de una plataforma digital colabora con el proceso facilitando la adquisición de conocimientos y la investigación (AGUIAR, y otros, 2015).

El comportamiento sísmico será medido con la Tecnología alternativa, por lo tanto, estará definida operacionalmente con el software comercial SAP 2000 y con el programa de computación desarrollado en la presente investigación, con el fin de comparar ambos resultados.

3.2.2. Variable dependiente: Comportamiento sísmico

El comportamiento sísmico se define conceptualmente como la respuesta de la estructura al movimiento del suelo de fundación en la ocurrencia de un sismo. Según (AGUIAR, 2008) las estructuras regulares se comportan de mejor manera a diferencia de las irregulares.

También se define el comportamiento sísmico operacionalmente en las propiedades dinámicas, fuerzas internas máximas y deformación lateral, que son las características más utilizadas en el análisis sísmico de las edificaciones.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población de estudio incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de la población que tiene en común determinada característica y que integran el fenómeno de estudio (TAMAYO, 2003 pág. 173). Por ello que la presente investigación tiene como población a los edificios regulares sobre suelo flexible a nivel nacional, sea viviendas, comercios, cuarteles, hospitales, etc.

3.3.2. Muestra

La muestra de estudio es una pequeña porción que se extrajo de la población, para estudiar y medir los atributos que son representativos de la población (NIÑO, 2011 pág. 55). Este proceso es conocido como inferencia. Por ello que la muestra de

estudio es el comportamiento sísmico de 3 edificios regulares sobre suelo flexible de sistema aporticado, dual y albañilería estructural modelados en laboratorio de computo.

3.3.3. Muestreo

En la presente investigación se aplicó un muestreo No probabilístico – intencionado, porque se eligieron 6 modelos planos de edificaciones regulares de los antecedentes encontrados, con el criterio que los modelos deben ser de pórticos, placas y muros de albañilería, que son las estructuras que se usan en las construcciones a nivel nacional. Según (BERNAL, 2010 pág. 162), el muestreo intencionado es conocido también como muestreo deliberado o a criterio del investigador, porque la experiencia del investigador es determinante en la elección de la muestra, debido a que solo un grupo de objetos poseen las propiedades que se espera de la población.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica

En el presente estudio se aplicó la técnica de Observación directa. Según (CARRASCO, 2005 pág. 284) la observación directa contempla los hechos tal cual ocurren en la realidad.

3.4.2. Instrumentos

En la presente investigación emplearemos fichas de recolección de datos, con el propósito de registrar información cuantitativa asociada a los indicadores que se pretende medir según la operacionalización de las variables. También se utilizó los códigos normativos nacionales como son la E060, E070 y E030, y los internacionales ASCE/SEI 7-10 y la NERPH-NIST-2012. Según (VALDERRAMA, 2015 pág. 194) los instrumentos son de dos tipos, instrumentos de medición y de los de recolección de la información relacionada a las dimensiones de cada variable.

3.4.3. Validez

La validez es la calificación que se le da a un instrumento de recolección respecto a la exactitud con la cual mide la variable de estudio (HERNÁNDEZ, y otros, 2010 pág. 201). Las fichas de recolección de datos fueron validadas por 3 especialistas y los instrumentos computacionales están basados a normas internacionales para guían su funcionamiento para el cual fueron diseñados.

3.4.4. Confiabilidad

La confiabilidad de un instrumento de medición dependerá de que si las mediciones son estables en el tiempo (HERNÁNDEZ, y otros, 2010 pág. 207). Esto quiere decir que las mediciones obtenidas en el presente, se vuelve a obtener en el futuro. Por ello que los instrumentos computacionales ya mencionados representan especificaciones confiables para el análisis sísmico de estructuras.

Tabla 5. *Tabla de confiabilidad alfa de Cronbach.*

| RANGOS | MAGNITUD |
|-------------|----------|
| 0.01 a 0.20 | Muy baja |
| 0.21 a 0.40 | Baja |
| 0.41 a 0.60 | Moderada |
| 0.61 a 0.80 | Alta |
| 0.81 a 1.00 | Muy alta |

Fuente: Ruiz Bolívar (2002).

3.5. Procedimientos

3.5.1. Descripción del objeto de estudio

En la tabla 6, se muestra los 3 objetos que se estudia en la presente investigación para determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible. Se describe 3 estructuras de 2, 6 y 15 pisos que tienen en común la altura de entrepiso, las secciones vigas y columnas, la cimentación y la planta mostrada en la figura 17.

En la figura 16, se muestra la planta típica que tiene las 3 estructuras regulares. En el caso de la estructura de 2 pisos solo se tiene en cuenta la distribución de vigas y columnas. En el caso de la estructura de 6 pisos los muros perimetrales son de

albañilería confinada de 23cm de espesor. En el caso de la estructura de 15 pisos los muros perimetrales son de concreto armado de 25cm de espesor.

Tabla 6. Descripción de los objetos de estudio.

| ESTRUCTURA | DESCRIPCIÓN | MODELO |
|------------|--|---|
| 2 PISOS | Sistema aporticado de concreto armado y configuración regular. | Plano en serie con elementos tipo frame. |
| 6 PISOS | Sistema aporticado con muros de albañilería confinada y configuración regular. | Plano en serie con elementos frame y puntales equivalentes. |
| 15 PISOS | Sistema aporticado con muros de concreto de configuración regular. | Plano en serie con elementos frame y columna ancha. |

Fuente: Elaboración propia.

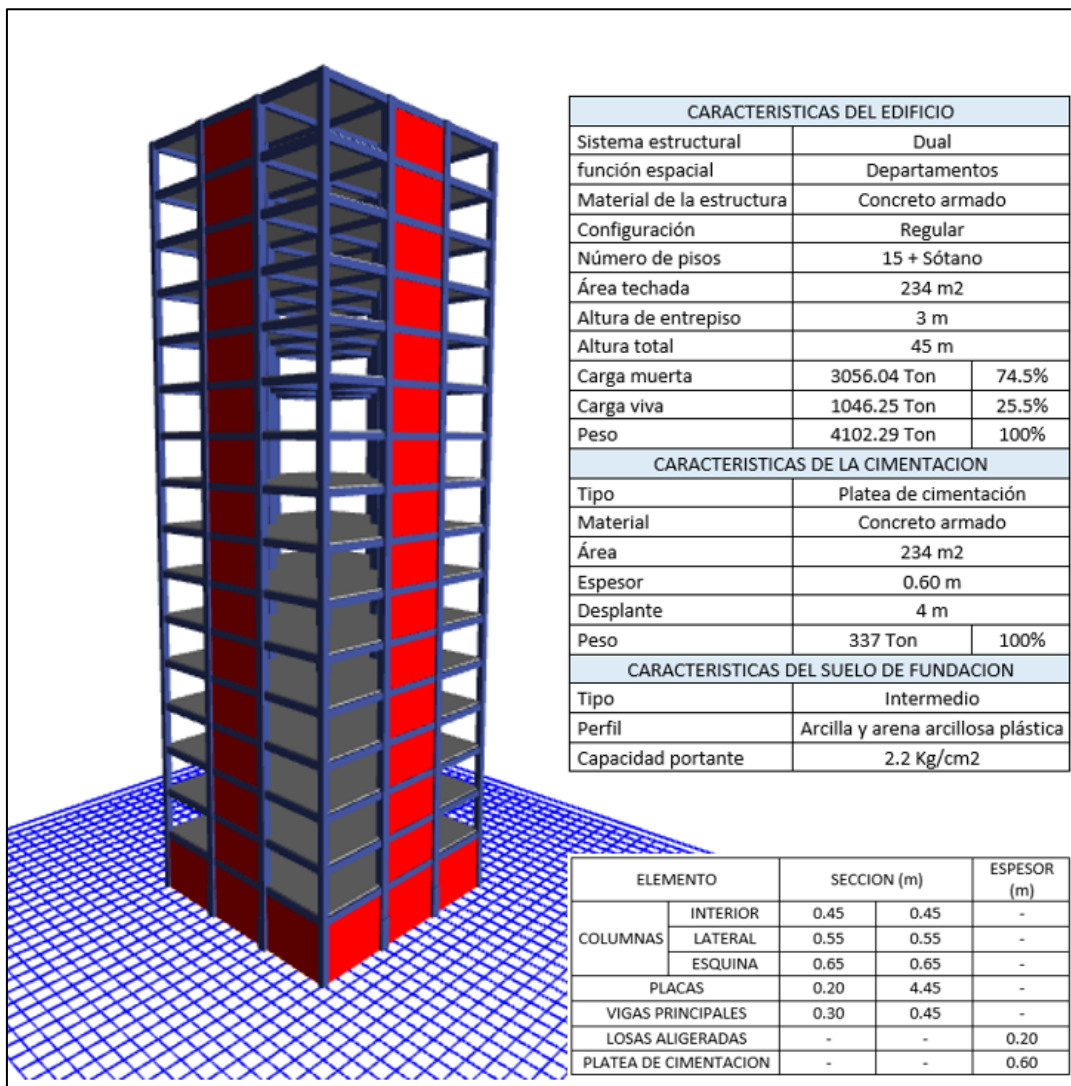


Figura 16. Modelo tridimensional de la estructura de 15 pisos.

Fuente: Camayo (2019 pág. 67).

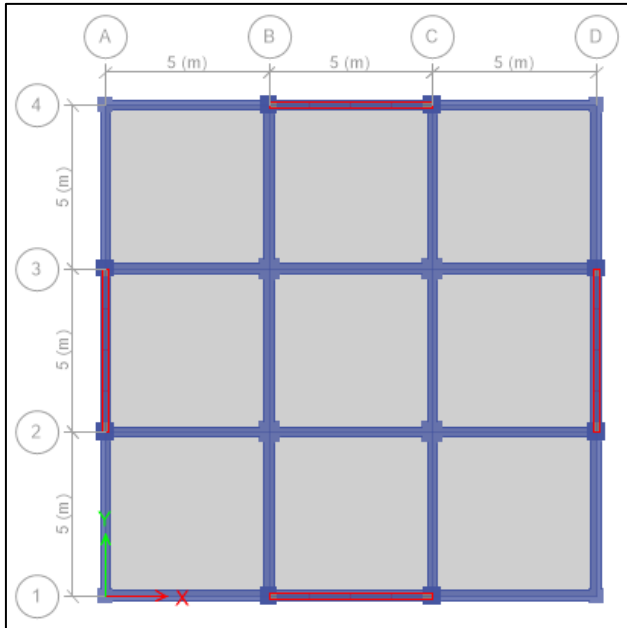


Figura 17. Planta típica de configuración regular.

Fuente: Camayo (2019 pág. 67).

En la figura 17, se muestra el modelo tridimensional de la estructura de 15 pisos modelado en el software Etabs V19. La estructura de 6 pisos es similar, pero con muros de albañilería en reemplazo del concreto armado. Y la estructura de 2 pisos solo conserva las vigas y columnas de concreto armado.

3.5.2. Procedimiento

3.5.2.1. Desarrollo de la tecnología alterna

En la tabla 7, se muestra el manual para el uso de la tecnología alterna que consta de 9 pasos. Hasta el paso 5 corresponde a un análisis sísmico con base empotrada y a partir de ahí se implementa los resortes de interacción suelo estructura para modificar el comportamiento con base empotrada a uno con base flexible. En el paso 9 se llevan las fuerzas estáticas reducidas por la interacción del suelo del modelo simplificado al modelo de elementos finitos.

Se desarrolló en base a las teorías los programas que se nombran a continuación.

El programa "coorxy" registra en consola la información respecto a la configuración de la estructura y la dibuja para su reconocimiento y posterior análisis.

El programa "rigidez1a" construye la matriz de rigidez de los elementos en coordenadas locales según la teoría de Tena (2013).

Tabla 7. Manual de instrucciones del programa de computo.

| |
|--|
| <p>1.INGRESO DE DATOS</p> <p>datos=xlsread('6pisos_albañileria.xlsx');</p> |
| <p>2.DIBUJO DE LA ESTRUCTURA</p> <p>[nt,np,nn,ne,nc,nv,gl,ij]=nudosij(15,6)</p> <p>¡Si se tiene muros de albañilería!</p> <p>a=[2,1;14,1;2,2;14,2;2,3;14,3;2,4;14,4;2,5;14,5;2,6;14,6]</p> <p>[ij,ne,na]=nudosal(ij,nt,ne,a)</p> <p>[xy]=coorxy(np,nt,ne,nc,ij,datos)</p> <p>[xyz]=coorxyz(ne,nn,ij)</p> <p>dibujoNudElem(xy(:,1),xy(:,2),ij(:,1),ij(:,2),xyz)</p> |
| <p>3.CALCULO DE LA RIGIDEZ</p> <p>[k]=rigidez1a(datos) ó [k]=rigidez1b(datos)</p> <p>[ke,Tr]=rigidez2(k,datos)</p> <p>[VC,p,s]=colvc(15,6)</p> <p>¡Si se tiene muros de albañilería!</p> <p>[VC]=vcalba(VC,ij,nt,nc,nv,na)</p> <p>[K,KL]=rigidez3(ke,VC,p,s)</p> |
| <p>4.ANÁLISIS MODAL</p> <p>M=eye(6)</p> <p>M=M*21</p> <p>hi=1:6</p> <p>hi=hi*2.78</p> <p>[fi,T,W,To,w]=modal1(KL,M,hi)</p> |
| <p>5.CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS</p> <p>[Sa,Cs,Z,S,R,Dmax]=respuesta1(T)</p> <p>[D]=respuesta2(fi,M,Sa,W,R,KL,hi,Dmax)</p> |
| <p>6.ACOPLAMIENTO DE LOS RESORTES DEL SUELO A LA MASA Y LA RIGIDEZ</p> <p>[Ks,Ms,A,G,v]=suelo_a(KL,M,Z,S,w,To,hi)</p> |
| <p>7.MODELO SIMPLIFICADO DE UN GRADO DE LIBERTAD</p> <p>[fis,Ts,Ws,Tos,ws]=modal1(Ks,Ms,hi)</p> <p>[B]=grado1(To,Tos,M,fi,hi,A,G,v)</p> |
| <p>8.RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON PARTICIPACIÓN DEL SUELO</p> <p>[Sas,Css,Z,S,R,Dmax]=respuesta1(Ts)</p> <p>[Xi,Ds,Fre]=respuesta2(fi,M,Sa,W,R,KL,hi,Dmax)</p> |
| <p>9.CÁLCULO DE FUERZAS INTERNAS</p> <p>[pl]=fuerzas(VC,K,ke,Tr,Fre,ne,nc,nv,gl,datos)</p> |

El programa "rigidez2" construye la matriz de rigidez del elemento en coordenadas globales a partir de la matriz en coordenadas locales.

El programa "rigidez3" construye la matriz de rigidez global de la estructura a partir de la matriz de rigidez de los elementos en coordenadas globales.

El programa "modal1" resuelve el problema de valores y vectores propios para conseguir las frecuencias, periodos y modos de vibración con la función "eig" de Matlab.

El programa "respuesta1" calcula las aceleraciones máximas que experimenta un sistema equivalente de un grado de libertad, utilizando la norma técnica peruana de sismoresistencia E030.

El programa "respuesta2" calcula los factores de participación modal, los desplazamientos y las cortantes, utilizando la norma técnica peruana de sismoresistencia E030.

El programa "suelo_a" construye la matriz de masa y rigidez de la estructura con participación de los resortes del suelo (Interacción suelo estructura), a partir de las matrices de masa y rigidez de la estructura con base empotrada. Se utiliza las normas ASCE-10 y la guía NERPH_NIST-2012.

El programa "grado1" simplifica el sistema de varios grados de libertad a uno de un grado de libertad equivalente. Se calculan la rigidez y altura equivalente y el factor de reducción del espectro elástico de diseño por amortiguamiento de la cimentación.

3.5.2.2. Cálculo de las propiedades dinámicas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.

a. Edificio de 2 pisos

Software Etabs V18

En la figura 18, se muestra el modelado 3D en el software Etabs V18 del edificio regular de 2 pisos. En la base se observa una losa maciza con rigidez infinita que tiene en su centro de gravedad un juego de resortes para simular el comportamiento del suelo flexible. El juego consta de 2 resortes debido a que el análisis se realiza

solo en el plano XZ. Se tiene un resorte para la traslación horizontal en la dirección X y otro para la rotación alrededor del eje Y.

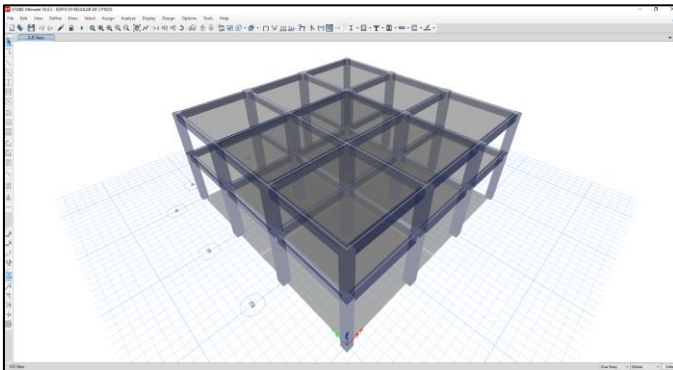


Figura 18. Modelo 3D en Etabs V18 del edificio regular de 2 pisos.

Tabla 8. Propiedades dinámicas, edificación regular de 2 pisos (Etabs V18).

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 300 | 17.31 | 0.36 |
| 2 | 5338 | 73.06 | 0.09 |
| 3 | - | - | - |
| 4 | - | - | - |

En la tabla 8, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 2 pisos sobre suelo flexible. El Software Etabs V18 muestra los dos primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 300 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 17.31 1/s y el periodo de vibración de 0.36 s.

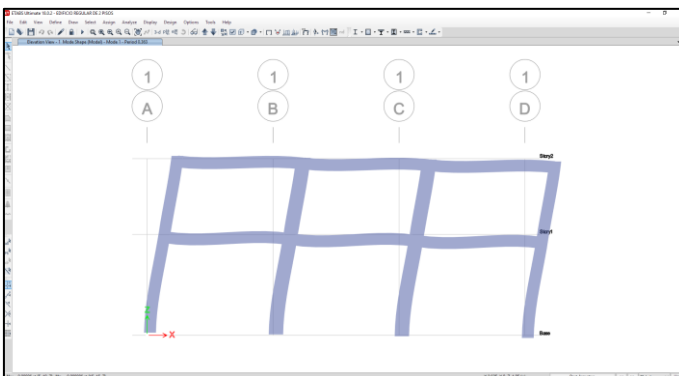


Figura 19. Primer modo de vibración, edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).

En la figura 19, se muestra la deformada de la estructura en el primer modo de vibración que tiene un periodo de 0.36 s. Se observa una pequeña rotación de la base debido a los resortes ubicados en el centro de gravedad de la losa maciza que tiene rigidez infinita.

b. Tecnología alterna

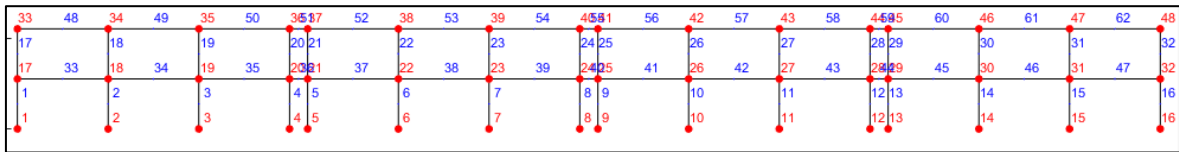


Figura 20. Modelo en plano de la edificación regular de 2 pisos.

En la figura 18, se muestra el modelo plano de la edificación regular de 2 pisos. Está compuesto de 4 pórticos acoplados en serie correspondiente a los 4 ejes paralelos de la edificación. Se acopla por medio de 3 puntales rígidos en cada piso para transferir la fuerza sísmica de un pórtico a otro. En la figura se muestra en rojo la numeración de nudos y en azul la numeración de columnas.

Tabla 9. Propiedades dinámicas, edificación regular de 2 pisos (T. Alterna).

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 302 | 17.38 | 0.36 |
| 2 | 8768 | 93.64 | 0.07 |
| 3 | 43001 | 207.37 | 0.03 |
| 4 | - | - | 0.00 |

En la tabla 9, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 2 pisos sobre suelo flexible. La Tecnología alterna muestra los tres primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 302 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 17.38 1/s y el periodo de vibración de 0.36 s.

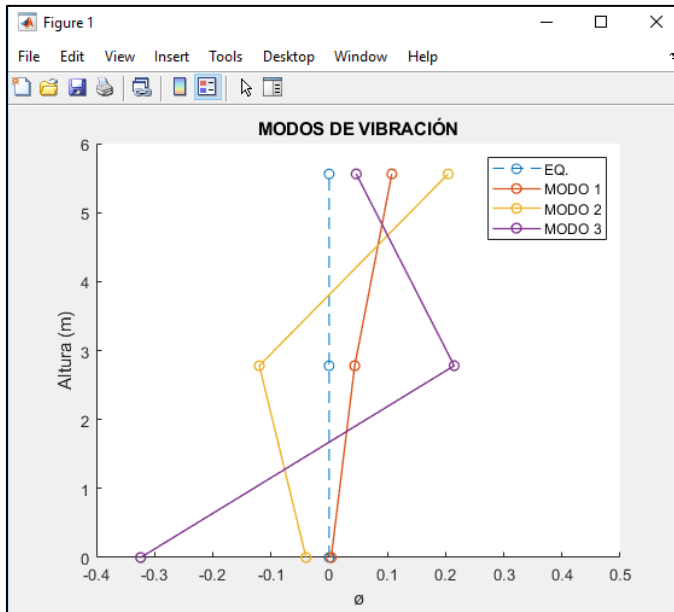


Figura 21. Modos de vibración del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).

En la figura 21, se muestra los 3 modos de vibración de la edificación regular de 2 pisos con base flexible, con periodos de 0.36, 0.07 y 0.03 s. para el 1er, 2do, 3ro, modo respectivamente, como se indicó en la tabla 9.

EDIFICACIÓN DE 6 PISOS

a. Software Etabs V18

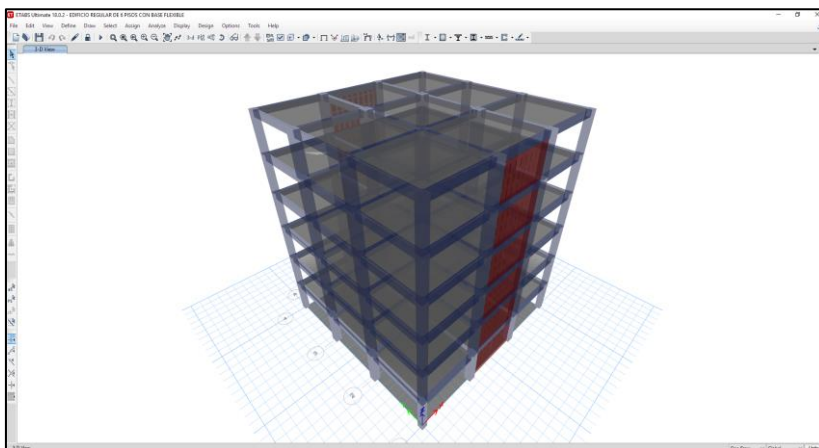


Figura 22. Modelo 3D del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).

En la figura 22, se muestra el modelado 3D en el software Etabs V18 del edificio regular de 6 pisos. En la base se observa una losa maciza con rigidez infinita que tiene en su centro de gravedad un juego de resortes para simular el comportamiento del suelo flexible. El juego consta de 2 resortes debido a que el análisis se realiza

solo en el plano XZ. Se tiene un resorte para la traslación horizontal en la dirección X y otro para la rotación alrededor del eje Y.

Tabla 10. *Propiedades dinámicas del edificio de 6 pisos (Etabs V18).*

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 52 | 7.21 | 0.87 |
| 2 | 1802 | 42.45 | 0.15 |
| 3 | 6326 | 79.53 | 0.08 |
| 4 | 13539 | 116.36 | 0.05 |
| 5 | 23485 | 153.25 | 0.04 |
| 6 | 32227 | 179.52 | 0.04 |
| 7 | 112033 | 334.71 | 0.02 |
| 8 | - | - | 0.00 |

En la tabla 10, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 6 pisos sobre suelo flexible. El software Etabs V18 muestra los 7 primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 52 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 7.21 1/s y el periodo de vibración de 0.87 s.

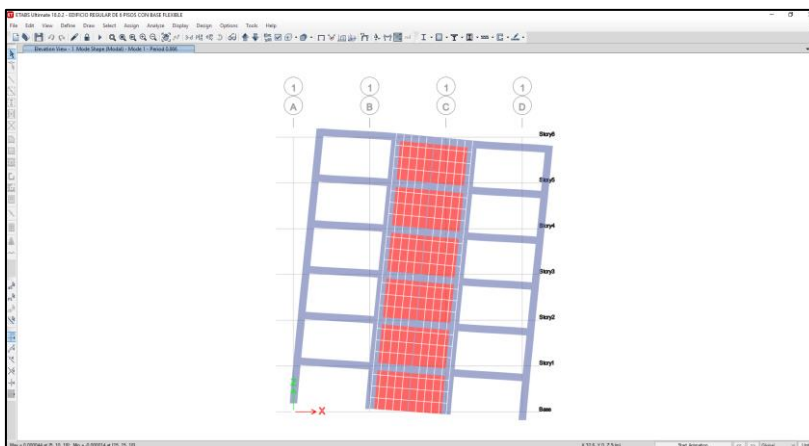


Figura 23. Primer modo de vibración, edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).

En la figura 23, se muestra la deformada de la estructura en el primer modo de vibración que tiene un periodo de 0.87 s. Se observa una pequeña rotación de la base debido a los resortes ubicados en el centro de gravedad de la losa maciza que tiene rigidez infinita.

b. Tecnología alterna

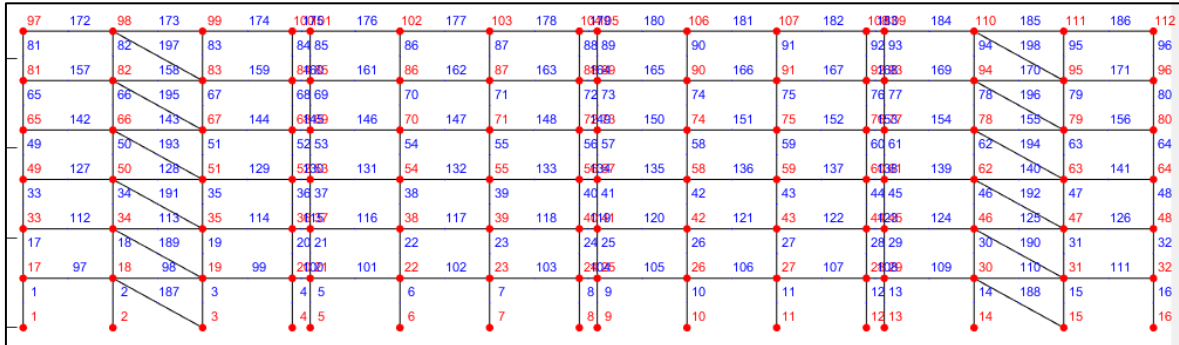


Figura 24. Modelo plano del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).

En la figura 24, se muestra el modelo plano de la edificación regular de 6 pisos. Está compuesto de 4 pórticos acoplados en serie correspondiente a los 4 ejes paralelos de la edificación. Se acopla por medio de 3 puntales cortos en cada piso para transferir la fuerza sísmica de un pórtico a otro. Se muestra en rojo la numeración de nudos y en azul la numeración de elementos. Los elementos diagonales son los puntales equivalentes que representan a los muros de albañilería.

Tabla 11. Propiedades dinámicas del edificio de 6 pisos (T. Alterna).

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 52 | 7.19 | 0.87 |
| 2 | 1669 | 40.85 | 0.15 |
| 3 | 5216 | 72.22 | 0.09 |
| 4 | 11265 | 106.13 | 0.06 |
| 5 | 20208 | 142.15 | 0.04 |
| 6 | 30803 | 175.51 | 0.04 |
| 7 | 43574 | 208.74 | 0.03 |
| 8 | - | - | 0.00 |

En la tabla 11, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 6 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se muestra los 7 primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 52 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 7.19 1/s y el periodo de vibración de 0.87 s.

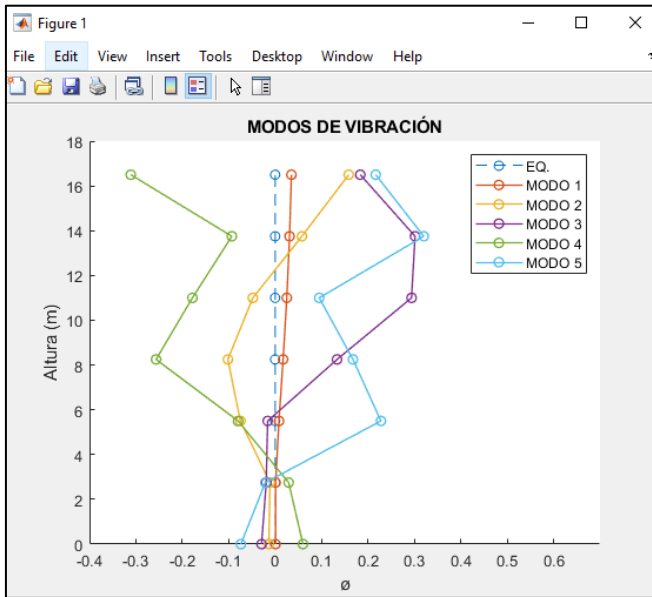


Figura 25. Modos de vibración del edificio regular de 6 pisos (T.Alterna).

En la figura 25, se muestra las 5 primeras formas de vibración de la edificación regular de 6 pisos con base flexible, con periodos de 0.76, 0.12, 0.07, 0.05 y 0.04 s. para el 1er, 2do, 3ro, 4to y 5to modo respectivamente, como se indicó también en la tabla 11.

EDIFICACIÓN DE 15 PISOS

a. Software Etabs V18

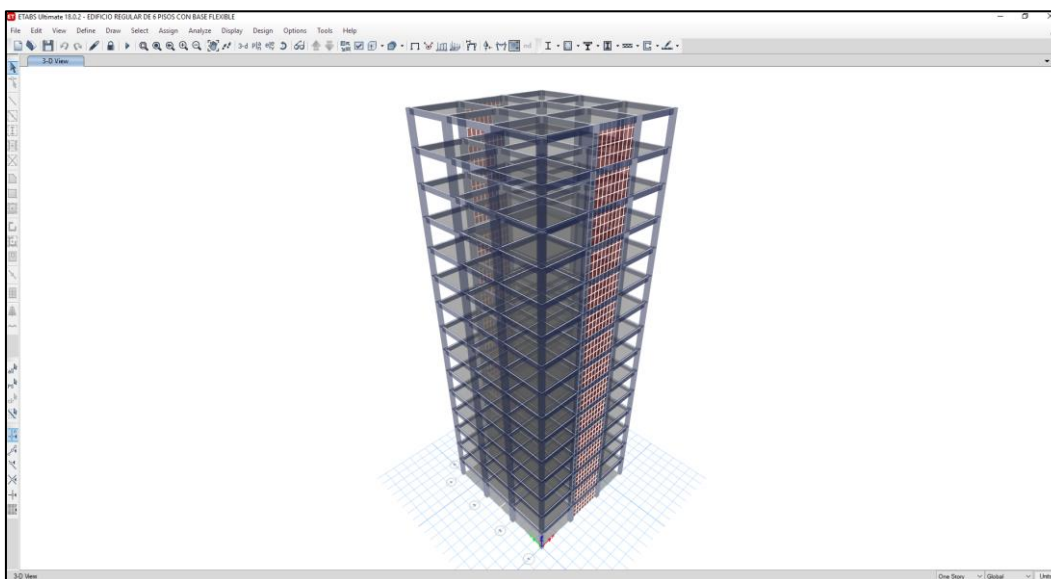


Figura 26. Modelo 3D del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).

En la figura 22, se muestra el modelado 3D en el software Etabs V18 del edificio regular de 6 pisos. En la base tiene una losa maciza con rigidez infinita que tiene en su centro de gravedad un juego de resortes para simular el comportamiento del suelo flexible. El juego consta de 2 resortes debido a que el análisis se realiza solo en el plano XZ. Se tiene un resorte para la traslación horizontal en la dirección X y otro para la rotación alrededor del eje Y.

Tabla 12. *Propiedades dinámicas del edificio de 15 pisos (Etabs V18).*

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 18 | 4.30 | 1.46 |
| 2 | 367 | 19.16 | 0.33 |
| 3 | 1755 | 41.89 | 0.15 |
| 4 | 5098 | 71.40 | 0.09 |
| 5 | 11736 | 108.33 | 0.06 |
| 6 | 22380 | 149.60 | 0.04 |
| 7 | 36252 | 190.40 | 0.03 |
| 8 | 50355 | 224.40 | 0.03 |
| 9 | 68539 | 261.80 | 0.02 |
| 10 | 89520 | 299.20 | 0.02 |
| 11 | 109358 | 330.69 | 0.02 |
| 12 | 121847 | 349.07 | 0.02 |
| 13 | 136604 | 369.60 | 0.02 |
| 14 | 154213 | 392.70 | 0.02 |
| 15 | 154213 | 392.70 | 0.02 |
| 16 | 181203 | 425.68 | 0.01 |
| 17 | - | - | 0.00 |

En la tabla 12, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 15 pisos sobre suelo flexible calculado con el software Etabs V18. Se muestra los 16 primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 18 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 4.30 1/s y el periodo de vibración de 1.46 s.

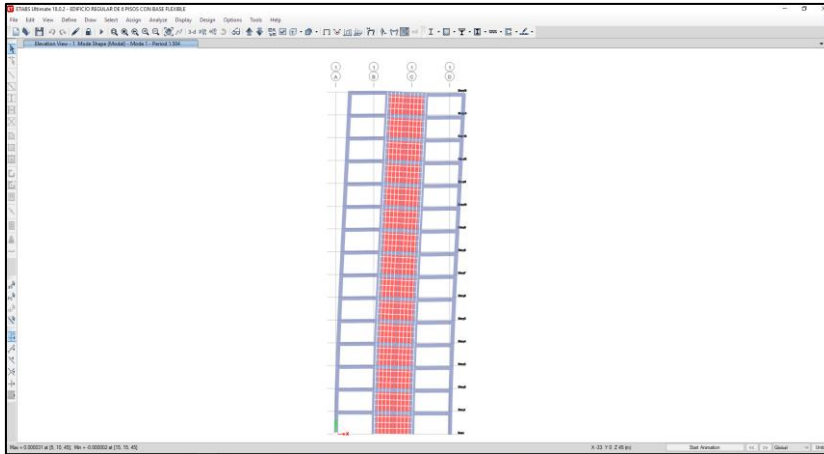


Figura 27. Primer modo de vibración, edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).

En la figura 27, se muestra la deformada de la estructura en el primer modo de vibración que tiene un periodo de 1.46 s. Se observa una pequeña rotación de la base debido a los resortes ubicados en el centro de gravedad de la losa maciza de rigidez infinita.

b. Tecnología alterna

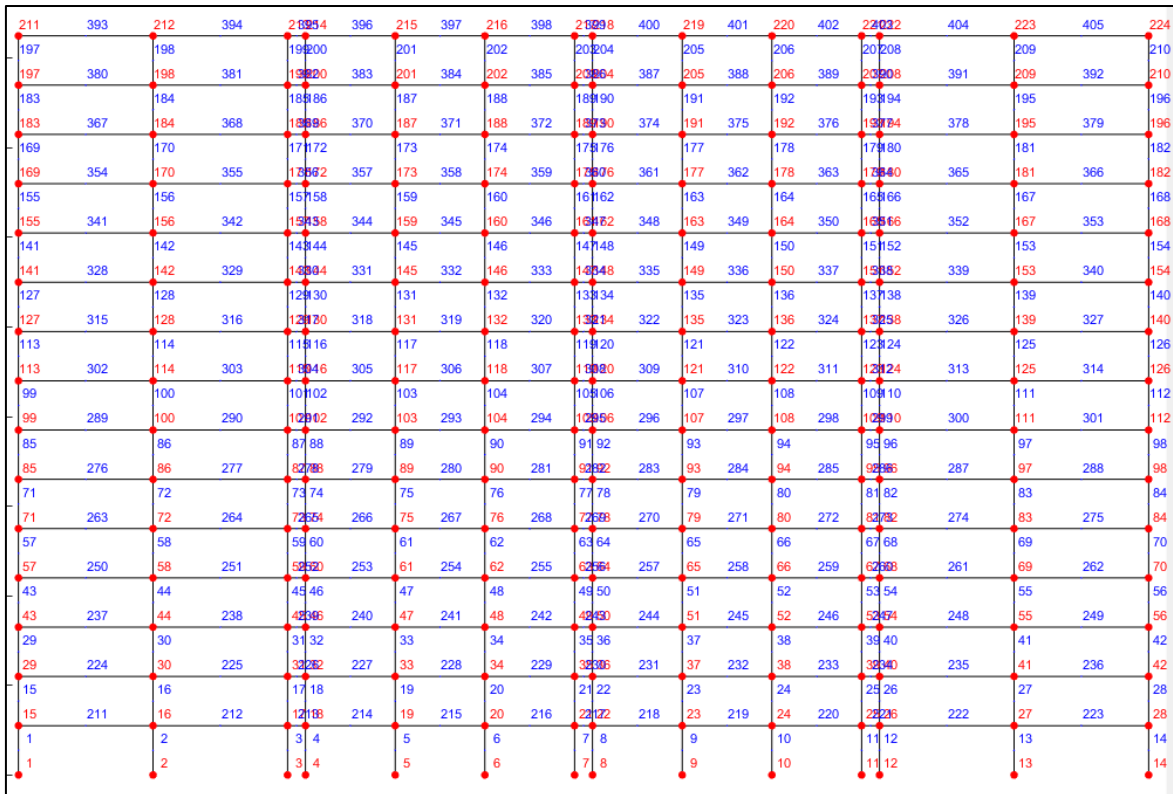


Figura 28. Modelo plano de la edificación de 15 pisos con muros estructurales.

En la figura 28, se muestra el modelo plano de la edificación regular de 15 pisos. Está compuesto de 4 pórticos acoplados en serie correspondiente a los 4 ejes paralelos de la edificación. Se acopla por medio de 3 puntales cortos en cada piso para transferir la fuerza sísmica de un pórtico a otro. Se muestra en rojo la numeración de nudos y en azul la numeración de elementos. En los pórticos exteriores se tiene una placa de concreto armado modelado como columna ancha como se mostró también en la figura 17.

Tabla 13. *Propiedades dinámicas de la edificación de 15 pisos.*

| PROPIEDADES DINÁMICAS | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|----------|
| MODO | VALORES PROPIOS | FRECUENCIAS | PERIODOS |
| | w^2 (1/s ²) | w (1/s) | T (s) |
| 1 | 19 | 4.31 | 1.46 |
| 2 | 451 | 21.25 | 0.30 |
| 3 | 2432 | 49.32 | 0.13 |
| 4 | 6871 | 82.89 | 0.08 |
| 5 | 13690 | 117.01 | 0.05 |
| 6 | 23033 | 151.77 | 0.04 |
| 7 | 35602 | 188.68 | 0.03 |
| 8 | 51082 | 226.01 | 0.03 |
| 9 | 69114 | 262.89 | 0.02 |
| 10 | 88674 | 297.78 | 0.02 |
| 11 | 108216 | 328.96 | 0.02 |
| 12 | 127448 | 357.00 | 0.02 |
| 13 | 145008 | 380.80 | 0.02 |
| 14 | 160162 | 400.20 | 0.02 |
| 15 | 170873 | 413.37 | 0.02 |
| 16 | 177823 | 421.69 | 0.01 |
| 17 | - | - | 0.00 |

En la tabla 13, se muestra las propiedades dinámicas del edificio regular de 15 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se muestra los 16 primeros modos de vibración donde el primer modo tiene como resultado un valor propio de 19 1/s², con el cual se obtiene la frecuencia natural de 4.31 1/s y el periodo de vibración de 1.46 s.

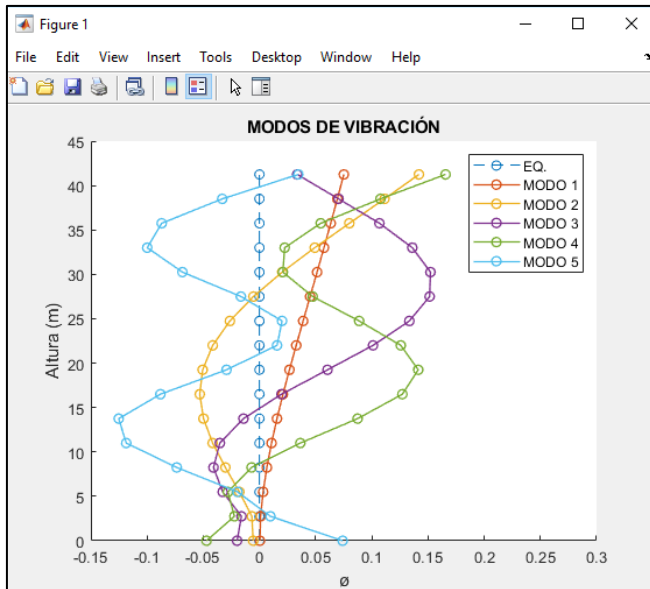


Figura 29. Modos de vibración del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).

En la figura 23, se muestra las 5 primeras formas de vibración de la edificación regular de 15 pisos con base flexible, con periodos de 1.40, 0.29, 0.12, 0.07 y 0.05 s. para el 1er, 2do, 3ro, 4to y 5to modo respectivamente, como se indicó también en la tabla 13.

3.5.2.3. Cálculo de la deformación lateral de las edificaciones regulares sobre suelo flexible.

EDIFICACIÓN DE 2 PISOS

a. Software Etabs V18

Tabla 14. Deformación lateral del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | X_i (m) | D (%) |
| 1 | 0.0162 | 0.58 |
| 2 | 0.0278 | 0.42 |

En la tabla 15, se muestra la deformación lateral del edificio de 2 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.0151 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.31% en el segundo piso.

b. Tecnología alterna

Tabla 15. Deformación lateral del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | Xi (m) | D (%) |
| 1 | 0.0064 | 0.23 |
| 2 | 0.0151 | 0.31 |

En la tabla 15, se muestra la deformación lateral del edificio de 2 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.0151 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.31% en el segundo piso.

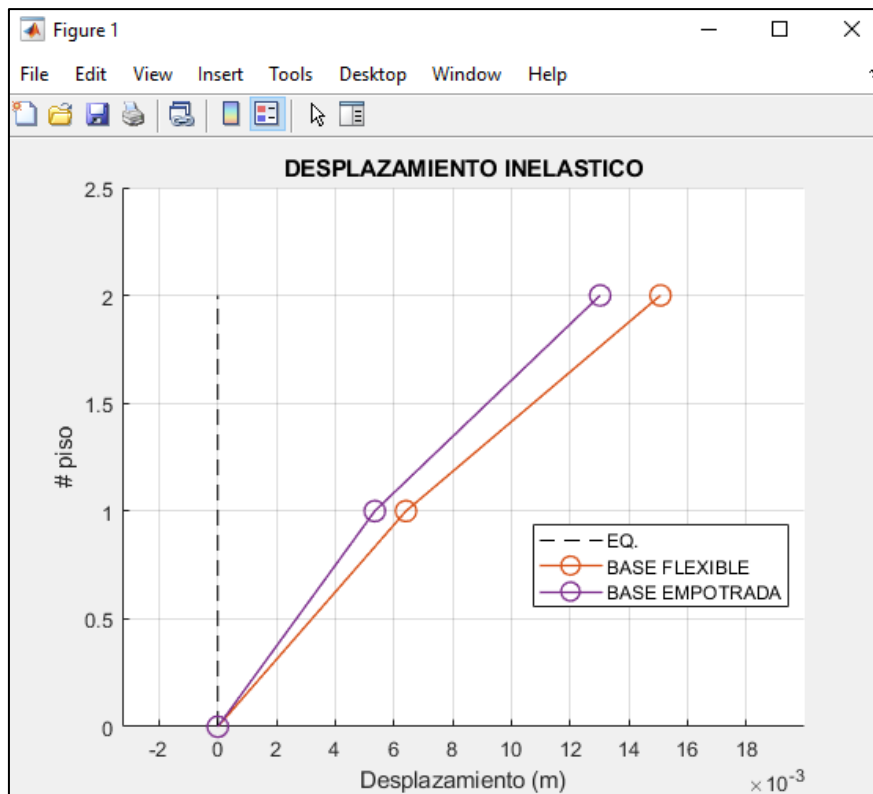


Figura 30. Desplazamiento inelástico del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).

En la figura 30, se muestra los desplazamientos inelásticos de la edificación de 2 pisos sobre suelo flexible, obteniendo valores de 0.0064 m y 0.0151 m para el 1er y 2do piso respectivamente, como también se indicó en la tabla 15.

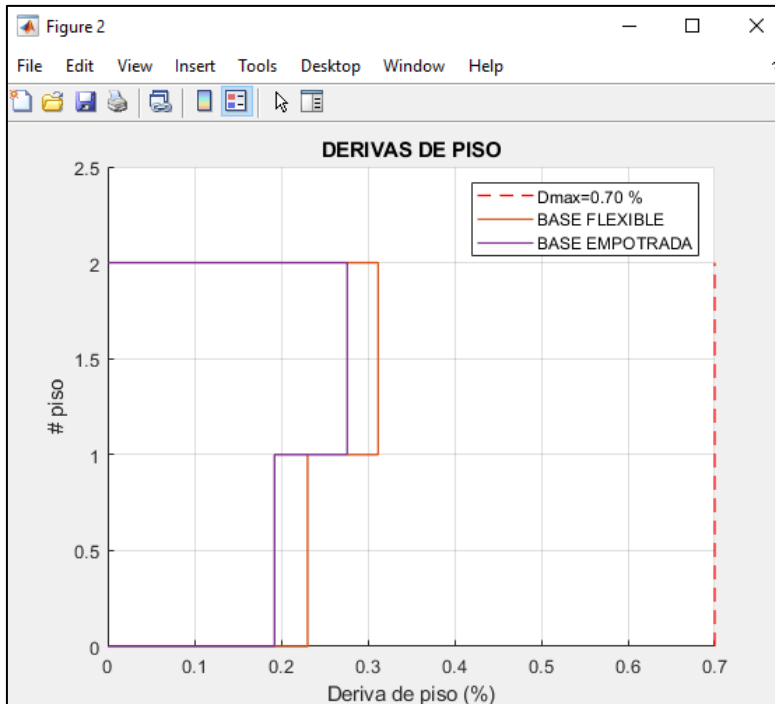


Figura 31. Derivas de entrepiso del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).

En la figura 31, se muestra las derivas de entrepiso de la edificación de 2 pisos sobre suelo flexible, obteniendo valores de 0.23 y 0.31 % en el 1er y 2do piso respectivamente, como también se indicó en la tabla 15.

EDIFICACIÓN DE 6 PISOS

a. Software Etabs V18

Tabla 16. Deformación lateral del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | Xi (m) | D (%) |
| 1 | 0.0162 | 0.54 |
| 2 | 0.0340 | 0.59 |
| 3 | 0.0506 | 0.56 |
| 4 | 0.0655 | 0.50 |
| 5 | 0.0788 | 0.44 |
| 6 | 0.0909 | 0.41 |

En la tabla 16, se muestra la deformación lateral del edificio de 6 pisos sobre suelo flexible calculado con el software Etabs V18. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.091 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.59% en el segundo piso.

b. Tecnología alterna

Tabla 17. Deformación lateral del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | Xi (m) | D (%) |
| 1 | 0.011 | 0.38 |
| 2 | 0.023 | 0.44 |
| 3 | 0.035 | 0.43 |
| 4 | 0.046 | 0.40 |
| 5 | 0.056 | 0.36 |
| 6 | 0.065 | 0.32 |

En la tabla 17, se muestra la deformación lateral del edificio de 6 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.065 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.44% en el segundo piso.

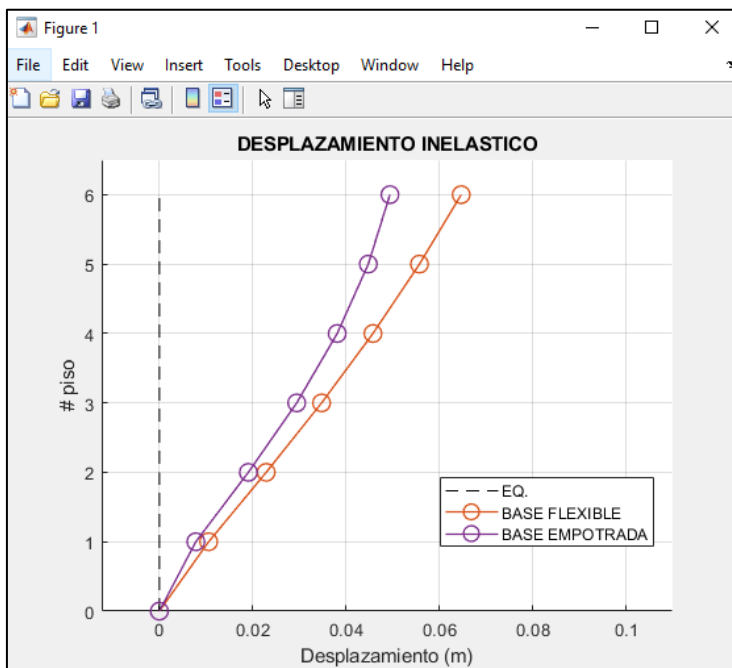


Figura 32. Desplazamiento inelástico del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).

En la figura 26, se muestra los desplazamientos inelásticos de la edificación de 6 pisos sobre suelo flexible, obteniendo valores que varían de 0.011 a 0.065 m del primero hasta el último piso.

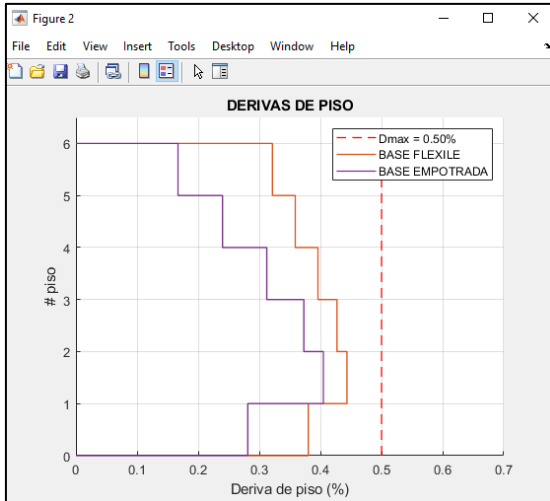


Figura 33. Derivas de entrepiso del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).

En la figura 33, se muestra las derivas de entrepiso de la edificación de 6 pisos sobre suelo flexible, obteniendo valores un valor mínimo de 0.32 % en el último piso y un valor máximo de 0.44 % en el segundo piso, como también se indicó en la tabla 17.

EDIFICACIÓN DE 15 PISOS

a. Software Etabs V18

Tabla 18. Deformación lateral del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | Xi (m) | D (%) |
| 1 | 0.013 | 0.42 |
| 2 | 0.023 | 0.33 |
| 3 | 0.035 | 0.42 |
| 4 | 0.051 | 0.53 |
| 5 | 0.068 | 0.58 |
| 6 | 0.087 | 0.61 |
| 7 | 0.107 | 0.66 |
| 8 | 0.127 | 0.68 |
| 9 | 0.148 | 0.70 |
| 10 | 0.170 | 0.72 |
| 11 | 0.191 | 0.70 |
| 12 | 0.212 | 0.70 |
| 13 | 0.232 | 0.68 |
| 14 | 0.253 | 0.68 |
| 15 | 0.273 | 0.68 |

En la tabla 18, se muestra la deformación lateral del edificio de 15 pisos sobre suelo flexible calculado con el software Etabs V18. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.273 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.72 % en el décimo piso.

b. Tecnología alterna

Tabla 19. Deformación lateral del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).

| DEFORMACIÓN LATERAL | | |
|---------------------|------------------|--------|
| PISO | DESP. INELASTICO | DERIVA |
| | Xi (m) | D (%) |
| 1 | 0.005 | 0.17 |
| 2 | 0.013 | 0.29 |
| 3 | 0.024 | 0.40 |
| 4 | 0.037 | 0.48 |
| 5 | 0.052 | 0.54 |
| 6 | 0.068 | 0.59 |
| 7 | 0.086 | 0.62 |
| 8 | 0.103 | 0.64 |
| 9 | 0.122 | 0.65 |
| 10 | 0.140 | 0.65 |
| 11 | 0.158 | 0.65 |
| 12 | 0.176 | 0.65 |
| 13 | 0.195 | 0.69 |
| 14 | 0.214 | 0.68 |
| 15 | 0.233 | 0.68 |

En la tabla 19, se muestra la deformación lateral del edificio de 15 pisos sobre suelo flexible calculado con la Tecnología alterna. Se obtuvo como resultado un desplazamiento inelástico en la azotea de 0.233 m y una deriva de entrepiso máxima de 0.69 % en el décimo tercer piso.

En la figura 34, se muestra los desplazamientos inelásticos de la edificación de 15 pisos sobre suelo flexible, obteniendo valores que varía de 0.005 a 0.233 m del primero hasta último piso, como también se indicó en la tabla 19.

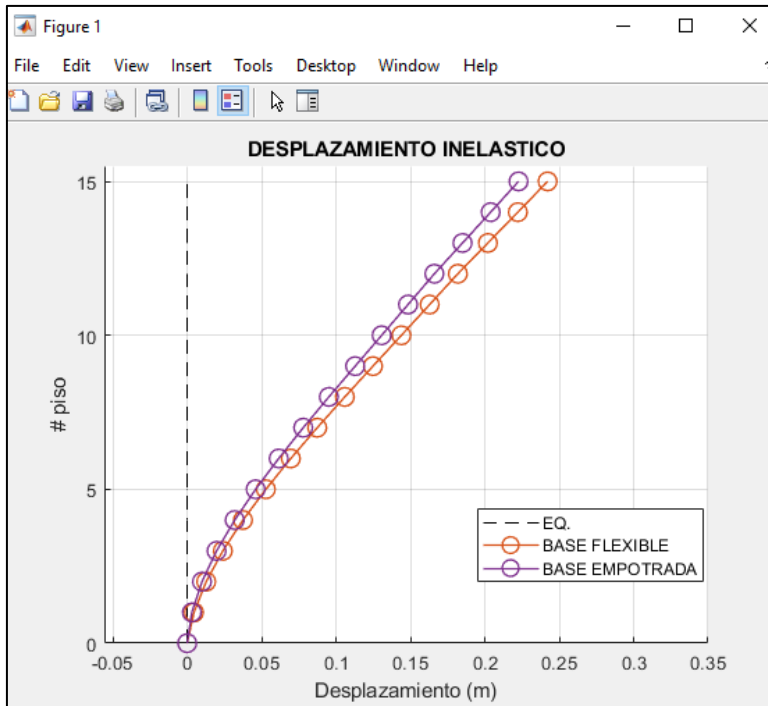


Figura 34. Desplazamiento inelástico, edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).

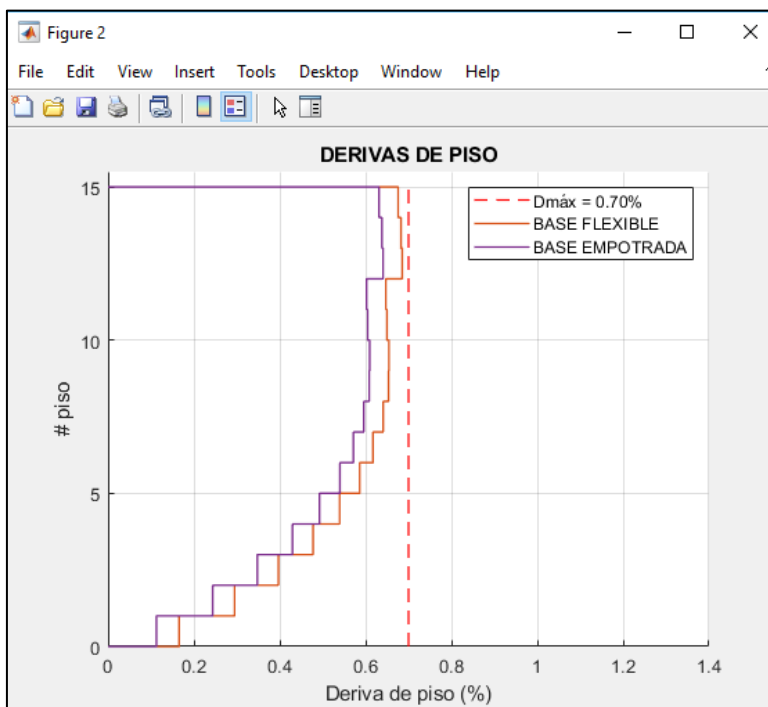


Figura 35. Derivas de entrepiso del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).

En la figura 29, se muestra las derivas de entrepiso de la edificación de 15 pisos sobre suelo flexible, obteniendo un valor mínimo de 0.17 % en el primer piso y un valor máximo de 0.69 % en el décimo tercer piso.

3.5.2.4. Cálculo de las fuerzas internas críticas en las edificaciones regulares sobre suelo flexible.

EDIFICACIÓN DE 2 PISOS

a. Software Etabs V18

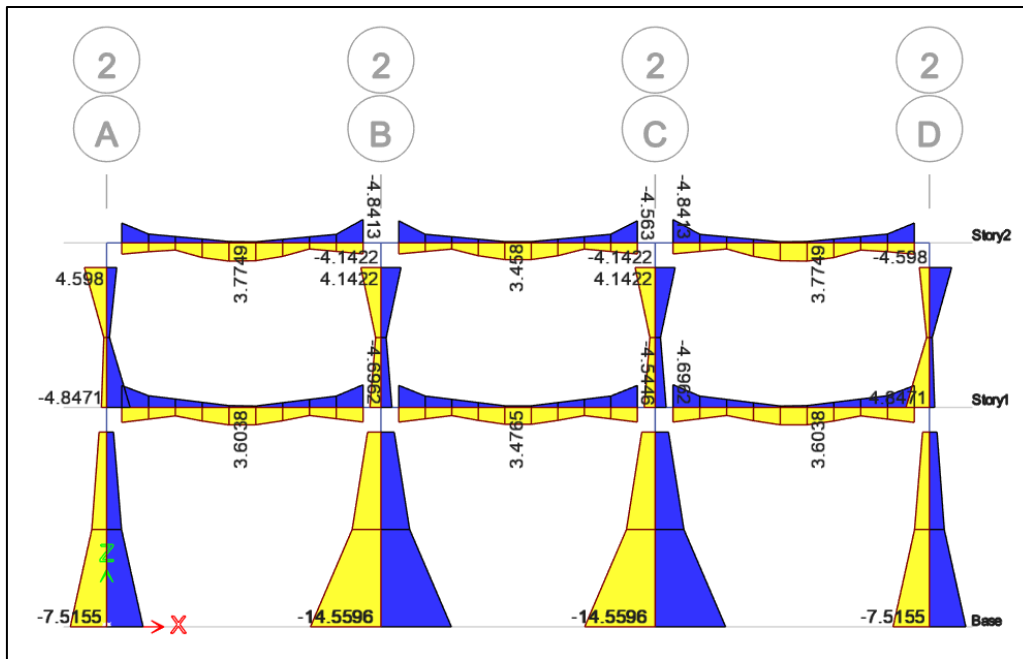


Figura 36. Momentos flectores del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).

En la figura 36, se muestra los momentos flectores en el pórtico del eje 2 que muestra el software Etabs V18, donde se puede observar el momento de 14.56 Tm en la base de la columna N° 7.

Tabla 20. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 2 pisos (Etabs V18).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|----|-------------------|-------|------|-------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 7 | Con mayor momento | 34.78 | 4.87 | 14.56 |
| Viga | 37 | Con mayor momento | 0.00 | 7.59 | 4.69 |

En la tabla 20, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 2 pisos calculado con el software Etabs V18. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 34.78 T, una fuerza cortante de 4.87 T y un momento flector de 14.56 Tm;

y la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 7.59 T y un momento flector de 4.69 Tm.

b. Tecnología alterna

Tabla 21. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 2 pisos (T. Alterna).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|----|-------------------|-------|------|-------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 7 | Con mayor momento | 34.68 | 5.36 | 12.80 |
| Viga | 37 | Con mayor momento | 0.00 | 7.41 | 4.12 |

En la tabla 21, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 2 pisos calculado con la tecnología alterna. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 34.68 T, una fuerza cortante de 5.36 T y un momento flector de 12.80 Tm; y la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 7.41 T y un momento flector de 4.12 Tm.

EDIFICACIÓN DE 6 PISOS

a. Software Etabs V18

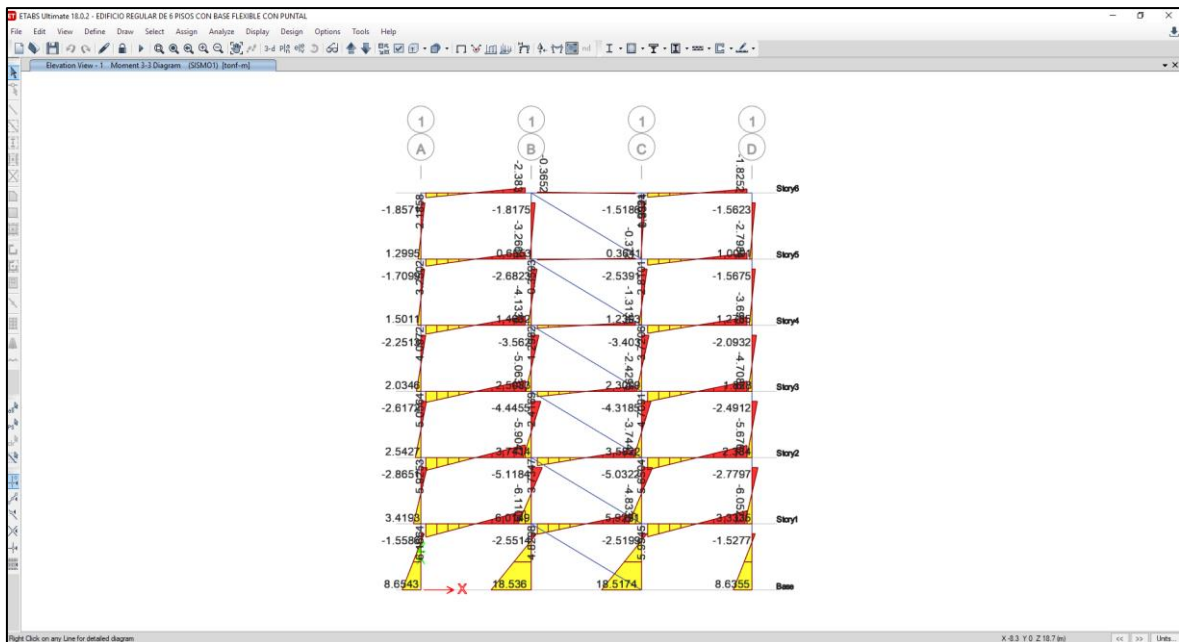


Figura 37. Momentos flectores del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).

En la figura 37, se muestra los momentos flectores en el pórtico del eje 1 que muestra el software Etabs V18, donde se puede observar el momento de 18.52 Tm en la base de la columna N° 3. Las diagonales representan los muros de albañilería y soportan solo fuerzas a compresión.

Tabla 22. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 6 pisos (Etabs V18).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|-----|-------------------------------|--------|------|-------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 3 | Con mayor cortante | 104.68 | 8.25 | 18.52 |
| Viga | 105 | Con mayor momento | 0.00 | 2.80 | 6.24 |
| Albañilería | 187 | Con mayor compresión diagonal | 59.57 | 0.00 | 0.00 |

En la tabla 22, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 6 pisos calculado con el software Etabs V18. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 104.68 T, una fuerza cortante de 8.25 T y un momento flector de 18.52 Tm; la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 2.80 T y un momento flector de 6.24 Tm; y la albañilería soporta una compresión diagonal de 59.57 T en el primer piso.

b. Tecnología alterna

Tabla 23. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 6 pisos (T. Alterna).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|-----|-------------------------------|--------|------|-------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 3 | Con mayor axial | 104.36 | 7.73 | 16.54 |
| Viga | 105 | Con mayor momento | 0.00 | 2.46 | 6.15 |
| Albañilería | 187 | Con mayor compresión diagonal | 57.51 | 0.00 | 0.00 |

En la tabla 23, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 6 pisos calculado con la Tecnología alterna. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 104.36 T, una fuerza cortante de 7.73 T y un momento flector de 16.54 Tm; la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 2.46 T y un momento flector de 6.15 Tm; y la albañilería soporta una compresión diagonal de 59.57 T en el primer piso.

EDIFICACIÓN DE 15 PISOS

a. Software Etabs V18

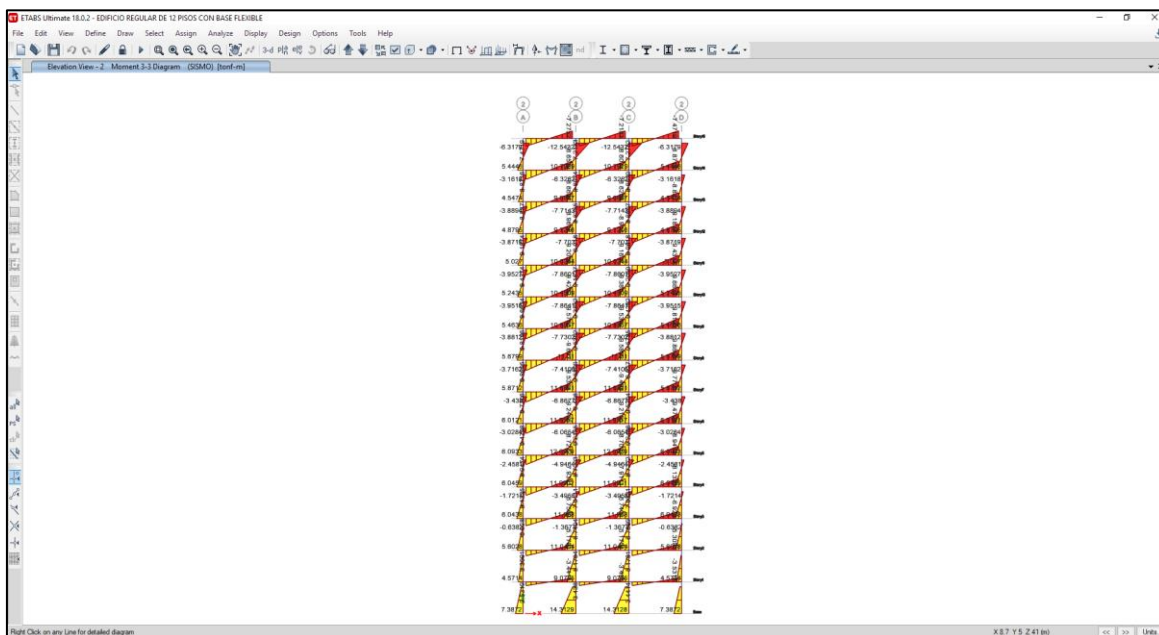


Figura 38. Momentos flectores del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).

En la figura 38, se muestra los momentos flectores en el pórtico del eje 2 que muestra el software Etabs V18, donde se puede observar el momento de 14.31 Tm en la base de la columna N° 5. Los muros estructurales se encuentran en los ejes 1 y 4 y se modelaron con elementos finitos.

Tabla 24. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 15 pisos (Etabs V18).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|-----|-------------------|--------|------|-------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 5 | Con mayor axial | 240.79 | 4.38 | 14.31 |
| Viga | 292 | Con mayor momento | 0.00 | 4.39 | 9.77 |

En la tabla 25, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 15 pisos calculado con la tecnología alterna. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 240.79 T, una fuerza cortante de 4.38 T y un momento flector de 14.31 Tm; y la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 4.39 T y un momento flector de 9.77 Tm. Las fuerzas internas de las placas son de difícil lectura al estar modeladas como elementos finitos.

b. Tecnología alterna

Tabla 25. Fuerzas internas críticas del edificio regular de 15 pisos (T. Alterna).

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | Ax | Co | Mo |
|---------------------------|-----|--------------------|--------|--------|---------|
| Elemento | N° | Descripción | | | |
| Columna | 5 | Con mayor axial | 252.62 | 4.45 | 14.36 |
| Viga | 292 | Con mayor momento | 0.00 | 4.42 | 11.08 |
| Placa | 2 | Con mayor cortante | 504.47 | 182.50 | 2881.50 |

En la tabla 25, se muestra las fuerzas internas críticas en la edificación de 15 pisos calculado con la tecnología alterna. La columna más afectada soporta una fuerza axial de 252.62 T, una fuerza cortante de 4.45 T y un momento flector de 14.36 Tm; la viga más afectada soporta una fuerza cortante de 4.42 T y un momento flector de 11.08 Tm; y la placa más afectada soporta una fuerza axial de 504.47 T, una fuerza cortante de 182.50 T y un momento flector de 2881.50 Tm en el primer piso.

3.6. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se realizó teniendo en consideración las normas y el código de ética en investigación de la Universidad César Vallejo. Las fuentes utilizadas fueron revisadas rigurosamente y se encontraron debidamente referenciadas en las bibliografías, cabe indicar que en la redacción de este trabajo se realizó la evaluación por intermedio del turnitin, con la finalidad de no alterar la originalidad del trabajo. La ejecución de recolección de datos y ensayos se realizó de acuerdo los procedimientos indicados y contemplados en las normas, dichos procedimientos estarán supervisadas, verificadas y aprobadas por los ingenieros especialistas.

3.7. Método de análisis de datos

Para la evaluación e interpretación de los datos que obtendremos según el procedimiento diseñado, estas son realizadas bajo las normas mencionadas en el ítem anterior. Además, se utilizó herramientas informáticas para el procesamiento de la investigación como el Etabs V19, Matlab y Microsoft Excel. Así también, con el apoyo del ingeniero asesor para verificación de los datos obtenidos en base a los procedimientos de cálculo ya mencionados.

IV. RESULTADOS

4.1. Definición de la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de los edificios regulares sobre suelo flexible.

Tabla 26. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas.

| PROPIEDADES DINÁMICAS | EDIFICIO | ETABS V18 | T. ALTERNA | VAR. (%) |
|-------------------------------------|----------|-----------|------------|----------|
| VALORES PROPIOS (1/s ²) | 2 PISO | 299.60 | 302.09 | 0.83 |
| | 6 PISOS | 52.04 | 51.67 | -0.71 |
| | 15 PISOS | 18.47 | 18.61 | 0.76 |
| FRECUENCIAS (1/s) | 2 PISO | 17.31 | 17.38 | 0.41 |
| | 6 PISOS | 7.21 | 7.19 | -0.35 |
| | 15 PISOS | 4.30 | 4.31 | 0.38 |
| PERIODOS (Seg) | 2 PISO | 0.36 | 0.36 | -0.41 |
| | 6 PISOS | 0.87 | 0.87 | 0.36 |
| | 15 PISOS | 1.46 | 1.46 | -0.38 |

En la tabla 26, se muestra un resumen de la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de los edificios regulares sobre suelo flexible, primer modo de vibración. En el cálculo de valores propios se tiene variaciones de 0.83, -0.71 y 0.76 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, para el cálculo de frecuencias se tiene variaciones de 0.41, -0.35 y 0.38 % y para el cálculo de periodos las variaciones son de -0.41, 0.36 y -0.38 %.

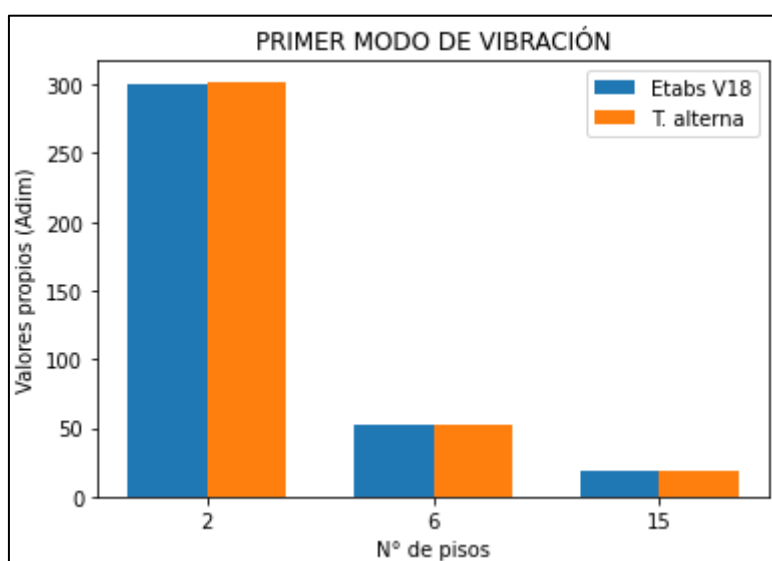


Figura 39. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de los valores propios.

En la figura 39, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de los valores propios de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Para el edificio regular de 2 pisos los valores propios son de 299.60 y 302.09 1/s² calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos los valores propios son de 52.04 y 51.67 1/s² y para el edificio de 15 pisos los propios son de 18.47 y 18.61 1/s².

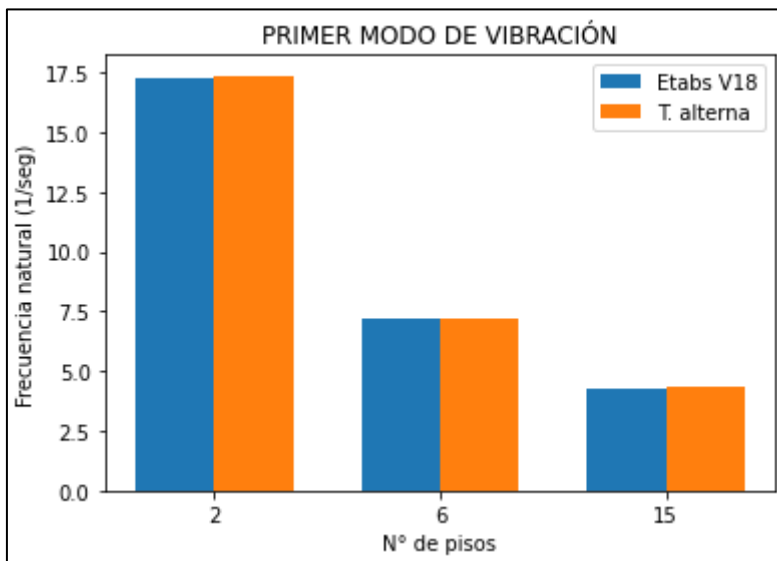


Figura 40. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la frecuencia natural.

En la figura 40, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la frecuencia natural de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Para el edificio regular de 2 pisos la frecuencia natural es de 17.31 y 17.38 1/s calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos los valores propios son de 7.21 y 7.19 1/s y para el edificio de 15 pisos la frecuencia natural es de 4.30 y 4.31 1/s.

En la figura 41, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del periodo fundamental de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 0.36 y 0.36 s. calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 0.87 y 0.87 s. y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 1.46 y 1.46 s.

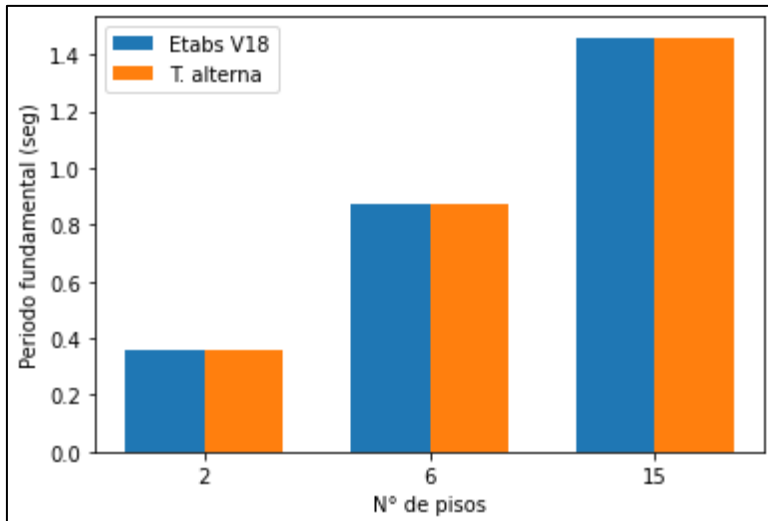


Figura 41. Precisión de la T. Alterna en el cálculo del periodo fundamental.

4.2. Determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de los edificios regulares sobre suelo flexible.

Tabla 27. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la deformación lateral.

| DEFORMACIÓN LATERAL | EDIFICIO | ETABS V18 | T. ALTERNA | VAR. (%) |
|----------------------|----------|-----------|------------|----------|
| DESP. INELASTICO (m) | 2 PISO | 0.03 | 0.02 | -45.70 |
| | 6 PISOS | 0.09 | 0.06 | -28.82 |
| | 15 PISOS | 0.27 | 0.23 | -14.80 |
| DERIVA MÁXIMA (%) | 2 PISO | 0.58 | 0.31 | -46.60 |
| | 6 PISOS | 0.56 | 0.44 | -20.09 |
| | 15 PISOS | 0.70 | 0.68 | -3.46 |

En la tabla 27, se muestra un resumen de la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en los desplazamientos inelásticos variaciones de -45.70, -28.82 y -14.80 % para los edificios de 1, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, para las derivas máximas las variaciones son de -46.60, -20.09 y -3.46 %.

En la figura 42, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del desplazamiento inelástico de la azotea de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 0.03 y 0.02 m calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual

forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 0.09 y 0.06 m y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 0.27 y 0.23 m.

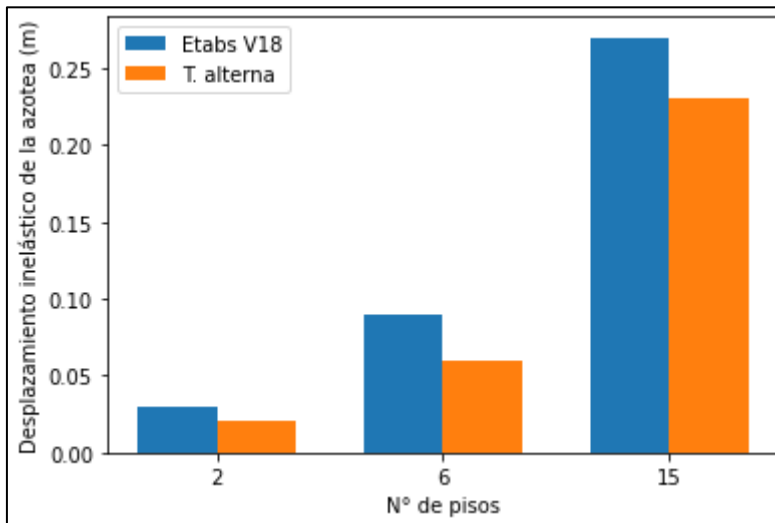


Figura 42. Precisión de la T. Alterna, cálculo del desplazamiento inelástico.

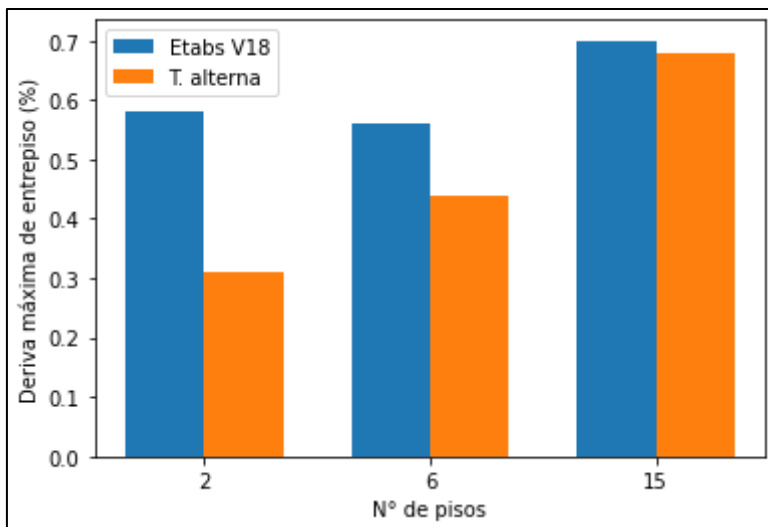


Figura 43. Precisión de la T. Alterna, cálculo de la deriva máxima de entrepiso.

En la figura 43, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deriva máxima de entrepiso de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 0.58 y 0.31 m calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 0.56 y 0.44 m y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 0.70 y 0.68 m.

4.3. Mostrar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas críticas de los edificios regulares sobre suelo flexible.

Tabla 28. Precisión de la T. Alterna, fuerzas internas críticas en columnas.

| FUERZAS INTERNAS CRITICAS | EDIFICIO | ETABS V18 | T. ALTERNA | VAR. (%) |
|---------------------------|----------|-----------|------------|----------|
| F. AXIAL (T) | 2 PISO | 34.78 | 34.68 | -0.29 |
| | 6 PISOS | 104.68 | 104.36 | -0.31 |
| | 15 PISOS | 240.79 | 252.62 | 4.91 |
| F. CORTANTE (T) | 2 PISO | 4.87 | 5.36 | 10.02 |
| | 6 PISOS | 8.25 | 7.73 | -6.30 |
| | 15 PISOS | 4.38 | 4.45 | 1.54 |
| MOMENTO FLECTOR (Tm) | 2 PISO | 14.56 | 12.80 | -12.07 |
| | 6 PISOS | 18.52 | 16.54 | -10.69 |
| | 15 PISOS | 14.31 | 14.36 | 0.34 |

En la tabla 28, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas críticas en la columna más esforzada de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en las fuerzas axiales variaciones de -0.29, -0.31 y 4.91 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las fuerzas cortantes las variaciones son de 10.02, -6.30 y 1.54 % y en los momentos flectores las variaciones son de -12.07, -10.69 y 0.34 %.

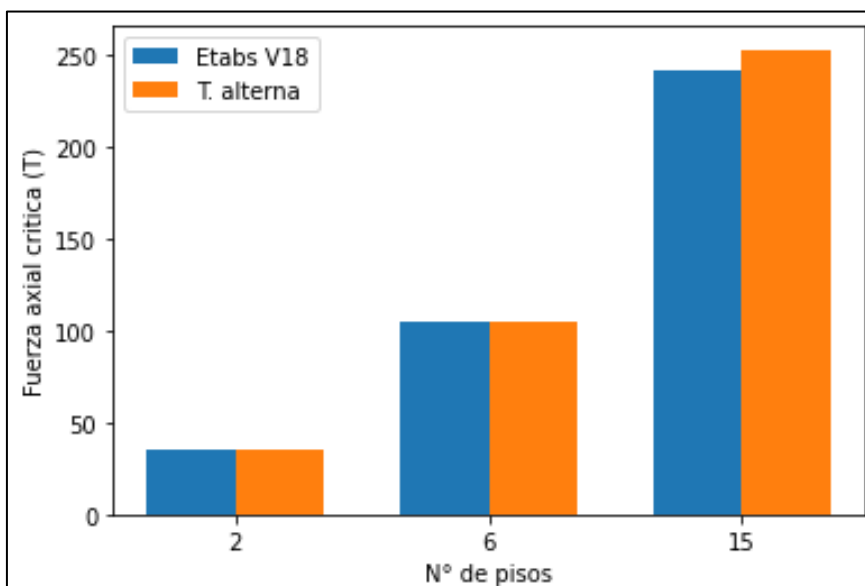


Figura 44. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la fuerza axial crítica.

En la figura 44, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la fuerza axial crítica de la columna más esforzada de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 34.78 y 34.68 T calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 104.68 y 104.36 m y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 240.79 y 252.62 T.

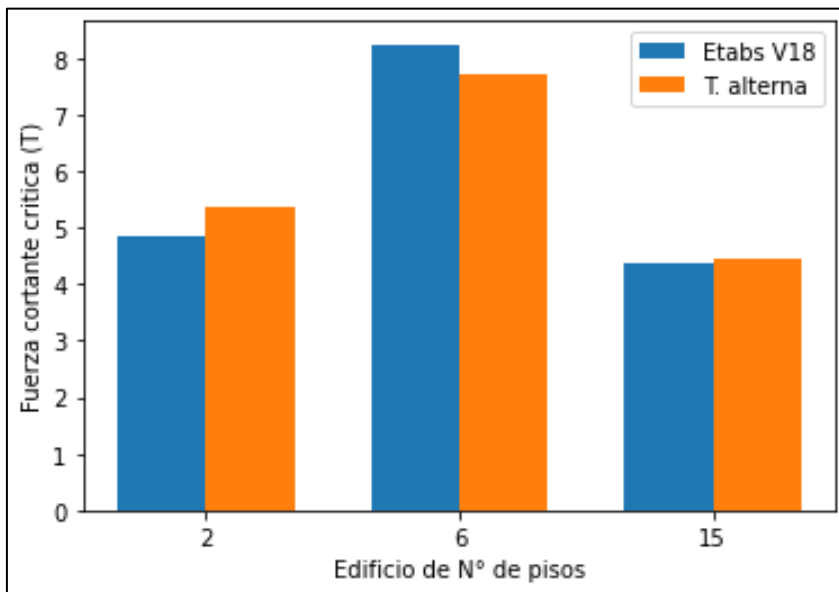


Figura 45. Precisión de la T. Alterna en el cálculo de la fuerza cortante crítica.

En la figura 45, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la fuerza cortante crítica de la columna más esforzada de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 4.87 y 5.36 T calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 8.25 y 7.73 T y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 4.38 y 4.45 T.

En la figura 46, se muestra la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del momento flector crítico de la columna más esforzada de tres edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como resultado, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 14.56 y 12.80 Tm calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores

de 18.52 y 16.54 T y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 14.31 y 14.36 T.

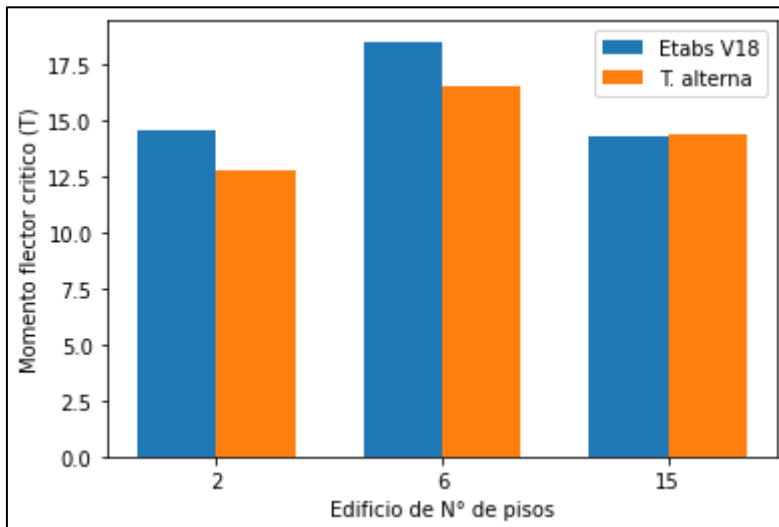


Figura 46. Precisión de la T. Alternativa en el cálculo del momento flector crítico.

4.4. Determinar la precisión de la tecnología alternativa en el cálculo del comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible.

Tabla 29. Precisión de la T. Alternativa en el cálculo del comportamiento sísmico.

| COMPORTAMIENTO SÍSMICO | EDIFICIO | VAR. (%) |
|---------------------------|----------|----------|
| PROPIEDADES DINÁMICAS | 2 PISO | 0.28 |
| | 6 PISOS | -0.24 |
| | 15 PISOS | 0.25 |
| DEFORMACIÓN LATERAL | 2 PISO | -46.15 |
| | 6 PISOS | -24.46 |
| | 15 PISOS | -9.13 |
| FUERZAS INTERNAS CRÍTICAS | 2 PISO | -0.78 |
| | 6 PISOS | -5.77 |
| | 15 PISOS | 2.27 |

En la tabla 29, se muestra un resumen de la precisión de la tecnología alternativa en el cálculo del comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en las propiedades dinámicas variaciones promedio de 0.28, -0.24 y 0.25 % para los edificios de 1, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las deformaciones laterales las variaciones promedio son de -46.15, -24.46 y -9.13 % y en las fuerzas internas críticas las variaciones promedio son de -0.78, -5.77 y 2.27 %.

V. DISCUSIÓN

Discusión 1: Se definió la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como periodo fundamental, para el edificio regular de 2 pisos, valores de 0.36 y 0.36 s. calculados con Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De igual forma, para el edificio regular de 6 pisos se tiene valores de 0.87 y 0.87 s. y para el edificio de 15 pisos se tiene valores de 1.46 y 1.46 s.

Respecto a (BRAMÓN, 2020), citado como antecedente nacional, estudia los efectos de los modelos de interacción suelo estructura en análisis sísmico de un edificio multifamiliar. Obtiene como resultado periodos fundamentales de 1.07, 0.98 y 1.11 s. analizados con los modelos de D. Barkan, Norma Rusa y M. Sargian respectivamente.

De la comparación podemos contemplar que los periodos obtenidos son congruentes por los obtenidos por (BRAMÓN, 2020). Por consiguiente, el objetivo específico 1 es alcanzado.

Discusión 2: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo como desplazamiento inelástico en la azotea, para el edificio regular de 15 pisos, valores de 0.27 y 0.23 m calculados con las herramientas Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente.

Respecto a (CAMAYO, 2019), citado en metodología, describe la influencia de la flexibilidad del suelo en la sismoresistencia de un edificio de 15 pisos de sistema dual como el que se estudia en la presente investigación, utilizando como herramienta el software Etabs V18. Obtiene como resultado desplazamientos inelásticos en la azotea de 0.26 y 0.27 m modelados con los modelos de la Norma Rusa y D. Barkan respectivamente

Se puede observar que los desplazamientos obtenidos son similares a los obtenidos por (CAMAYO, 2019). Por lo tanto, el objetivo específico 2 es alcanzado.

Discusión 3: Se mostró la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas críticas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en la columna más esforzada del edificio de 6 pisos una fuerza axial crítica de 104.68 y 104.36 T calculados con las herramientas Etabs V18 y la T. Alterna respectivamente. De la misma manera, las fuerzas cortantes críticas fueron de 8.25 y 7.73 T y los momentos de flectores críticos de 18.52 y 16.54 Tm usando ambas herramientas.

Respecto a (VILLARREAL, 2017), citado en el planteamiento del problema, en su libro calcula las fuerzas internas críticas en la columna más esforzada de un edificio de 6 pisos considerando la flexibilidad del suelo. Obtiene como resultado una fuerza axial crítica de 19.75 y 19.77 T utilizando los modelos de la norma Rusa y D. Barkan respectivamente. De la misma manera, la fuerza cortante crítica es de 9.52 y 9.64 T y el momento flector crítico es de 18.71 y 18.98 Tm usando ambos modelos.

Comparando ambos resultados se puede observar que las fuerzas axiales críticas varían, debido a que en la presente investigación se considera las cargas de gravedad del edificio. Sin embargo, las fuerzas cortantes y los momentos flectores críticos son similares, porque estos efectos corresponden a la demanda sísmica. Por lo tanto, consideramos que el objetivo específico 3 es alcanzado.

Discusión 4: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en las propiedades dinámicas variaciones promedio de 0.28, -0.24 y 0.25 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las deformaciones laterales las variaciones promedio son de -46.15, -24.46 y -9.13 % y en las fuerzas internas críticas las variaciones promedio son de -0.78, -5.77 y 2.27 %.

Respecto a (VILLARREAL, 2017), citado en planteamiento del problema, en su libro calcula las variaciones en fuerzas internas críticas de un edificio de 6 pisos modelado con la interacción suelo estructura de la norma Rusa respecto al modelo de base empotrada. Obteniendo variaciones de -1.62, 0.53 y 2.07 % para las fuerzas axiales, cortantes y momentos respectivamente. Concluye que no se cumple con la premisa que la base flexible disminuye las fuerzas internas máximas.

Comparando ambos resultados podemos deducir que la precisión de la tecnología alterna podría desvirtuar los efectos reales de la base flexible en las fuerzas internas críticas del edificio. Debido a que los valores de precisión de la tecnología alterna (-0.78, -5.77 y 2.27) en algunos casos son mayores a los efectos de la interacción suelo estructura (-1.62, 0.53 y 2.07). A pesar de esto, la tecnología alterna tiene resultados coherentes y enseña de manera efectiva la interacción suelo estructura de acuerdo a las teorías en la que se construye, justificadamente distintas a los modelos exactos que utilizan los programas comerciales.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión 1: Se definió la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo para los valores propios variaciones de 0.83, -0.71 y 0.76 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, para las frecuencias naturales las variaciones son de 0.41, -0.35 y 0.38 % y para los periodos las variaciones son de -0.41, 0.36 y -0.38 %.

Conclusión 2: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en los desplazamientos inelásticos variaciones de -45.70, -28.82 y -14.80 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, para las derivas máximas las variaciones son de -46.60, -20.09 y -3.46 %. Esto significa que el cálculo realizado por la tecnología alterna es distinto al del software Etabs V18, sobretodo en edificios de baja altura. Debido al modelo dinámico simplificado utilizado en la tecnología alterna, a diferencia del modelado por elementos finitos del software Etabs V18.

Conclusión 3: Se mostró la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas críticas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en las fuerzas axiales variaciones de -0.29, -0.31 y 4.91 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las fuerzas cortantes las variaciones son de 10.02, -6.30 y 1.54 % y en los momentos flectores las variaciones son de -12.07, -10.69 y 0.34 %. Esto significa que la tecnología alterna tiene mayor precisión analizando edificios altos como también los efectos de las cargas de gravedad.

Conclusión 4: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible. Obteniendo en las propiedades dinámicas variaciones promedio de 0.28, -0.24 y 0.25 % para los edificios de 2, 6 y 15 pisos respectivamente. De igual forma, en las

deformaciones laterales las variaciones promedio son de -46.15, -24.46 y -9.13 % y en las fuerzas internas críticas las variaciones promedio son de -0.78, -5.77 y 2.27 %. Esto significa que la tecnología alterna obtiene resultados semejantes en el cálculo de las propiedades dinámicas y fuerzas internas del edificio. Sin embargo, los resultados obtenidos para las deformaciones laterales son diferentes, sobretodo en edificios de baja altura, debido al modelo dinámico simplificado utilizado en la tecnología alterna, a diferencia del modelado por elementos finitos del software Etabs V18.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación 1: Se definió la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Utilizando el modelo simplificado de varios grados de libertad según el código (ASCE/SEI 7-10, 2010) y la función “eig” de Matlab para determinar vectores y valores propios. Obteniendo resultados similares a los obtenidos con el modelado 3D en base a elementos finitos en el software Etabs V18. Por lo tanto, se recomienda la aplicación del modelo simplificado del ASCE 7-10 para analizar la interacción suelo estructura de los edificios regulares sobre suelo flexible.

Recomendación 2: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de los edificios regulares sobre suelo flexible. Convirtiendo el sistema dinámico de varios grados de libertad a un sistema simple de péndulo invertido más un análisis espectral con los parámetros de la (NTP E.030, 2019). Obteniendo resultados distintos a los obtenidos con el modelado 3D en base a elementos finitos en el software Etabs V18. Por consiguiente, se recomienda realizar más estudios que comparen ambos resultados para descartar errores en los algoritmos de la Tecnología alterna o en la base teórica del sistema simple de péndulo invertido.

Recomendación 3: Se mostró la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas críticas de los edificios regulares sobre suelo flexible. Utilizando las fuerzas laterales reducidas por la influencia de la base flexible y llevándolas del modelo simplificado al modelo de elementos finitos programado en la tecnología alterna. Obteniendo resultados similares a los obtenidos con el modelado 3D en base a elementos finitos en el software Etabs V18. Por lo tanto, se recomienda la aplicación de la teorías del código (NEHRP NIST, 2012) para el análisis de edificios con interacción suelo estructura.

Recomendación 4: Se determinó la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible. Utilizando las especificaciones del código (ASCE/SEI 7-10, 2010) para el modelo simplificado de varios grados de libertad y el código (NEHRP NIST, 2012) para el modelado de interacción suelo estructura en base un resorte para la traslación (kd)

y otro para la rotación (k_r). Obteniendo resultados similares a los obtenidos con el modelo D. Barkan aplicado al modelo 3D en el software Etabs V18. Por lo tanto, se recomienda la aplicación de los códigos y modelos descritos en las recomendaciones de la presente investigación para estimar el comportamiento sísmico de los edificios regulares sobre suelo flexible.

REFERENCIAS

- AGUIAR, Roberto. 2014. Análisis matricial de estructuras. Quito-Ecuador : ESPE, 2014. 978-9978-310-01-2.
- . 2008. Analisis sísmico de edificios. Valle de los Chillos : Centro de investigaciones científicas, 2008. 978-9978-30-104-3.
- . 2012. Dinámica de estructuras con Ceinci Lab. Quito : Escuela Politecnica del ejercito, 2012. Disponible en: <https://bit.ly/3qN3zgM>.
- AGUIAR, Roberto y GALLEGOS, Byron. 2015. Interacción suelo estructura de edificios según ASCE 10 y la guía NERPH-NIST-2012. Quito : s.n., 2015. Disponible en: <https://bit.ly/3qNb9YC>.
- AGUIAR, Roberto y ORTIZ, Dennis. 2017. Revista internacional de Ingeniería de estructuras. Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de manta considerado interacción suelo estructura. Quito : s.n., 2017. Vol. 22, 3. Disponible en: <https://bit.ly/33WMs2P>.
- ARANCIBIA, Daniela. 2020. Estudio del efecto de la interacción suelo estructura en edificios bajos de albañilería. Santiago : s.n., 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3GQqGML>.
- ARIAS, Fidias. 2012. El proyecto de investigación. Caracas : Episteme, 2012. 980-07-8529-9.
- ASCE/SEI 7-10. 2010. Minimum design loads for buildings and other structures. Virginia : s.n., 2010.
- BBC Ciencia. 2017. BBC News. [En línea] 25 de Mayo de 2017. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40049072>.
- BEHAR, Daniel. 2008. Metodología de la investigación. s.l. : Shalom, 2008. 978-959-212-783-7.
- BERNAL, César. 2010. Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Colombia : Pearson Educación, 2010. 978-958-699-128-5.
- BRAMÓN, Jorge. 2020. Análisis dinámico comparativo del comportamiento sísmico del Edificio Multifamiliar Salamanca de Monterrico 10 mediante los modelos de

interacción suelo - estructura, Ate 2020. Lima : s.n., 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3rFgJLI>.

CAMAYO, Derly. 2019. Flexibilidad del suelo en la sismoresistencia de un edificio alto de sistema dual con platea de cimentación. Huancayo-Perú : s.n., 2019.

CARRASCO, Sergio. 2005. Metodología de la Investigación científica. Lima : San Marcos, 2005.

DAMIÁN, Gabriel. 2018. CNN Latinoamérica. [En línea] 7 de Septiembre de 2018. <https://cnnespanol.cnn.com/video/terremotos-cinturon-fuego-oceano-pacifico-pkg-digital-original/>.

GAZETAS, G. 2012. Notas de clase: Dinamica de suelos. Barcelona : Universidad Politecnica de Catalunya, 2012.

GOMEZ BASTAR, Sergio. 2012. Como aprender y enseñar investigación científica. Mexico : RED TERCER MILENIO S.C, 2012. 978-607-733-149-0.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. 2010. Metodología de la investigación. Mexico : McGRAW HILL/Interamericana Editores S.A., 2010. 978-607-15-0291-9.

HURTADO, Jorge. 2020. Análisis matricial de estructuras curso con Matlab. Medellin : Universidad Nacional de Colombia, 2020.

LÓPEZ, Diego. 2020. Análisis de la respuesta dinámica estructural considerando los efectos de la interacción suelo estructura limitada a los requisitos de la NEC 2015. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3H0udYU>.

NEHRP NIST. 2012. Soil Structure Interaction for Building Structures. 2012.

NEYRA, Cristhian y ROMERO, George. 2019. Influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico en edificaciones aporricadas sobre zapatas aisladas debido al cambio de geometría y condiciones geotécnicas. Lima : s.n., 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3o6jJAb>.

NIÑO, Victor. 2011. Metodología de la investigación Diseño y Ejecución. Bogotá : Ediciones de la U, 2011. 978-958-8675-94-7.

NTP E.030. 2019. Norma tecnica de ingeniería sismoresistente. Lima : Macro, 2019.

OLIVERA, Jael. 2021. Influencia de la interacción suelo - estructura en el análisis y diseño estructural de edificios de concreto armado, Urb. Álamos, Wánchaq, Cusco - 2021. Lima : s.n., 2021. Disponible en: <https://bit.ly/3Kv8FG1>.

- RIOS, Deitin. 2020. Análisis de la interacción sísmica suelo - estructura en un edificio con sistema de muros estructurales sometido a diferentes perfiles de suelo, trujillo 2020. Trujillo : s.n., 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3Kv8FG1>.
- SUPO, Jose. 2014. Seminario de Investigación: sinopsis del libro y carpeta de aprendizaje. s.l. : Bioestadístico EIRL, 2014.
- TAMAYO, Mario. 2003. El proceso de la investigación científica. México D.F. : Limusa, 2003. 968-18-5872-7.
- TENA, Arturo. 2007. Análisis de estructuras con métodos matriciales. Mexico D.F. : Limusa, 2007.
- . 2019. Revista internacional de ingeniería de estructuras. interacción suelo estructura. reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos. Mexico D.F. : s.n., 2019. Vol. 24, 2. Disponible en: <https://bit.ly/3FOva5x>.
- VALDERRAMA, Santiago. 2015. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima : San Marcos, 2015. 978-612-302-878-7.
- VELASQUEZ, Kennet. 2019. Efectos del suelo arcilloso en el comportamiento sísmico de un edificio de 8 pisos con sistema estructural dual, Perené - Junín. Lima : s.n., 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3nISgE8>.
- VILLARREAL, Genner. 2017. Interacción suelo - estructura en edificaciones con plateas de cimentación. Lima : Editora & imprenta Gráfica Norte S.R.L., 2017. 978-612-00-2696-0.
- . 2009. Interacción suelo - estructura en edificios altos. Lima : s.n., 2009. Disponible en: <https://bit.ly/3AKpPuX>.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: DESARROLLO DE TECNOLOGIA ALTERNA PARA EL CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE LOS EDIFICIOS REGULARES SOBRE SUELO FLEXIBLE, HUANCAYO.

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADOR | METODOLOGÍA |
|---|--|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|
| GENERAL ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible? | GENERAL Determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo del comportamiento sísmico de las edificaciones regulares sobre suelo flexible. | GENERAL No aplica | Variable Independiente (X): | D1: Software Etabs V18 | I1: Modelamiento de la estructura I2: Modelamiento de la cimentación I3: Definición de resortes | Tipo de investigación: Aplicada Método de Investigación: Analítico Nivel: Explicativo Diseño: No experimental - Descriptivo comparativo Población: Edificaciones regulares sobre suelo flexible Muestra: 3 edificio regular de 2, 6 y 15 pisos. Técnica de medición: Observación |
| ESPECIFICOS ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible? | ESPECIFICOS Definir la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las propiedades dinámicas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible. | ESPECIFICOS No Aplica | Tecnología Alterna | D2: Tecnología alterna | I1: Análisis con base empotrada I2: Interacción suelo estructura I3: Análisis con base flexible | |
| ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de las edificaciones regulares sobre suelo flexible? | Determinar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de la deformación lateral de las edificaciones regulares sobre suelo flexible. | No aplica | Variable Dependiente (Y): | D1: Propiedades dinámicas | I1: Valor propio I2: Frecuencia natural I3: Periodo fundamental | |
| ¿Cuál es la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas máximas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible? | Mostrar la precisión de la tecnología alterna en el cálculo de las fuerzas internas máximas de las edificaciones regulares sobre suelo flexible. | No aplica | Comportamiento Sísmico | D2: Deformación lateral | I1: Desplazamiento inelásticos I2: Derivas máximas | |
| | | | | D3: Fuerzas internas críticas | I1: Fuerza axial I2: Fuerza cortante I3: Momento flector | |
| | | | | | | |

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

TÍTULO: DESARROLLO DE TECNOLOGIA ALTERNA PARA EL CALCULO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES REGULARES SOBRE SUELOS FLEXIBLES, HUANCAYO.

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALAS DE MEDICION |
|--|--|---|-------------------------------|---|---------------------|
| VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Tecnología alterna | La variable tecnología alterna se refiere a los programas de computación como algoritmos que a través de una plataforma digital colabora con el proceso facilitando la adquisición de conocimientos y la investigación (AGUIAR, y otros, 2015). | El comportamiento sísmico será medido con la Tecnología alterna, por lo tanto, estará definida operacionalmente con el software comercial SAP 2000 y con el programa de computación desarrollado en la presente investigación, con el fin de comparar ambos resultados. | D1: Software Etabs V18 | I1. Modelamiento de la estructura | Nominal |
| | | | | I2. Modelamiento de la cimentación | Nominal |
| | | | | I3. Definición y asignación de resortes | Nominal |
| | | | D2: Tecnología alterna | I1. Análisis con base empotrada | Nominal |
| | | | | I2. Acoplamiento de resortes | Nominal |
| | | | | I3. Análisis con base flexible | Nominal |
| VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Comportamiento Sísmico | El comportamiento sísmico se define conceptualmente como la respuesta de la estructura al movimiento del suelo de fundación en la ocurrencia de un sismo. Según (AGUIAR, 2008) las estructuras regulares se comportan de mejor manera a diferencia de las irregulares. utilizadas en el análisis sísmico de las edificaciones. | Se define el comportamiento sísmico operacionalmente en las propiedades dinámicas, fuerzas internas máximas y deformación lateral, que son las características más | D1: Propiedades dinámicas | I1: Valor propio | Razón |
| | | | | I2: Frecuencia natural | Razón |
| | | | | I3. Periodo fundamental | Razón |
| | | | D2: Deformación lateral | I1: Desplazamiento inelásticos | Razón |
| | | | | I2: Derivas máximas | Razón |
| | | | D3: Fuerzas internas criticas | I1: Fuerza axial | Razón |
| | | | | I2: Fuerza cortante | Razón |
| | | | | I3: Momento flector | Razón |

Anexo 3. Tecnología alterna.

```
function [nt,np,nn,ne,nc,nv,gl,ij]=nudosij(nt,np)
%-----
% El programa "nudosij", asigna los nudos i-j a cada elemento de un sistema
% aporticado con elementos en posición horizontal o vertical.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [np,nt,nn,ne,nc,nv,gl,glr,ij]=nudosij(np,nt)
%-----
% ENTRADA
%   np = Número de pisos
%   nt = Número de tramos
% RESULTADOS
%   np = Número de pisos
%   nt = Número de tramos
%   nn = Número de nudos
%   ne = Número de elementos
%   nc = Número de columnas
%   nv = Número de vigas
%   gl = Número de coordenadas
%   glr = Número de coordendas restringidas
%   ij = Matriz de nudos para cada elemento
%-----
    clc
% 1. ENUMERACIÓN DE NODOS COLUMNAS
    nn=(nt+1)*(np+1);
    nc=(nt+1)*np;
    nv=nc-np;
    ne=nc+nv;
    gl=np+2*(nn-(nt+1));
% 2. ENUMERACIÓN DE NODOS
% Columnas
    col=1:1:nc;
    ic=col;
    jc=ic+(nt+1);
% Vigas
    vig=1:1:nv;
    pisos=zeros(1,nv);
    for i=1:nv
        j=ceil(i/nt);
        pisos(1,(j-1)*nt+1:j*nt)=j;
    end
    iv=nt+vig+pisos;
    jv=iv+1;
% Total
    ij=[ic',jc';iv',jv'];

function [ij,ne,na]=nudosal(ij,nt,ne,a)
%-----
% El programa "nudosal", agrega los nudos i-j de los puntales equivalentes
% a la matriz de nudos de porticos de concreto armado.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
```



```

%                               Febrero/2022
%-----
% [ij,ne,na]=nudosal(ij,nt,ne,a)
%-----
% ENTRADA
%   ne = Número de elementos
%   nt = Número de tramos
%   ij = Matriz de nudos de los elementos de concreto armado
% RESULTADOS
%   ne = Número de elementos que contempla los puntales equivalente
%   na = Número de puntales equivalentes
%   ij = Matriz de nudos que contempla los puntales equivalente
%-----
% 1. ACOPLAMIENTO DE NUDOS DE PUNTALES A LA MATRIZ (ij)
na=numel(a(:,1));
for z=1:na
    pos=a(z,1)*a(z,2)+(a(z,2)-1)*(nt-a(z,1));
    i=pos+a(z,2);
    j=i+nt;
    aij(z,:)=[i,j];
end
ij=[ij;aij];
ne=ne+na;
end

function [xy]=coorxy(np,nt,ne,nc,ij,datos)
%-----
% El programa "coorxy" obtiene las coordenadas de posición de los nudos.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [xy]=coorxy(np,nt,ne,nc,ij,datos)
%-----
% ENTRADA
%   ne = Número de pisos
%   nt = Número de tramos
%   ne = Número de elementos
%   nc = Número de columnas
%   ij = Matriz de nudos que corresponde a cada elemento
% RESULTADOS
%   xy = Matriz (nnx2) con las coordenadas de posición de los nn nudos.
%   Grafico del portico
%-----
% 1. ENTRADA
L=datos(:,6);
% 2. MATRIZ DE COORDENADAS xy(nn,2)
l=L(nc+1:nc+nt);
h=L(1:nt+1:nc-nt);
lp=[];
for i=1:nt
    lp(i+1)=sum(l(1:i));
end
hp=[];
for i=1:np
    hp(i+1)=sum(h(1:i));
end
c1=1;

```

```

c2=nt+1;
for i=1:np+1
    x(c1:c2)=lp;
    y(c1:c2)=hp(i);
    c1=c1+nt+1;
    c2=c2+nt+1;
end
xy=[x',y'];
% 3. DIAGRAMACIÓN DE LA ESTRUCTURA
figure
for i=1:ne
    Q=[xy(ij(i,1),1) xy(ij(i,1),2);
        xy(ij(i,2),1) xy(ij(i,2),2)];
    plot(Q(:,1),Q(:,2),'-r')
    hold on
end
hold off
xlabel('x')
ylabel('y')
axis equal
% 4. SALIDA
fprintf('Coordenadas de los nudos %2d: \n');

```

```
function [xyz]=coorxyz(ne,nn,ij)
```

```

%-----
% El programa "coorxyz", obtiene los grados de libertad de los elementos.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2021
%-----

```

```
% [xyz]=coorxyz(ne,nn,ij)
```

```
% ENTRADA
```

```

% ne = Número de elementos
% nn = Número de nudos
% ij = matriz de nudos para cada elemento

```

```
% RESULTADOS
```

```

% xyz = Coordenadas (gl) Horizontal, vertical y Momento para cada nudo
% VC = Vector de colocación
%-----

```

```
% 1. CONSTRUCCIÓN DE COORDENADAS PARA NUDOS
```

```

xyz=[];
xyz(:,1)=1:3:nn*3-2;
xyz(:,2)=2:3:nn*3-1;
xyz(:,3)=3:3:nn*3;

```

```
% 2. ORDENAMIENTO DE COORDENADAS PARA CADA ELEMENTO
```

```

for i=1:ne
    ei(i,:)=xyz(ij(i,1),[1,2,3]); % Recoge la fila ij(i,1) de xyz
    ej(i,:)=xyz(ij(i,2),[1,2,3]); % Recoge la fila ij(i,2) de xyz
end
VC=[ei,ej];

```

```
% 3. SALIDA
```

```
fprintf('Grados de libertad en los nudos (xyz): \n');
```

```
function [k]=rigidez1a(datos)
```

```
%-----
```

```

% El programa "rigidez1a" construye la matriz de rigidez de los elementos
% en coordenadas locales.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [k]=rigidez1a(datos)
%-----
% ENTRADA
% Archivo de datos Excel.
% RESULTADOS
% k = Matriz de rigidez de los elementos en coord. locales.
%-----
% 1. IMPORTACIÓN DE PROPIEDADES
L=datos(:,14);
EI=datos(:,15);
fi=datos(:,16);
EA=datos(:,17);
TIPO=datos(:,18);
% 2. COMPONENTES DE LA MATRIZ 2D
n=numel(L)
for i=1:n
    if TIPO(i)==1
        raz(i)=EA(i)/L(i);
        raax(i)=12*EI(i)/(L(i)^3*(1+fi(i)));
        rabx(i)=6*EI(i)/(L(i)^2*(1+fi(i)));
        rbax(i)=rabx(i);
        r11x(i)=(4+fi(i))*EI(i)/(L(i)*(1+fi(i)));
        r22x(i)=r11x(i);
        r12x(i)=(2-fi(i))*EI(i)/(L(i)*(1+fi(i)));
        r21x(i)=r12x(i);
    else
        raz(i)=EA(i)/L(i);
    end
end
% 3. ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ
k=zeros(6,6,n);
for i=1:n
    if TIPO(i)==1
        k(:,1,i)=[raz(i),0,0,-raz(i),0,0];
        k(:,2,i)=[0,raax(i),rabx(i),0,-raax(i),rbax(i)];
        k(:,3,i)=[0,rabx(i),r11x(i),0,-rabx(i),r21x(i)];
        k(:,4,i)=[-raz(i),0,0,raz(i),0,0];
        k(:,5,i)=[0,-raax(i),-rabx(i),0,raax(i),-rbax(i)];
        k(:,6,i)=[0,rbax(i),r12x(i),0,-rbax(i),r22x(i)];
    else
        k(:,1,i)=[raz(i),0,0,-raz(i),0,0];
        k(:,2,i)=[0,0,0,0,0,0];
        k(:,3,i)=[0,0,0,0,0,0];
        k(:,4,i)=[-raz(i),0,0,raz(i),0,0];
        k(:,5,i)=[0,0,0,0,0,0];
        k(:,6,i)=[0,0,0,0,0,0];
    end
end
end

function [ke,Tr]=rigidez2(k,datos)
%-----

```

```
% El programa "rigidez2" construye la matriz de rigidez del elemento en
% coordenadas globales a partir de la matriz en coordenadas locales.
```

```
%
```

```
Por: Denis Pichihua Gonzales
UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Febrero/2022
```

```
%-----
```

```
% [ke,Tr]=rigidez2(k,datos)
```

```
%-----
```

```
% ENTRADA
```

```
% k = Matrices de rigidez de los elementos en coordenadas locales.
```

```
% t = Angulos de inclinación de los elementos respecto a la horizontal.
```

```
% RESULTADOS
```

```
% ke = Matrices de rigidez de los elementos en coordenadas globales.
```

```
%-----
```

```
% 1. MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN
```

```
t=datos(:,7);
```

```
n=numel(t)
```

```
ke=zeros(6,6,n);
```

```
for i=1:n
```

```
    c1=[cosd(t(i)),-sind(t(i)),0,0,0,0];
```

```
    c2=[sind(t(i)),cosd(t(i)),0,0,0,0];
```

```
    c3=[0,0,1,0,0,0];
```

```
    c4=[0,0,0,cosd(t(i)),-sind(t(i)),0];
```

```
    c5=[0,0,0,sind(t(i)),cosd(t(i)),0];
```

```
    c6=[0,0,0,0,0,1];
```

```
    Tr(:,:,i)=[c1',c2',c3',c4',c5',c6'];
```

```
% 2. MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO EN COORDENADAS GLOBALES
```

```
    ke(:,:,i)=Tr(:,:,i)'*k(:,:,i)*Tr(:,:,i);
```

```
end
```

```
end
```

```
function [VC,p,s]=colvc(nt,np)
```

```
%-----
```

```
% El programa "colvc", construye el vector de colocación (VC) que
% sirve para el ensamblaje de la matriz de rigidez global de la estructura.
```

```
%
```

```
Por: Denis pichihua Gonzales
UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Febrero/2022
```

```
%-----
```

```
% [VC,p,s]=colvc(nt,np)
```

```
%-----
```

```
% ENTRADA
```

```
% nt = Número de tramos
```

```
% np = Número de pisos
```

```
% RESULTADOS
```

```
% VC = Vector de colocación
```

```
% p = Coordenadas principales
```

```
% s = Coordenadas secundarias
```

```
%-----
```

```
% 1. CONSTRUCCIÓN DEL VECTOR DE COLOCACIÓN
```

```
z1=zeros(nt+1,3); % Parte #1 Inicio columnas 1er piso
```

```
cont2=np+1;
```

```
cont3=cont2;
```

```
for i=1:np-1
```

```
    zona21=ones(nt+1,1)*i;
```

```
    col1=(nt+1)*(i-1)+1;
```

```
    col2=(nt+1)*i;
```

```

        z21 (col1:col2,1)=zona21;
        zona22=cont2:2:cont2+nt*2;
        cont2=cont2+(nt+1)*2;
        z22 (col1:col2,1)=zona22;
    end
    z23=z22+1;
    z2=[z21,z22,z23]; % Parte #2 inicio columnas
    z1z2=[z1;z2];
    for i=1:np
        zona31=ones (nt+1,1)*i;
        col1=(nt+1)*(i-1)+1;
        col2=(nt+1)*i;
        z31 (col1:col2,1)=zona31;
        zona32=cont3:2:cont3+nt*2;
        cont3=cont3+(nt+1)*2;
        z32 (col1:col2,1)=zona32;
    end
    z33=z32+1;
    z3=[z31,z32,z33]; % parte #3 fin columnas
    z1z2z3=[z1z2,z3]; % Vector de colocación columnas
    cont4=np+1;
    for i=1:np
        col1=(nt)*(i-1)+1;
        col2=(nt)*i;
        zona42=cont4:2:cont4+(nt-1)*2;
        cont4=cont4+(nt+1)*2;
        z42 (col1:col2,1)=zona42;
    end
    z43=z42+1;
    z41=zeros (nt*np,1);
    z4=[z41,z42,z43]; % parte #4 inicio vigas
    z51=z41;
    z52=z43+1;
    z53=z52+1;
    z5=[z51,z52,z53]; % parte #5 fin columnas
    z4z5=[z4,z5]; % Vector de colocación vigas
    VC=[z1z2z3;z4z5];
% 2. COORDENADAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS
p=1:np;
s=np+1:VC (end,end);
% 2. SALIDA
fprintf ('Vector de colocación (VC): \n');

```

```
function [VC]=vcalba (VC, ij, nt, nc, nv, na)
```

```

%-----
% El programa "vcalba", completa el vector de colocación (VC) que los
% de los elementos con los puntales de albañilería
%

```

```

%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----

```

```
% [xyz,VC]=colocacion2 (ne,nn, ij)
```

```

%-----
% ENTRADA
%   ne = Número de elementos
%   nn = Número de nudos
%   ij = matriz de nudos para cada elemento
% RESULTADOS

```

```

% xyz = Coordenadas (gl) Horizontal, vertical y Momento para cada nudo
% VC = Vector de colocación
%-----
% 1. CONSTRUCCIÓN DEL VECTOR DE COLOCACIÓN
xyz=[VC(1:nc,1:3);VC((nc-nt):nc,4:6)];
for i=1:na
    VCi(i,:)=xyz(ij(nc+nv+i,1),:);
    VCj(i,:)=xyz(ij(nc+nv+i,2),:);
end
VCa=[VCi,VCj];
VC=[VC;VCa];

function [K,KL]=rigidez3(ke,VC,p,s)
%-----
% El programa "rigidez3" ensambla la matriz de rigidez global de la
% estructura a partir de la matriz de rigidez de los elementos en coordenadas
% globales.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [K,KL]=rigidez3(ke,VC,p,s)
%-----
% ENTRADA
% ke = Matriz de rigidez de los elementos en coordenadas globales.
% RESULTADOS
% K = Matriz de rigidez global de la estructura.
% KL = Matriz de rigidez lateral condensada.
%-----
% 2. ENSAMBLAMOS LA MATRIZ DE RIGIDEZ LATERAL
gl=max(s)
e=numel(VC(:,1))
K=zeros(gl,gl);
for i=1:e
    DK=zeros(gl,gl);
% Se extrae el vector de colocación del elemento (i)
vc=VC(i,:);
a=vc;
% Se eliminan las coordenadas iguales a (0)
vc(vc==0)=[];
% Se ubica los casilleros de las coordenadas distintas de (0)
b=find(a);
% Se extrae la matriz 2D del elemento (i).
m=ke(:, :, i);
% Se extraen las coordenadas que estan en (b,b) de la matriz de rigidez (i).
n=m(b,b);
% Se colocan las coordenadas de (b,b) en los casilleros (vc,vc) de DK
DK(vc,vc)=n(:, :);
% Ensamblaje directo de la matriz de rigidez de la estructura
K=K+DK;
end
% 3. CONDENSACIÓN ESTÁTICA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ
kpp=K(p,p);
kps=K(p,s);
ksp=K(s,p);
kss=K(s,s);
KL=kpp-kps*inv(kss)*ksp;
end

```

```

function [fi,T,W,To,w]=modall(KL,M,hi)
%-----
% El programa "modall" resuelve el problema de valores y vectores propios
% para conseguir las frecuencias, periodos y modos de vibración con la
% función "eig" de Matlab.
%
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [fi,T,W,To,w]=modall(KL,M,hi)
%-----
% ENTRADA
%   KL = Matriz de rigidez de la estructura
%   M  = Matriz de masas
% RESULTADOS
%   fi = Matriz de valores y vectores propios
%   T  = Vector de periodos de vibración
%   W  = Vector de frecuencias de vibración
%   To = Periodo fundamental de vibración
%   w  = Frecuencia fundamental de vibración
%-----
% 1. CÁLCULO DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN
n=length(KL);
[V,lamda]=eig(full(KL),full(M));
W=sqrt(diag(lamda));
[W,ind]=sort(W);
fi=V(:,ind);
for i=1:n
    T(i)=2*pi/W(i);
end
T=T';
Md=diag(fi'*M*fi);
S=sqrt(1./Md);           % Normalización de modos
fi=fi*diag(S);         % Normalizado de tal manera que fi'*M*fi=1
To=T(1);               % Periodo fundamental
w=W(1);                % Frecuencia fundamental
% 2. DIAGRAMACIÓN DE MODOS
opcion=input('%¿Con interacción suelo estructura? [s/n]: ','s');
opcion=opcion=='s';   % Si es verdad devuelve 1.
if opcion==1
    for i=1:n-1
        %figure(i)
        hold on           % Sobreescribe
        x=zeros(n-1,1);
        if i==1
            plot(x,[0,hi],'--o')
        end
        plot([fi(n-1,i);fi(1:n-2,i)],[0,hi],'-o','LineWidth',1)
        title('MODOS DE VIBRACIÓN')
        xlabel('ø')
        ylabel('Altura (m)')
        legend()
    end
else
    for i=1:n
        %figure(i)
        hold on           % Sobreescribe

```

```

        x=zeros(n+1,1);
        if i==1
            plot(x,[0,hi],'--o')
        end
        plot([0;fi(1:n,i)],[0,hi],'-o','LineWidth',1)
        title('MODOS DE VIBRACIÓN')
        xlabel('ø')
        ylabel('Altura (m)')
        legend()
    end
end

```

```

function [Sa,Cs,Z,S,R,Dmax]=respuestal(T)
%-----
% El programa "respuestal" calcula las aceleraciones máximas que
% experimenta un sistema equivalente de un grado de libertad, utilizando la
% norma tecnica peruana de sismoresistencia E030.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [Sa,Cs,Z,S,R]=respuestal(T)
%-----
% ENTRADA
%   Archivo de datos excel.
%   T = Vector de periodos.
% RESULTADOS
%   Sa = Vector de aceleraciones espectrales.
%   Cs = Coeficiente sísmico (Para utilizar en programas comerciales).
%   Z  = Factor de zona.
%   S  = Factor de sitio.
%   R  = Factor de reducción sísmica.
%-----
% 1. IMPORTACIÓN DE PARAMETROS SÍSMICOS
datos=input('Ingrese el archivo con los parametros sísmicos: ');
opcion=input(';Con interacción suelo estructura? [s/n]: ','s');
opcion=opcion=='s';      % Si es verdad devuelve 1.
if opcion==1
    B=input('Ingrese el factor de reducción del espectro de diseño(B): ');
else
    B=1;
end
Z=xlsread(datos,'F9:F9');
U=xlsread(datos,'F10:F10');
S=xlsread(datos,'F11:F11');
IIro=xlsread(datos,'F12:F14');
Dmax=xlsread(datos,'F15:F15');
Tp=xlsread(datos,'F16:F16');
Tl=xlsread(datos,'F17:F17');
% 2. ACELERACIÓN ESPECTRAL
R=prod(IIro);
Cs=Z*U*S*9.81/(R*B);      % Coeficiente sísmico (Cs=m/s2)
np=numel(T);
for i=1:np
    if T(i)<=Tp
        C=2.5;
        CR=C/R;
        if CR>=0.125      % verificación

```



```

else
    C=0.125*R;
end
else
    if (Tp<T(i)) && (T(i)<=Tl)
        C=2.5*Tp/T(i);
        CR=C/R;
        if CR>=0.125           % verificación
            else
                C=0.125*R;
            end
        else
            C=2.5*Tp*Tl/T(i)^2;
            CR=C/R;
            if CR>=0.125       % verificación
                else
                    C=0.125*R;
                end
            end
        end
    end
    Sa(i)=Cs*C;
end
end
end

```

```
function [Xi,D,Fre]=respuesta2(fi,M,Sa,W,R,KL,hi,Dmax)
```

```

%-----
% El programa "respuesta2" calcula los factores de participación modal,
% los desplazamientos y las cortantes, utilizando la norma tecnica peruana
% de sismoresistencia E030.
%
%                               Por: Denis Pichihua Gonzales
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               Febrero/2022
%-----
% [Xi,D,Fre]=respuesta2(fi,M,Sa,W,R,KL,hi,Dmax)
%-----
% ENTRADA
% fi = Modos de vibración de la estructura con base empotrada.
% M  = Matriz de masas de la estructura con base empotrada.
% Sa = Vector de aceleraciones espectrales con base empotrada.
% W  = Vector de frecuencias de los modos con base empotrada.
% R  = Factor de reducción sísmica.
% KL = Matriz de rigidez lateral de la estructura con base empotrada.
% hi = Altura del piso (i) respecto a la base.
% Dmax = Deriva máxima de entrepiso según la NTP E030 (en %).
% RESULTADOS
% D = Vector de derivas de piso.
% Figura 1 = Desplazamientos inelásticos.
% Figura 2 = Derivas de piso.
%-----
% 0. ENTRADA DE DATOS
opcion=input('¿Con interacción suelo estructura? [s/n]: ','s');
opcion=opcion=='s';           % Si es verdad devuelve 1.
if opcion==1
    Sas=input('Ingrese la aceleración con influencia del suelo (Sas): ');
    kr=input('Ingrese la rigidez de rotación de la cimentación (kr): ');
end
% 1. CÁLCULO DE FACTORES DE PARTICIPACIÓN MODAL
n=length(M);

```

```

b=ones(n,1);
for i=1:n
    FPM(i)=abs(fi(:,i)'*M*b/(fi(:,i)'*M*fi(:,i)));
end
FPM
% 2. CÁLCULO DEL VECTOR DE DESPLAZAMIENTO
for i=1:n
    x(:,i)=FPM(i)*Sa(i)*fi(:,i)/W(i)^2;
end
% 3. CÁLCULO DEL VECTOR DE FUERZAS
for i=1:n
    f(:,i)=FPM(i)*Sa(i)*M*fi(:,i);
end
% 4. COMBINACIÓN MODAL DE DESPLAZAMIENTOS
for i=1:n
    Sv=sum(abs(x(i,:)));
    RSv2=sqrt(sum(x(i,:).^2));
    Xe(i,1)=0.25*Sv+0.75*RSv2;
end
Xe
% 5. COMBINACIÓN MODAL DE FUERZAS Y MOMENTO DE VOLTEO
for i=1:n
    Sv=sum(abs(f(i,:)));
    RSv2=sqrt(sum(f(i,:).^2));
    F(i,1)=0.25*Sv+0.75*RSv2;
end
F
Mv=hi*F
% 6. CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES
for i=1:n
    for j=i:n
        vi(j,i)=F(j,1);
    end
end
V(:,1)=sum(vi)'
% 7. CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS INELASTICOS ABSOLUTO (Xi) Y RELATIVO (Xr)
Xi=0.75*R*Xe % Desplazamiento con base empotrada
if opcion==1
    Red=Sas/Sa(1);
    Fre=Red*F;
    Xi=Red.*((Mv/kr).*hi'+Xi) % Desp. con base flexible
end
X=[0;Xi];
for i=1:n
    Xr(i,1)=X(i+1)-X(i);
end
Xr
% 8. CÁLCULO DE ALTURAS DE ENTREPISO (h) Y DERIVAS (D)
H=[0;hi'];
for i=1:n
    h(i,1)=H(i+1)-H(i);
end
h
D=100*Xr./h;
% 9. DIAGRAMACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS INELASTICOS
figure(1)
hold on % Sobreescribe
x=zeros(n+1,1);
y=0:n;
plot(x,y,'--k')

```

```

% plot(X,y,'-o','LineWidth',1,'MarkerSize',10)
% title('DESPLAZAMIENTO INELASTICO')
% xlabel('Desplazamiento (m)')
% xlim([-Xi(end)/4,Xi(end)+Xi(end)/4])
% ylabel('# piso')
% ylim([0,n+0.5])
% grid on
% 10. DIAGRAMACIÓN DE LAS DERIVAS
Dx=zeros(2*n,1);
j=0;
for i=1:2:2*n
    j=j+1;
    Dx([i,i+1],1)=D(j);
end
Dx(end+1)=0;
a=-1;
b=0;
for i=0:n
    a=a+2;
    Y([a,a+1])=b;
    b=b+1;
end
figure(2)
hold on % Sobreescribe
x=zeros(n+1,1);
x(:)=Dmax;
y=0:n;
plot(x,y,'--r','LineWidth',1)
plot([0;Dx],Y,'-', 'LineWidth',1)
title('DERIVAS DE PISO')
xlabel('Deriva de piso (%)')
ylabel('# piso')
ylim([0,n+0.5])
legend('Deriva máxima','Derivas de piso')
grid on
end

```

```

function [Ks,Ms,A,G,v]=suelo_a(KL,M,Z,S,w,To,hi)

```

```

%-----
% El programa "suelo_a" construye la matriz de masa y rigidez de la
% estructura con participación de los resortes del suelo (Interacción suelo
% estructura), a partir de las matrices de masa y rigidez de la estructura
% con base empotrada. Se utiliza las normas ASCE-10 y la guía
% NERPH_NIST-2012.

```

```

%
% Por: Denis Pichihua Gonzales
% UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
% Febrero/2022
%-----

```

```

% [Ks,Ms,A,G,v]=suelo_a(KL,M,Z,S,w,To,hi)
%-----

```

```

% ENTRADA

```

```

% KL = Matriz de rigidez de la estructura con base empotrada
% M = Matriz de masa de la estructura con base empotrada
% Z = Factor de zona (Norma peruana E030)
% S = Factor de sitio (Norma peruana E030)
% w = Frecuencia fundamental de vibración de la estructura con base
% empotrada
% To = Periodo fundamental de vibración de la estructura con base

```

```

%      empotrada
%      hi = Altura de piso respecto a la base
% RESULTADOS
%      Ks = Matriz de rigidez de la estructura con influencia del suelo
%      Ms = Matriz de masa de la estructura con influencia del suelo
%      A = Area que encierra toda la cimentación
%      G = Módulo de rigidez al corte del suelo con degradación de sismo
%      v = Módulo de poisson del suelo
% -----
% 1. IMPORTACIÓN DE DATOS
datos=input('Ingrese el archivo de datos: ');
% Propiedades del suelo
vs=xlsread(datos,'H31:H31');
gama=xlsread(datos,'H32:H32');
v=xlsread(datos,'H33:H33');
% Masa de la cimentación
mo=xlsread(datos,'H37:H37');
% Dimensiones y desplante de las zapatas
Lx=xlsread(datos,'B10:B27');
Ly=xlsread(datos,'C10:C27');
h=xlsread(datos,'D10:D27');
D=xlsread(datos,'E10:E27');
% Para la salida adicional area que encierra toda la cimentación (A)
X=xlsread(datos,'F10:F27');
Lt=max(max([X,Lx])); % Longitud total de cimentación
B=max(Ly);
A=Lt*B;
% 2. TIPO DE SUELO
if vs>1500
    suelo=0
elseif (vs>=500)&&(vs<=1500)
    suelo=1
elseif (vs>=180)&&(vs<=500)
    suelo=2
elseif vs<180
    suelo=3
else
    suelo='Este suelo es excepcional'
    return
end
% 3. VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE CON EFECTO DE DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ DEL
% SUELO (vs)
PGA=Z*S % PGA del suelo
switch suelo % Relación módulo degradada e inicial (G/Gmax)
case 0
    GGmax=1
case 1
    if PGA<=0.1
        GGmax=0.95
    elseif (PGA>0.1)&&(PGA<0.4)
        GGmax=0.95-(0.95-0.75)*(PGA-0.1)/(0.4-0.1)
    elseif PGA==0.4
        GGmax=0.75
    elseif (PGA>0.4)&&(PGA<0.8)
        GGmax=0.75-(0.75-0.60)*(PGA-0.4)/(0.8-0.4)
    elseif PGA==0.8
        GGmax=0.60
    else
        GGmax='No existe un valor para este PGA'
    return

```

```

end
case 2
if PGA<=0.1
GGmax=0.90
elseif (PGA>0.1) && (PGA<0.4)
GGmax=0.90-(0.90-0.50)*(PGA-0.1)/(0.4-0.1)
elseif PGA==0.4
GGmax=0.50
elseif (PGA>0.4) && (PGA<0.8)
GGmax=0.50-(0.50-0.10)*(PGA-0.4)/(0.8-0.4)
elseif PGA==0.8
GGmax=0.10
else
GGmax='No existe un valor para este PGA'
return
end
case 3
if PGA<=0.1
GGmax=0.60
elseif (PGA>0.1) && (PGA<0.4)
GGmax=0.60-(0.60-0.05)*(PGA-0.1)/(0.4-0.1)
elseif PGA==0.4
GGmax=0.05
else
GGmax='No existe valor para este tipo de suelo'
return
end
end
% Módulo de rigidez a corte inicial ó máximo
Gmax=gama*vs^2/9.81 % T/m2
% Módulo de rigidez degradada del suelo
G=GGmax*Gmax; % T/m2
% Velocidad de onda de corte con efecto de degradación de la rigidez del
% suelo (vs)
vs=sqrt(G*9.81/gama)
% 4. RIGIDEZ DE LA CIMENTACIÓN CON INTERACCIÓN DEL SUELO (Kr Y Kd)
nz=numel(Lx);
for i=1:nz
if Lx(i)>Ly(i)
L=Lx(i)/2;
B=Ly(i)/2;
Aw=Lx(i)*Ly(i);
Zw=D(i)-h(i)/2;
Iy=Ly(i)*Lx(i)^3/12;
% Rigidez de rotación de la cimentación con interacción del suelo
kyy=G*Iy^0.75*(3*(B/L)^0.15)/(1-v);
nyy=1+0.92*(h(i)/B)^0.6*(1.5+(h(i)/D(i))^1.9*(B/L)^-0.6);
ao=w*B/vs;
ayy=1-(0.55*ao^2/((0.6+1.4/(L/B)^3)+ao^2));
kr=kyy*nyy*ayy;
% Rigidez de desplazamiento horizontal de la cimentación con
% interacción del suelo
ky=2*G*L*(2+2.5*(B/L)^0.85)/(2-v);
kx=ky-0.2*G*L*(1-B/L)/(0.75-v);
nx=(1+0.15*sqrt(D(i)/B))*(1+0.52*(Zw*Aw/(B*L^2))^0.4);
kd=kx*nx;
else
L=Ly(i)/2;
B=Lx(i)/2;
Aw=Lx(i)*Ly(i);

```

```

        Zw=D(i)-h(i)/2;
        Ix=Ly(i)*Lx(i)^3/12;
% Rigidez de rotación de la cimentación con interacción del suelo
        kxx=G*Ix^0.75*(L/B)^0.25*(2.4+0.5*(B/L))/(1-v);
        nxx=1+1.26*h(i)*(1+(h(i)/B)*(h(i)/D(i))^-0.2*(B/L)^0.5)/B;
        ao=w*L/vs;
        axx=1-((0.55+0.01*sqrt(L/B-1))*ao^2/((2.4-0.4/(L/B)^3)+ao^2));
        kr=kxx*nxx*axx;
% Rigidez de desplazamiento horizontal de la cimentación con
% interacción del suelo
        ky=2*G*L*(2+2.5*(B/L)^0.85)/(2-v);
        ny=(1+0.15*sqrt(D(i)/B))*(1+0.52*(Zw*Aw/(B*L^2))^0.4);
        kd=ky*ny;
    end
    Vkr(i)=kr; % Vector con (kr) de cada cimentación
    Vkd(i)=kd; % Vector con (kd) de cada cimentación
end
Kr=sum(Vkr); % Rigidez total de rotación
Kd=sum(Vkd); % Rigidez total de desplazamiento horizontal
% 5. MATRIZ DE RIGIDEZ CON LOS RESORTES DE LA CIMENTACIÓN
n=length(KL);
Ks=zeros(n+2,n+2);
Ks(1:n,1:n)=KL;
Ks(n+1,n+1)=Kd;
Ks(n+2,n+2)=Kr;
% 6. MATRIZ DE MASA CON LOS RESORTES DE LA CIMENTACIÓN
mi=diag(M);
Smi=sum(mi);
mihi=mi.*hi';
Smihi=sum(mihi);
hi2=hi'.^2;
mihi2=mi.*hi2;
Smihi2=sum(mihi2);
Ms=zeros(n+2,n+2);
Ms(1:n,1:n)=M;
Ms(1:n,n+1)=mi;
Ms(n+1,1:n)=mi;
Ms(1:n,n+2)=mihi;
Ms(n+2,1:n)=mihi;
Ms(n+2,n+1)=Smihi;
Ms(n+1,n+2)=Smihi;
Ms(n+1,n+1)=mo+Smi;
Ms(n+2,n+2)=Smihi2;
% 7. COMPROBACIÓN
mt=mo+Smi % Masa total del sistema
Td=2*pi()*sqrt(mt/Kd) % Periodo de vibración traslacional (Rig. y 1GL)
Tr=2*pi()*sqrt(Smihi2/(9.8*Kr)) % Periodo de vibración rotacional
Ts=sqrt(To^2+Td^2+Tr^2) % Periodo de la estructura con base empotrada

function [pl]=fuerzas(VC,K,ke,Tr,Fre,ne,nc,nv,gl,datos)
%-----
% El programa "fuerzas", calcula las fuerzas internas del portico.
%
% Por: Denis Pichihua Gonzales
% UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
% Febrero/2022
%-----
% [pl]=fuerzas(VC,K,ke,Tr,Fre,ne,nc,nv,gl,datos)
%-----

```

```

% ENTRADA
% RESULTADOS
% OBSERVACIONES (ALERTA)
% "Las fuerzas estaticas no coincide con las fuerzas dinamicas del Etabs
% para edificios altos"
%-----
% 1. ENTRADA
L=datos(:,6);
TIPO=datos(:,18);
CARGAS=datos(:,19);
% 2. VECTOR DE CARGAS DE EMPOTRAMIENTO (R)
R=zeros(gl,1);
Q=zeros(gl,1);
fprintf('Opción 1: Efectos de la carga de gravedad \n');
fprintf('Opción 2: Efectos del sismo \n');
OPCION=input('¿Que efectos quiere calcular?: ');
if OPCION==1
    for i=1:ne
        if i<=nc
            % Cargas de empotramiento en las columnas
            F(:,i)=zeros(6,1); % Se necesitara para las fuerzas internas
        else
            % Cargas de empotramiento en las vigas
            w=CARGAS(i); % Cargas de empotramiento en las vigas
            l=L(i);
            F(:,i)=[0 w*l/2 w*l^2/12 0 w*l/2 -w*l^2/12]';
            iR=zeros(gl,1);
            vc=VC(i,:);
            vci=vc;
            vc(vc==0)=[]; % Se eliminan las coordenadas iguales a (0).
            a=find(vci); % Se ubica los casilleros de las coordenadas...
            f=F(:,i); % distintas de (0).
            n=f(a);
            iR(vc)=n;
            R=R+iR;
        end
    end
    fprintf('Vector de CARGAS DE EMPOTRAMIENTO (R) \n');
    R
% 3. VECTOR DE CARGAS DE GRAVEDAD EN LOS NUDOS (Q)
ncp=numel(Fre); % Número de coordenadas principales
c=ncp+1;
for i=1:nc
    Q(c)=-CARGAS(i);
    c=c+2;
end
fprintf('Vector de CARGAS DE GRAVEDAD en los nudos (Q) \n');
Q
else
% 4. ACOPLAMIENTO DE FUERZAS LATERALES REDUCIDAS
F=zeros(6,ne); % Fuerzas de empotramiento nulo
ncp=numel(Fre);
fprintf('Vector de CARGAS SISMICAS en los nudos (Q) \n');
Q(1:ncp)=Fre
end
% 5. VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS DE LAS ESTRUCTURA (D)
D=inv(K)*(Q-R); % (Q-R)= Matriz de fuerza de la estructura
% Acumulación de fuerzas internas y desplazamiento
for i=1:ne
    vc=VC(i,:); % Vector de colocación del elemento (i).
    a=find(vc); % Posición de los valores distintos de (0).
    vc(vc==0)=[]; % Vector de colocación sin (0).
end

```

```

        di=zeros(6,1);
        di(a)=D(vc);      % Vector de desplazamientos del elemento.
        pg=ke(:, :, i)*di+F(:, i); % Axial, cortante y momentos del elemento.
        pl(i, :)=Tr(:, :, i)*pg;
    end
% 6. FUERZAS INTERNAS MÁXIMAS EN COLUMNAS, VIGAS Y ALBAÑILERÍA
col=pl(1:nc, :);
vig=pl(nc+1:nc+nv, :);
colp=abs(col); %Matriz col positiva
vigp=abs(vig);
fprintf('Fuerzas internas máximas fmax=[Ax,Co,Mo,Ax,Co,Mo] \n');
columnas=max(colp) '
vigas=max(vigp) '
    if ne>nc+nv
        alb=pl(nc+nv+1:ne, :);
        albp=abs(alb);
        albanileria=max(albp) '
    end
fprintf('Las fuerzas internas se encuentran en los elementos: \n');
for i=1:6
    pos=find(colp(:, i)==columnas(i));
    columnas(i, 1)=pos(1);
end
for i=[2, 3, 5, 6]
    pos=find(vigp(:, i)==vigas(i));
    vigas(i, 1)=pos(1);
end
columnas
vigas=vigas+nc
    if ne>nc+nv
        pos=find(albp(:, i)==albanileria(i));
        albanileria=pos(1);
        albanileria=albanileria+nc+nv
    end
fprintf('Matriz de fuerzas internas de los elementos \n');

```


Anexo 4. Fichas de recolección de datos.

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: DESARROLLO DE TECNOLOGÍA ALTERNA PARA EL CALCULO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES REGULARES SOBRE SUELOS FLEXIBLES, HUANCAYO.

AUTORES: Denis Pichihua Lagos

VALIDEZ

| I. SOFTWARE ETABS V18 | | | | | | |
|--|------|--------------------------------|-------|-------------------------------------|-----|---|
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | |
| Modelamiento de la estructura | - | Modelamiento de la cimentación | - | Definición y asignación de resortes | - | 1 |
| II. TECNOLOGÍA ALTERNA | | | | | | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | |
| Análisis con base empotrada | - | Acoplamiento de resortes | mm | Análisis con base flexible | Mpa | 1 |
| III. PROPIEDADES DINÁMICAS | | | | | | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | |
| Valor propio | 1/s2 | Frecuencia natural | 1/seg | Periodo fundamental | seg | 1 |
| IV. DEFORMACIÓN LATERAL | | | | | | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | |
| Desplazamiento inelástico de la azotea | m | Derivas máximas | % | - | - | 1 |
| V. FUERZAS INTERNAS CRÍTICAS | | | | | | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | |
| Fuerza áxial crítica | T | Fuerza cortante crítica | T | Momento flector crítico | Tm | 1 |

Nota: Calificar la validez de acuerdo a los valores de la tabla.

SUMATORIA = 5

PROMEDIO = 1

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| APELLIDOS Y NOMBRES: | ANYOSA CACERES ABRAHAM |
| PROFESIÓN: | INGENIERO CIVIL |
| REGISTRO CIP N°: | 170954 |
| EMAIL: | ABRAHAMANYOSA1333@gmail.com |
| TELEFONO: | 962 94 6927 |

| RANGO | VALIDEZ |
|---------------|------------|
| Menos de 0.50 | Nula |
| 0.50 - 0.59 | Baja |
| 0.60 - 0.69 | Valida |
| 0.70 - 0.79 | Muy valida |
| 0.80 - 0.99 | Excelente |
| 1 | Perfecta |



FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: DESARROLLO DE TECNOLOGÍA ALTERNA PARA EL CALCULO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES REGULARES SOBRE SUELOS FLEXIBLES, HUANCAYO.

AUTORES: Denis Pichihua Lagos

VALIDEZ

| | | | | | | | | |
|--|------|--------------------------------|-------|-------------------------------------|-----|--|---|---|
| I. SOFTWARE ETABS V18 | | | | | | | 1 | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | | |
| Modelamiento de la estructura | - | Modelamiento de la cimentación | - | Definición y asignación de resortes | - | | | |
| II. TECNOLOGÍA ALTERNA | | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | | |
| Análisis con base empotrada | - | Acoplamiento de resortes | mm | Análisis con base flexible | Mpa | | | |
| III. PROPIEDADES DINÁMICAS | | | | | | | 1 | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | | |
| Valor propio | 1/s2 | Frecuencia natural | 1/seg | Periodo fundamental | seg | | | |
| IV. DEFORMACIÓN LATERAL | | | | | | | 1 | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | | |
| Desplazamiento inelástico de la azotea | m | Derivas máximas | % | - | - | | | |
| V. FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | | | | | 1 | |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | | |
| Fuerza áxial crítica | T | Fuerza cortante crítica | T | Momento flector crítico | Tm | | | |

Nota: Calificar la validez de acuerdo a los valores de la tabla.

SUMATORIA =


5

PROMEDIO =

1

| | |
|----------------------|--------------------------|
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Navarro Naupa Yuri |
| PROFESIÓN: | Ing. Minas y Civil |
| REGISTRO CIP N°: | 188463 |
| EMAIL: | YURI.NAVARRO@hotmail.com |
| TELEFONO: | 972797641 |

| RANGO | VALIDEZ |
|---------------|------------|
| Menos de 0.50 | Nula |
| 0.50 - 0.59 | Baja |
| 0.60 - 0.69 | Valida |
| 0.70 - 0.79 | Muy valida |
| 0.80 - 0.99 | Excelente |
| 1 | Perfecta |


Ing. Yuri Navarro Naupa
 CIP N° 188463

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: DESARROLLO DE TECNOLOGIA ALTERNA PARA EL CALCULO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES REGULARES SOBRE SUELOS FLEXIBLES, HUANCAYO.

AUTORES: Denis Pichhua Lagos

VALIDEZ

| | | | | | | | |
|--|------|--------------------------------|-------|-------------------------------------|-----|--|---|
| I. SOFTWARE ETABS V18 | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | |
| Modelamiento de la estructura | - | Modelamiento de la cimentación | - | Definición y asignación de resortes | - | | |
| II. TECNOLOGÍA ALTERNA | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | |
| Análisis con base empotrada | - | Acoplamiento de resortes | mm | Análisis con base flexible | Mpa | | |
| III. PROPIEDADES DINÁMICAS | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | |
| Valor propio | 1/s2 | Frecuencia natural | 1/seg | Periodo fundamental | seg | | |
| IV. DEFORMACIÓN LATERAL | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | |
| Desplazamiento inelástico de la azotea | m | Derivas máximas | % | - | - | | |
| V. FUERZAS INTERNAS CRITICAS | | | | | | | 1 |
| Indicador 1 | Und | Indicador 2 | Und | Indicador 3 | Und | | |
| Fuerza axial crítica | T | Fuerza cortante crítica | T | Momento flector crítico | Tm | | |

Nota: Calificar la validez de acuerdo a los valores de la tabla.

SUMATORIA =

5

PROMEDIO =

1

| | |
|----------------------|--------------------------|
| APELLIDOS Y NOMBRES: | RITIAN ANGEL SOTO CHÉVEZ |
| PROFESIÓN: | ING. CIVIL |
| REGISTRO CIP N°: | N° 240215 |
| EMAIL: | RITIAN@GMAIL.COM |
| TELEFONO: | 988455662 |

| RANGO | VALIDEZ |
|---------------|------------|
| Menos de 0.50 | Nula |
| 0.50 – 0.59 | Baja |
| 0.60 – 0.69 | Valida |
| 0.70 – 0.79 | Muy valida |
| 0.80 – 0.99 | Excelente |
| 1 | Perfecta |