

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

Comparación de la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. René Reátegui Fasabi

Asesor:

PhD. Genner Alvarito Villarreal Castro

Trujillo - Perú

2020



## DEDICATORIA

Esta investigación se lo dedico a mis padres, al Sr. Walter Reátegui Delgado y la Sra. Josefina Fasabi Tapullima y mis hermanos Gelen y Lisbith Chávez Fasabi, Luz Angélica y

Walter Reategui Fasabi.

## AGRADECIMIENTO

A mi familia por creer en mí y por motivarme a ser un profesional.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por darme la  
oportunidad de formarme profesionalmente.

A mi asesor PhD. Genner Alvarito Villarreal Castro por guiarme en cada paso de esta  
investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	96
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	100
REFERENCIAS .....	107
ANEXOS .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Periodos según números de Pisos. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Modos de Vibración.....	34
<b>Tabla 3.</b> Valores para el coeficiente $C_0$ .....	41
<b>Tabla 4.</b> Valores para el coeficiente $b_0$ .....	43
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización de la variable independiente .....	49
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	49
<b>Tabla 7.</b> Resumen de áreas tributarias .....	57
<b>Tabla 8.</b> Predimensionamiento inicial de columnas.....	58
<b>Tabla 9.</b> Predimensionamiento de zapatas .....	61
<b>Tabla 10.</b> Datos para verificar el peralte de la zapata .....	61
<b>Tabla 11.</b> Verificación por cortante y punzonamiento de zapatas .....	61
<b>Tabla 12.</b> Resumen del peralte de losa aligerada .....	62
<b>Tabla 13.</b> Resumen de vigas longitudinales y transversales .....	62
<b>Tabla 14.</b> Resumen de columnas.....	62
<b>Tabla 15.</b> Resumen de zapatas .....	62
<b>Tabla 16.</b> Metrado de cargas del cuarto piso .....	63
<b>Tabla 17.</b> Metrado de cargas del segundo y tercer piso .....	63
<b>Tabla 18.</b> Metrado de cargas del primer piso.....	63
<b>Tabla 19.</b> Peso sísmico total de la edificación .....	64
<b>Tabla 20.</b> Centro de masa de la edificación .....	65
<b>Tabla 21.</b> Momentos de inercia en X y Y. ....	65
<b>Tabla 22.</b> Resumen de masas traslacionales y rotacionales por piso. ....	66
<b>Tabla 23.</b> Factores de zona "Z" . ....	67
<b>Tabla 24.</b> Factores de zona "Z" . ....	68

<b>Tabla 25.</b> Factor de suelo de la edificación.....	68
<b>Tabla 26.</b> Períodos “ $T_P$ ” y “ $T_L$ ” .....	69
<b>Tabla 27.</b> Factores de amplificación sísmica de suelo intermedio.....	70
<b>Tabla 28.</b> Sistema Estructural de la edificación .....	71
<b>Tabla 29.</b> Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico. ....	71
<b>Tabla 30.</b> Distribución de fuerzas sísmicas.....	72
<b>Tabla 31.</b> Masas traslacionales.....	86
<b>Tabla 32.</b> Masas Rotacionales.....	86
<b>Tabla 33.</b> Presión estática.....	87
<b>Tabla 34.</b> Valores para el cálculo.....	87
<b>Tabla 35.</b> Coeficientes $C_x$ , $C_y$ , $C_z$ , $C_{\phi x}$ , $C_{\phi y}$ .....	87
<b>Tabla 36.</b> Inercias de las zapatas.....	88
<b>Tabla 37.</b> Coeficientes de rigidez $C_x$ , $C_y$ , $C_z$ , $C_{\phi x}$ , $C_{\phi y}$ .....	88
<b>Tabla 38.</b> Coeficiente de rigidez ( $C_z$ ) .....	88
<b>Tabla 39.</b> Coeficiente de rigidez ( $C$ ).....	89
<b>Tabla 40.</b> Inercias .....	89
<b>Tabla 41.</b> Rigideces ( $K$ ) .....	89
<b>Tabla 42.</b> Periodos de vibración (s) .....	97
<b>Tabla 43.</b> Frecuencias Angulares (rad/s).....	98
<b>Tabla 44.</b> Desplazamientos máximos.....	98
<b>Tabla 45.</b> Fuerzas internas máximas .....	99
<b>Tabla 46.</b> Peso total de la edificación con placas.....	117
<b>Tabla 47.</b> Masas traslacional y rotacionales de la edificación con placas .....	117
<b>Tabla 48.</b> Verificación de distorsiones de la edificación con placas .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de presiones en: a) Suelo uniforme, b) Suelos granulares y c) suelos cohesivos.....	24
Figura 2. Tipos de zapatas centradas. ....	25
Figura 3. Sistema Pórtico.....	26
Figura 4. Mapa Sísmico del Perú periodo 1960- 2017 .....	27
Figura 5. Configuración del contacto de la Placa de Nazca (oceánica) y Placa.....	28
Figura 6. Diagrama ilustrando el proceso de subducción en la costa de Perú y Chile. ....	28
Figura 7. Ondas P.....	29
Figura 8. Ondas S.....	30
Figura 9. Ondas Love.....	30
Figura 10. Ondas Rayleigh. ....	31
Figura 11. . Esquema Conceptual de del Análisis Dinámico.....	32
Figura 12. Modos, Periodos y Frecuencias.....	34
Figura 13. Esquema espacial de cálculo de la cimentación tipo zapata aislada. ....	37
Figura 14. Grados de libertad de la cimentación. ....	42
Figura 15. Procedimiento y recolección de datos. ....	51
Figura 16. Área tributaria por tipo de columna.....	55
Figura 17. Área tributaria de columnas de la edificación .....	57
Figura 18. Mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo.....	60
Figura 19. División de losa en dos figuras.....	65
Figura 20. Mapa de Zonificación Sísmica .....	67
Figura 21. Geometría 3D de la estructura.....	75
Figura 22. Colocación de las restricciones de la base.....	75
Figura 23. Materiales. ....	76

Figura 24. Sección de vigas longitudinales.....	77
Figura 25. Colocación del brazo rígido en vigas longitudinales.....	78
Figura 26. Colocación del centro de masa. ....	78
Figura 27. Definición de diafragmas rígidos de entrepisos. ....	79
Figura 28. Asignación del diafragma rígido del techo 1 de la edificación. ....	80
Figura 29. Asignación de restricciones del centro de masa. ....	80
Figura 30. Colocación de masas traslacionales y masa rotacional del primer entrepiso. ....	81
Figura 31. Espectro de diseño para suelo intermedio .....	82
Figura 32. Caso de Carga Modal .....	83
Figura 33. Caso de Carga SISMO X.....	83
Figura 34. Combinación de carga SISMO X. ....	84
Figura 35. Liberar los empotramientos de las bases. ....	90
Figura 36. Creación del material “ZAPATA”. ....	91
Figura 37. Creación de la sección para la zapata. ....	91
Figura 38. Asignación de las zapatas en la modelación.....	92
Figura 39. Incorporación de masas traslacionales y rotacionales en la Zapata 4 .....	92
Figura 40. Colocación de los coeficientes de rigidez en la Zapata 4. ....	93
Figura 41. Restricción de la rotación en Z. ....	93
Figura 42. Liberar el centroide de las zapatas.....	94
Figura 43. Colocación de los coeficientes de rigidez de las zapatas 4. ....	95
Figura 44. Distribución de elementos de la edificación del 1er al 4to piso .....	97
Figura 45. Periodos de las 12 formas de vibración libre por el programa SAP 2000.....	100
Figura 46. Frecuencias de las 12 formas de vibración libre por el programa SAP 2000.....	100
Figura 47. Desplazamientos máximos del centro de masa (4to piso) - Dirección "X" y "Y"	101
Figura 48. Fuerzas normales máximas.....	102



Figura 49. Fuerzas cortantes máximas.....	102
Figura 50. Momentos flectores máximos.....	103
Figura 51. Propuesta de diseño .....	115
Figura 52. Discretización de placas .....	116
Figura 53. Restricción en las bases de las placas.....	117

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fuerza cortante mínima para estructuras regulares .....	34
Ecuación 2. Fuerza cortante mínima para estructuras irregulares .....	34
Ecuación 3. Coeficientes de rigidez.....	39
Ecuación 4. Coeficientes de compresión y desplazamiento de la base.....	40
Ecuación 5. Coeficiente $D_o$ .....	40
Ecuación 6. Coeficiente $C_o$ .....	40
Ecuación 7. Coeficiente $D_o$ .....	40
Ecuación 8. Presión estática.....	41
Ecuación 9. Coeficientes de rigidez.....	42
Ecuación 10. Coeficientes de la compresión uniforme.....	43
Ecuación 11. Coeficientes de desplazamiento uniforme. ....	44
Ecuación 12. Coeficientes de la compresión no uniforme.....	44
Ecuación 13. Coeficientes de desplazamiento uniforme. ....	44
Ecuación 14. Espesor de losa aligerada. ....	54
Ecuación 15. Peso de servicio.....	56
Ecuación 16. Área de columna central .....	56
Ecuación 17. Área de columna excéntrica.....	56
Ecuación 18. Área de zapata.....	59
Ecuación 19. Masas traslacionales.....	64
Ecuación 20. Masas rotacionales. ....	64
Ecuación 21. Fuerza cortante en la base .....	66
Ecuación 22. Factor de amplificación sísmica .....	69

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Urbanización San Isidro II Etapa del distrito de Trujillo, enfocada en comparar la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar la interacción suelo estructura, puesto que Perú está ubicado en una zona de alta sismicidad siendo indispensable comprender adecuadamente los efectos de Interacción suelo-estructura y dejar de seguir asumiendo que no existe contacto dinámico entre el suelo y la cimentación para garantizar la seguridad de elementos estructurales y la de sus ocupantes. Para el desarrollo de la investigación se ha considerado dos modelos dinámicos, el modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov y el modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87. Los dos modelos dinámicos que se desarrollan en la presente investigación corresponden a las diversas investigaciones publicadas por el Ph. D. Genner Villarreal Castro. Como resultado de la comparación del modelo empotrado con respecto a los modelos dinámicos se resuelve que los periodos de vibración y desplazamientos se incrementan, además las fuerzas axiales máximas disminuyen mientras que las fuerzas cortantes y momentos flectores máximos se incrementan. Por lo tanto, se concluye que la interacción suelo estructura permite una mejor respuesta estructural en el análisis de edificaciones y el mayor efecto de flexibilidad en la base de fundación se da en el modelo Norma Rusa. y el menor efecto en el modelo dinámico Barkan.

**Palabras clave:** Respuesta estructural, Interacción suelo-estructura, Vivienda aporticada.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Urbanization San Isidro II Stage of the District of Trujillo, focused on comparing the structural response of a building provided with isolated footings considering and without considering the interaction soil structure, since Peru is located in a high seismicity area being essential to properly understand the effects of Soil-structure Interaction and stop continuing to assume that there is no dynamic contact between the ground and the foundation to guarantee the safety of structural elements and that of their occupants. For the development of the investigation, two dynamic models have been considered, the dynamic model of D. D. Barkan - O. A. Savinov and the dynamic model of the Russian Standard SNIP 2.02.05-87. The two dynamic models that are developed in the present investigation correspond to the diverse investigations published by Ph. D. Genner Villarreal Castro. As a result of the comparison of the embedded model with respect to the dynamic models, it is resolved that the periods of vibration and displacement increase, in addition the maximum axial forces decrease while the shear forces and maximum bending moments increase. Therefore, it is concluded that the soil-structure interaction allows a better structural response in the analysis of buildings and the greatest effect of flexibility in the foundation base occurs in the Norma Rusa model and the least effect in the dynamic model Barkan.

**Key words:** Structural response, Soil-structure interaction, Contributed housing.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A inicios, el diseño de las estructuras se realizaba mediante la consideración del sistema de base rígida asumiendo empotramiento perfecto entre columnas y el suelo. Método relegado en países desarrollados pues mediante estudios donde se analizaban estructuras semejantes con cimentaciones diferentes, éstas presentaban respuestas estructurales diferentes antes solicitaciones iguales, demostrando así la influencia del suelo-cimentación-superestructura, trinomio conocido como interacción suelo-estructura que según Deméneghi (sf) “Es aquella parte de la ingeniería que estudia las deformaciones del terreno de cimentación cuando éstas se ven afectadas por la presencia y rigidez de la propia estructura” (p.02). Que de acuerdo a la investigación realizada en Ecuador por Simón (2011) afirma que:

La interacción suelo estructura nos permite determinar simultáneamente el comportamiento del suelo de fundación con la edificación frente a eventos estáticos y sísmicos, demostrando que ante tal escenario el suelo coadyuva a una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, mediante la disipación de cierto porcentaje de energía inducida por un sismo. (p.283).

Asimismo, en México los investigadores Avilés, Bojórquez, Reyes, Rodríguez y Ruiz (2017) mencionan que:

Las demandas acumuladas de deformación plástica pueden tener influencia considerable en el comportamiento sísmico reduciendo la capacidad de ductilidad de las edificaciones, y por otro lado incrementando las ordenadas espectrales de manera importante. Finalmente, el impacto de la ISE depende principalmente de la flexibilidad del suelo, y puede tener efectos benéficos tanto como perjudiciales dependiendo de la razón entre el periodo del sistema y del suelo, incrementando o reduciendo la respuesta de una estructura. (p.34)

Además, en Colombia el tesista Moreno (2017) señala que:

En las edificaciones con muros de sótano, las derivas no son un factor determinante en el diseño al considerar la ISE, aunque estas tiendan a aumentar con la disminución del módulo de reacción del suelo, ya que la rigidez proporcionada por los muros perimetrales las controla. En cambio, en las edificaciones sin muros de sótano son un parámetro que determina el diseño ya que aumentan considerablemente con la reducción de dicho módulo. (p.225)

Por otro lado, en el contexto del país específicamente en la ciudad de Arequipa, los tesisistas Chullo y Quispe (2017) menciona que “Al tener la flexibilidad de la base de fundación, la influencia principal repercute en el aumento del periodo de los diferentes modos de vibración” (p.149)

Asimismo, en la ciudad de Trujillo, Galicia y León (2007) indican que:

Al considerar La interacción suelo estructura nos permite determinar simultáneamente el comportamiento del suelo de fundación con la edificación frente a eventos sísmicos, demostrando que ante tal escenario el suelo coadyuva a una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, mediante la disipación de cierto porcentaje de energía inducida por un sismo. (p.45)

Además, en la ciudad de Cajamarca el bachiller Garay (2017) afirma que:

Mediante la incorporación de la Interacción Suelo-Estructura en el análisis sísmico de la edificación, se logró la reducción de las fuerzas internas en los elementos estructurales, aumento de los desplazamientos laterales de entrepiso y un aumento de los periodos de la primera forma de vibración, todo ello con respecto al modelo convencional de empotramiento perfecto. (p.135)

Igualmente, en el interior del país en la ciudad de Huánuco, Primo (2018) señala que “Los periodos de vibración, desplazamientos de entrepiso, esfuerzos internos y cortantes

dinámicos obtenidos a partir de modelaciones que consideran la Interacción Suelo-Estructura, son menores a los obtenidos a una modelación que considera la base empotrada” (p.90).

Por otra parte, en la ciudad de Lima, Alfaro y Copello (2017) indican que:

Con la aplicación de los modelos dinámicos de interacción suelo - estructura, lograron la reducción de las fuerzas internas en los elementos estructurales con respecto al modelo convencional de empotramiento en la base; por el contrario, los desplazamientos laterales y los periodos del modo de vibración se incrementaron, concluyéndose que ante un evento sísmico la rigidez del suelo de fundación absorbe parte de la energía liberada. (p.318)

Asimismo, en la misma ciudad el tesista Angulo (2017) menciona que “Las fuerzas internas de los elementos estructurales de una edificación son menores cuando se toma en cuenta la interacción existente entre el suelo y la estructura que cuando se considera la base empotrada al suelo” (p.40).

Finalmente, en Huancayo el investigador Gamarra (2014) señala que:

La interacción suelo estructura efectivamente en todos los modelos de cálculo incrementa los desplazamientos en los centros de masa y los esfuerzos, por ende, nos dan una mejor concepción para realizar un análisis estructural más exacto con la inserción de la flexibilidad del suelo. (p.190).

De acuerdo a las investigaciones se afirma que al considerar la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de las estructuras influye mucho en las respuestas estructural, debido a que el comportamiento del edificio es más real ante eventos sísmicos. Basándose en las distintas investigaciones las cuales señalan el aumento de los desplazamientos y la reducción de las fuerzas internas de los elementos estructurales mediante la disipación de una parte de la energía generada por los sismos, comportándose como un disipador natural de energía.

A diferencia de realizar el análisis estructural sin considerar la interacción de la edificación con la superficie de fundación, suponiendo que la base de la estructura está perfectamente empotrada al terreno, asumiendo que no existe contacto dinámico entre el suelo y la base que sirve de soporte al edificio, lo cual es aceptable para estructuras sobre suelos relativamente rígidos, sin embargo, para estructuras que descansan en suelos flexibles asumir este comportamiento irreal genera la inapropiada determinación de los periodos de vibración, distorsiones de entrepiso, redistribución de esfuerzos del edificio y la cimentación.

Y aún con esta necesidad no existe registro de investigaciones relacionados al tema por parte de ninguna empresa en el país, esto se le atribuye a que es un tema nuevo y se espera que en estos próximos años se le dé mayor importancia.

Si a esto se suma que nuestro país se encuentra ubicado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico” el cual representa mayor probabilidad de eventos sísmicos. Y la existencia de problemas con el suelo, zonas con suelos de resistencia pobre, placas tectónicas cercanas (Placa de Nazca y Placa sudamericana), incluso complejidad en la superficie del suelo. Zonas vulnerables que son habitadas por una enorme cantidad de personas, las cuales se ven intimidadas por los sismos en potencia que pueden ocurrir en cualquier momento.

Sumado a esto, es necesario hacer notar que la Norma de Diseño Sismorresistente deja a criterio del ingeniero estructural la consideración de la interacción suelo-estructura, es por ello la necesidad de comprender adecuadamente los efectos de Interacción suelo-estructura (ISE) para incorporarlos al análisis estructural de una manera práctica y averiguar en cuales casos son benéficos o perjudiciales sobre la respuesta sísmica.

Puesto que, en la actualidad, la construcción es una de las industrias más grandes en América Latina y el Mundo. Por lo que es de vital importancia identificar las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas de los suelos, con el fin de determinar el correcto diseño de las cimentaciones para las estructuras. Siempre y cuando se realice un apropiado estudio de



mecánicas de suelos es posible neutralizar problemas de deslizamientos, deformaciones diferenciales, licuación y erosión del suelo. Y solo así se estaría garantizando la seguridad de elementos estructurales y la de sus ocupantes.

## 1.2. Antecedentes de la investigación

En los últimos años el problema de la interacción suelo estructura está siendo estudiada con mayor detenimiento e importancia debido a la influencia que tiene en la determinación de los modos de vibración de la estructura, desplazamientos, en los esfuerzos y por consiguiente en el diseño estructural. Y hoy en día modelar y analizar estructuras considerando la interacción suelo estructura es mucho más fácil y práctico, ya que la ciencia ha tenido un gran avance en programas computarizados como el SAP 2000 y ETABAS. Ante lo expuesto a continuación se mencionan estudios realizados sobre el tema.

Los bachilleres Araca y Gómez (2019) que tuvieron como objetivo estimar la influencia de la interacción suelo estructura en viviendas con sistema aporticado con fundaciones aisladas en la ciudad de Juliaca. Iniciaron determinando las propiedades dinámicas del suelo mediante correlaciones, para calcular las rigideces de la cimentación mediante la idealización de resortes adaptado de FEMA 356, para ello, tuvieron dos modelos estructurales de planta cuadrada y planta rectangular de 2, 3, 4 y 5 pisos, estas mismas fueron modelados y analizados en ETABS 2016, en él mismo realizaron el análisis con base rígida y posteriormente asignaron la flexibilidad de la base de fundación. La capacidad portante del suelo lo determinaron mediante el ensayo de SPT en los cuatro puntos de estudio. Los resultados obtenidos señalan que en edificios de 2 pisos en ambos modelos estructurales la modificación de la respuesta sísmica no es significativa, sin embargo, los edificios de 3, 4 y 5 pisos presentan mayor modificación de la respuesta sísmica debido a su mayor incremento al presentarse el fenómeno de la interacción suelo-estructura, por otro lado, las cortantes en la base y los momentos de volteo evidencian una mínima modificación debido a la flexibilidad de la base. Los edificios de 4 y 5 pisos en ambos modelos estructurales generan mayor influencia de la interacción suelo-estructura en los puntos de estudio. Los autores

concluyeron que la interacción suelo - estructura si influye en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca. (p. 173).

Aquino y Rodríguez (2015), tesis que tuvieron como objetivo comparar la respuesta estructural de los módulos “B” y “C” de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura. Para el desarrollo de su investigación consideraron dos modelos dinámicos, el modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov y el modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87. Así mismo, las dos edificaciones que se estudiaron fueron de la categoría esencial (NTP E.030, 2006), además el sistema estructural fueron pórticos de concreto armado y la cimentación de zapatas conectadas. El modelamiento de ambos edificios fue realizado en el programa ETABS en su versión 2015 teniendo en consideración los requerimientos dados en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Del análisis sísmico de los edificios con base empotrada se obtuvieron derivas máximas de 2.15% para el módulo “B” y de 2.43% para el módulo “C”, dichas derivas no cumplieron con lo establecido en la norma sismorresistente E.030 siendo éstos edificios muy flexibles lateralmente y, para los modelos dinámicos de D. D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 determinaron que los periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas no poseen mayor variación entre los resultados obtenidos. Los investigadores concluyeron que el efecto de interacción suelo – estructura produce que los edificios presenten mejor respuesta estructural siempre y cuando los edificios cumplan con los requerimientos mínimos de la norma sismorresistente E.030 (p. 180).

Mendoza y Rodas (2015) tuvieron como objetivo demostrar que al considerar la interacción suelo estructura se obtiene un diseño más eficiente y cercano a la realidad frente al modelamiento clásico de base empotrada e infinitamente rígida. En la investigación consideraron 02 pabellones de un centro educativo, uno regular y otro irregular. Ambas edificaciones se fueron analizadas con 2 programas, ETABS y CYPECAD, estática y

dinámicamente. Para la aplicabilidad de la interacción suelo – estructura, utilizaron el modelo de Winkler, Pasternack y Semiespacio Elástico Linealmente Deformable. Los resultados obtenidos señalan que al considerar la Interacción suelo-estructura, los desplazamientos de entrepiso incrementan en promedio un 22%, en las columnas los esfuerzos disminuyen un 3.6% para sismo en dirección X y un 12.5% para el caso de sismo en dirección y; por otro lado, en las vigas, si bien es cierto que los esfuerzos tienden a disminuir, el esfuerzo de diseño aumenta un 15%. Es así que los autores concluyeron que en el análisis de interacción suelo-estructura, la rigidez del suelo de fundación absorbe parte de la energía liberada por el sismo, asimismo sostienen que los modelos con un coeficiente de rigidez mayor absorben una cantidad mayor de energía de sismo (p. 268).

La investigación realizada por Águila (2018) donde el propósito fue evaluar la influencia que tiene el análisis dinámico con interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de edificios regulares de hormigón armado. Haciendo uso de los métodos de subestructura (Pais y Kausel, Gazetas, Barkan, Norma Rusa y Norma Técnica E030 del Perú) y FEMA 440 evaluó el comportamiento dinámico de edificaciones de 4, 8 y 12 niveles, cada uno de ellos apoyado en un estrato de arena densa y un estrato de arcilla blanda. El tesista logró observar que el periodo fundamental aumenta, obteniéndose un porcentaje igual a 2.10 % para el edificio de 4 niveles apoyado en arena densa hasta 125.83 % para la edificación de 12 niveles apoyado en arcilla blanda. Este incremento se hace más notorio a medida que se incrementa el número de niveles de piso. Los desplazamientos de techo se incrementan en todos los métodos que incorporan constantes elásticas para modelar el suelo dentro del modelo, alcanzando valores desde 2.32% y hasta 142.78% mayores al de base empotrada. Esta situación no ocurre cuando se utiliza el método del FEMA 440 donde se puede observar una reducción de 1.65 % a 4.72 %, esto debido a que en este caso se está utilizando un espectro de diseño reducido. En cuanto a las derivas de piso los modelos que

consideran rigidez infinita en la base cumplen el límite establecido por la norma técnica E030, sin embargo, al evidenciar la interacción suelo estructura se observa el incremento de las mismas. En los modelos apoyados en terreno de arena densa el valor límite de 0.007 no es superado pero el incremento se da en porcentaje desde 3.3 % hasta un 6.5 %. En el terreno de arcilla blanda el valor límite es superado en algunos niveles de piso alcanzando porcentajes superiores al de apoyo infinitamente rígido de 9.10% en los modelos propuestos por Barkan y Norma Rusa y hasta un 63.97% en los modelos de Kausel y Gazetas. El autor concluyó que considerar el análisis dinámico por interacción suelo-estructura si tiene una influencia en la respuesta dinámica de estructuras de edificación. Esta variación se hace más evidente a medida que se tiene mayor porcentaje de degradación del terreno ante la ocurrencia de un evento sísmico (p. 180).

León (2016) realizó el estudio con la finalidad de comparar el diseño de una edificación considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo estructura. Para ello analizó una edificación de hormigón armado mediante el uso del programa ETABS 2015, para la aplicabilidad de la interacción suelo – estructura, utilizó el modelo propuesto por los científicos D. D. Barkan – O. A. Savinov. Los resultados permitieron observar un incremento del 28.5 % del desplazamiento para el sentido x-x y un incremento del 46.2 % del desplazamiento para el sentido Y-Y. Asimismo, se presentó un aumento del 14.8 % para la deriva máxima en el sentido X-X, y un aumento del 48.9 % para la deriva máxima en el sentido Y-Y. De igual manera obtuvo un incremento del 16.5 % del periodo correspondiente al primer modo de vibración. Por el contrario, se presentó una disminución en las fuerzas internas de la columna analizada, llegando a una disminución de 3.42 ton-m en el momento máximo producto del estado de carga sísmica. A partir del análisis de resultados concluyó que los desplazamientos y derivas aumentan, debido a que la base también se desplaza; asimismo, los periodos de vibración de la estructura se incrementan, porque se considera la

masa de la cimentación, y, por el contrario, presentó una disminución en las fuerzas internas (p. 160).

Por último, Toapanta (2016) en su tesis que tiene como objetivo aplicar un análisis dinámico en un edificio de 6 pisos limitados por zapatas aisladas teniendo en cuenta Interacción sísmica entre suelo-estructura en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina. Consideró un edificio de hormigón armado de 6 pisos, realizó el prediseño de los elementos estructurales del edificio, para luego aplicar los análisis sísmicos vigentes en el Ecuador y realizar la modelación del edificio aplicando los análisis sísmicos, el Estático como requisito fundamental, y dos análisis Dinámico Espectral, el primero sin considerar los efectos de interacción sísmica suelo-estructura. Los resultados indican que los modos y los períodos de vibración, en el análisis dinámico, al considerar los efectos de interacción suelo-estructura, son menores que al no considerar los efectos de interacción. Por otro lado, los desplazamientos de piso, derivas, disminuyen en el análisis con interacción respecto del análisis simple. A partir de lo explicado concluyó que la no consideración de la interacción sísmica suelo-estructura provoca que la estructura tenga un diseño muy conservador, mientras que la consideración de dicho efecto provocará que la energía sísmica aplicada al edificio se disipe, logrando que los elementos estructurales sufran menores afectaciones (p. 106).

### **1.3. Bases teóricas**

#### **1.3.1. Mecánica de suelos.**

Terzaghi (1973), definió la Mecánica de Suelos como la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas.

Asimismo, Crespo (2004), define que el suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

Y según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2019) en la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones en el art. 1 menciona que los Estudios de Mecánica de Suelos se ejecutaran con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras.

#### **1.3.2. Cimentaciones**

Crespo (2004) señala que el objeto de una cimentación es proporcionar el medio para que las cargas de la estructura concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamiento tolerables, ya sean esto uniformes o diferentes.

De maneras más simple, la cimentación es la parte inferior de la estructura, que sirve para transmitir al terreno de apoyo de las cargas de la edificación.

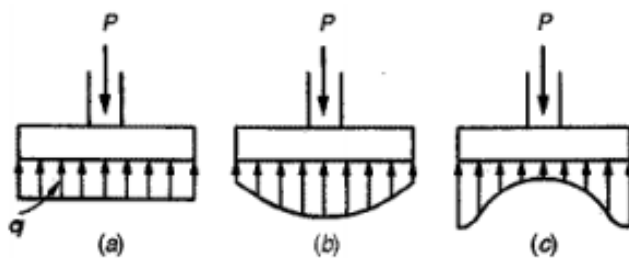
##### **1.3.2.1. Cimentaciones superficiales.**

###### **1.3.2.1.1. Zapatas aisladas.**

Ortega (2015) define las zapatas como elementos estructurales que se van a encargar de soportar una única columna y de transmitir las cargas al suelo de fundación. El área de la zapata irá variando hasta que el suelo soporte el esfuerzo transmitido sin problemas de asentamiento

Las zapatas aisladas pueden ser un bloque macizo de concreto o pueden ser armadas en la parte inferior con varillas de acero en malla con una separación máxima entre barras de treinta (30) centímetros. Se debe considerar, como en todo elemento estructural, el debido recubrimiento, que es de 7 centímetros, para proteger la armadura de la corrosión.

Por otro lado, la distribución de presiones debajo de una zapata con una carga simétrica no es uniforme. La forma de la distribución de presiones depende del tipo del material de apoyo y del grado de rigidez de la zapata. Como la magnitud y forma de las presiones en las bases de las zapatas, en función del grado de rigidez de la zapata, tipo y condición de suelo, la resolución de este problema se hace bastante complejo. Una repartición lineal de presiones, la cual en la práctica demuestra tener variación con la repartición real de presiones.



*Figura 1.* Distribución de presiones en: a) Suelo uniforme, b) Suelos granulares y c) suelos cohesivos

Fuente: Ortega, 2015

Por la ubicación de la columna con cargas verticales en la zapata en planta, puede ser zapatas centradas o excéntrica. Asimismo, podrán presentar, además de la carga vertical “P”, momentos de uno o dos ejes



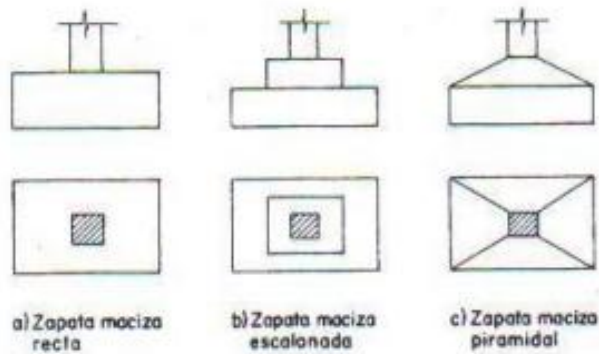


Figura 2. Tipos de zapatas centradas.

Fuente: Ortega, 2015

### 1.3.3. Sistema aporticado

Rochel (2012) señala que el sistema de pórticos es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

En pocas palabras el sistema aporticado está formado por vigas y columnas conectadas entre sí por medio de nodos rígidos lo cual permite la transferencia de los momentos flectores y las cargas axiales hacia las columnas. La resistencia a las caras laterales de los pórticos se logra principalmente por la acción de flexión de sus elementos.

Desde el punto de vista técnico la norma E.030 de Diseño Sismorresistente 2018, en el Art 3.2.1 de estructuras de concreto armado, señala que en un sistema de pórticos por lo menos el 80% de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos.



*Figura 3.* Sistema Pórtico.

Fuente: Rochel, 2012.

### **1.3.4. Generalidades de los Sismos**

#### **1.3.4.1. Definición de los sismos**

Vidales (2013) indica que un sismo se genera debido a que la energía acumulada en el interior de la Tierra sobrepasa la resistencia de las rocas que la conforman, lo cual hace que la energía acumulada sea liberada, principalmente en forma de ondas sísmicas que viajan a través de la Tierra (energía mecánica), y en forma de calor debido a la fricción interna que es consecuencia de la interacción a nivel granular del medio de propagación (energía calorífica).

Tavera (2008), Director de Sismología del Instituto Geofísico del Perú, describe que los sismos se dividen en: superficiales (puntos de color rojo), intermedios (puntos de color verde), y profundos (puntos de color azul), que ocurren a profundidades menores a 60 km, 61 km a 300 km y mayores a 301 km respectivamente. A partir del mapa se puede entender que la mayor frecuencia de sismos está frente a la costa peruana, lo cual significa que las edificaciones han sido y serán afectados por un sismo importante que puede ocasionar mucho daño.

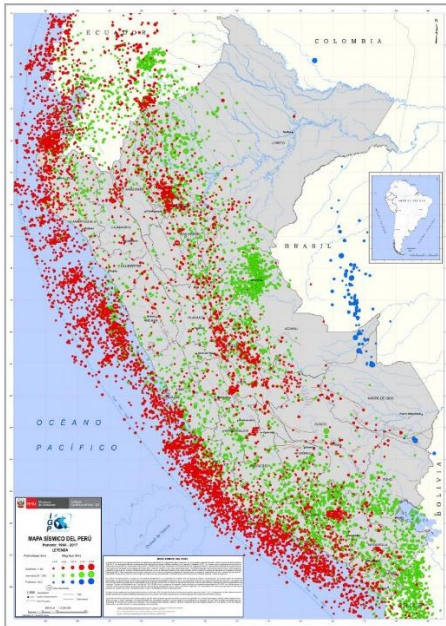


Figura 4. Mapa Sísmico del Perú periodo 1960- 2017

Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2018

#### 1.3.4.2. Sismicidad en el Perú

Asimismo, Tavera (2008), menciona que la distribución de los epicentros sísmicos sugiere la presencia de tres fuentes sismogénicas.

La primera es la fricción superficial de las placas Nazca y Sudamericana, comprendiendo su recorrido desde Tumbes hasta Tacna es decir toda la costa peruana.

La segunda es conocida históricamente en el Perú por los sismos de mayor magnitud, siendo los que más daño le han causado al país, ejemplo de ello es el sismo de Arequipa del 23 de junio (2001) y Pisco el 15 de agosto (2007) los cuales en la actualidad no se han recuperado en su totalidad. “Estos sismos se consideran como “corticales”, que es la deformación de la corteza terrestre como resultado de la formación de fallas geológicas y/o reactivación de la misma”.

Y, por último, el tercer sismo es conocido como “interplaca” que tiene su origen en la deformación que se produce en el interior de la placa de Nazca por debajo del continente.



Figura 5. Configuración del contacto de la Placa de Nazca (oceánica) y Placa.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2018

La actividad sísmica en el Perú está asociada al proceso de subducción de las placas Nazca y Sudamericana friccionando ambas placas se producen sismos de mayor escala con relativa frecuencia, siendo los sismos que producen más daño a niveles superficiales.

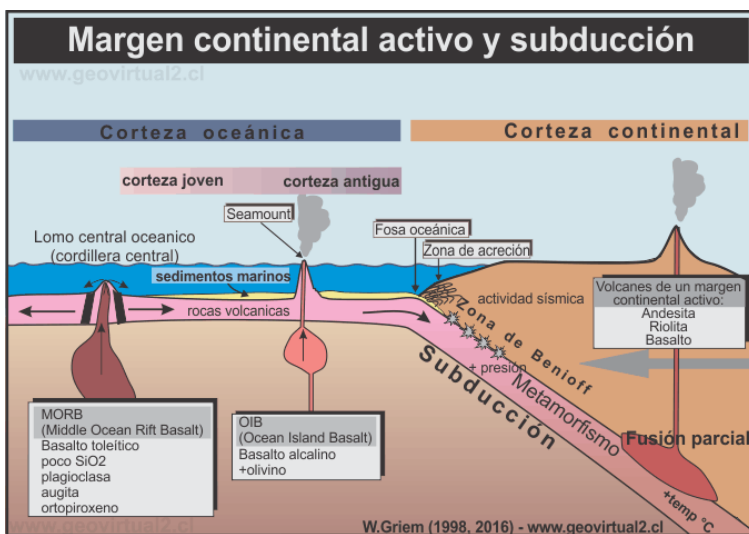


Figura 6. Diagrama ilustrando el proceso de subducción en la costa de Perú y Chile.

Fuente: Griem, 2018

Ipanaqué y Silva (2009), mencionan que, en el Perú a lo largo de la historia sísmica se registraron 8 sismos superiores a los 8 grados de la escala de Richter y más o menos un centenar de 7 a 8 grados de magnitud, ocurridas en la línea costera. La característica de estos eventos son los focos superficiales.

### 1.3.4.3. Ondas sísmicas

Según los autores Bolaños y Monroy (2004), describen que las ondas sísmicas corresponden a la energía liberada que se propagan a través del suelo en distintas direcciones, variando sus velocidades de acuerdo al medio por donde avanzan. El movimiento y la ruptura de las placas generan ondas sísmicas. El hipocentro es el punto donde se origina la ruptura, conocido como epicentro del sismo en el punto superficial. Existen dos tipos de ondas que se producen en un sismo: ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

#### 1.3.4.3.1. Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo son aquellas que se transporta por el interior de la tierra, que están involucradas con la actividad sísmica son las ondas P y las ondas S.

**Ondas longitudinales (P):** el desplazamiento de las partículas se realiza a lo largo de la misma línea de propagación de la onda. Cuando la perturbación se propaga en el medio a través de compresión o dilatación de éste, pero sin que ocurra distorsión, se originan trenes de ondas longitudinales. La velocidad de propagación es más rápida que las ondas secundarias y son capaces de atravesar materiales sólidos, líquidos o gaseosos.

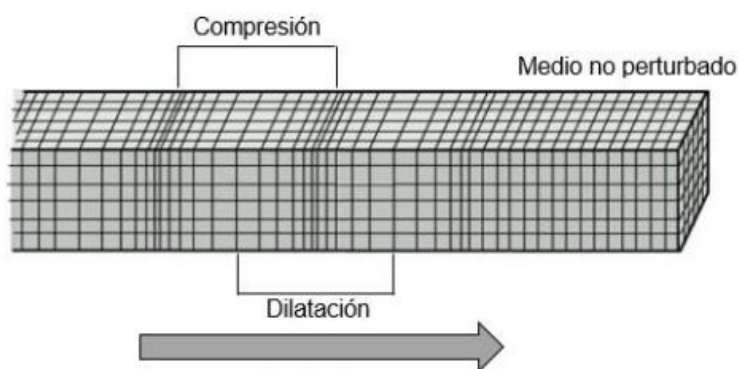


Figura 7. Ondas P.

Fuente: B. Bolt, 1999

**Ondas transversales (S):** según SEMARNAT (s.f.) en las ondas transversales, el desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación del movimiento ondulatorio. Si la perturbación ocurre en el interior de un medio elástico, homogéneo e isótropo, las ondas

se propagan en dicho medio distorsionándolo, pero manteniendo su volumen constante, se originan trenes de ondas transversales como se ilustra en la Figura 8.

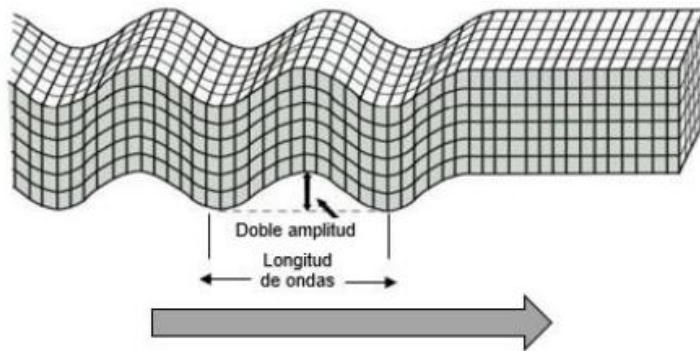


Figura 8. Ondas S.

Fuente: B. Bolt, 1999

#### 1.3.4.3.2. Ondas superficiales

Según SEMARNAT (s.f.) un tercer tipo de ondas son las ondas superficiales. El movimiento de las partículas provocado por estas ondas está restringido a la superficie del medio de propagación.

**Las ondas de Love:** se parecen a las ondas S, su movimiento es horizontal, paralelo a la superficie del terreno, no presentan movimiento vertical. “Estas ondas son dañinas a las cimentaciones de las estructuras” (Bolaños & Monroy, 2004, p.18).

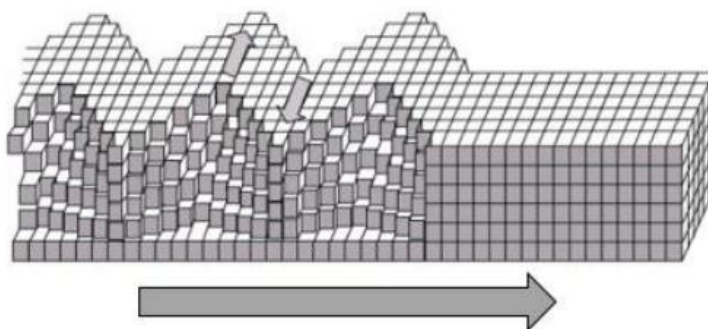
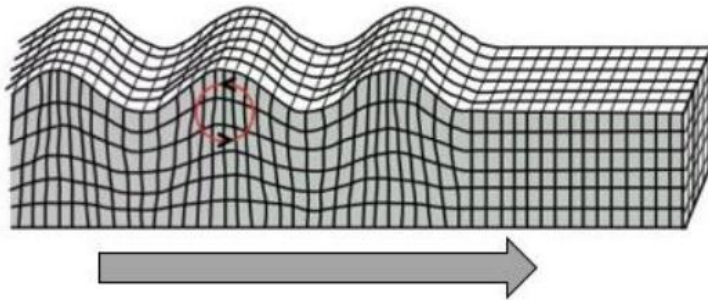


Figura 9. Ondas Love.

Fuente: B. Bolt, 1999

**Las ondas de Rayleigh:** tienen movimiento tanto vertical como horizontal en un plano vertical. “Las ondas de Rayleigh causan un movimiento rodante parecido a las ondas del mar

y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical que pasa por la dirección de propagación” (Bolaños & Monroy, 2004).



*Figura 10.* Ondas Rayleigh.

Fuente: B. Bolt, 1999

### **1.3.5. Análisis estructural**

El análisis estructural consiste en calcular los esfuerzos internos (momento flector, fuerza cortante, etc.) a que estarán sometidos los elementos que conforman la estructura tales como: zapatas, cimientos corridos, vigas de cimentación, muros de ladrillos, columnas, vigas, placas, losas, etc. Para efectuar el análisis se hacen idealizaciones de cómo están conectados y apoyados los diferentes elementos entre sí; es decir, se crea modelos matemáticos que simulan el comportamiento del elemento en la realidad (Abanto, 2012 p. 16). Las características del comportamiento que por lo común interesa en el diseño de estructuras son:

- Resultantes de los esfuerzos como fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flector.
- Deflexiones
- Reacciones en los apoyos

### **1.3.6. Diseño sismorresistente**

Según Rochel (2012), describe que “la seguridad de una edificación es el factor más importante, y está relacionado con la capacidad de la estructura para resistir las cargas o solicitaciones máximas posibles que puedan ocurrir durante su vida útil, sin incurrir en danos excesivos o en colapso parcial o total de la edificación”.

Es por ello que el principio de la norma E.030 es que la estructura soporte un sismo severo sin que llegue al colapso, evitando la pérdida de vidas humanas, aunque puedan producirse daños locales, daños que no interfieran la continuidad de los servicios básicos. Y además fomenta una filosofía donde la estructura se diseña y construye proporcionándole detalles que permitan las deformaciones inelásticas esperadas durante un sismo, sin pérdida significativa de resistencia, minimizando los daños a la propiedad.

Esto será posible tomando en consideración aspectos como la simetría, peso mínimo, continuidad estructural, ductilidad, deformación lateral limitada, buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

### 1.3.7. Análisis Sísmico Dinámico

El Análisis Sísmico Dinámico considera que la respuesta sísmica de una estructura se determina por medio de un análisis modal considerando un comportamiento lineal o no-lineal. Desde este punto de vista se cuenta con dos caminos contemplados por la Norma Técnica E.030 del RNE: el análisis modal espectral y el análisis modal tiempo-historia.

La existencia de los modos como un espacio vectorial es extremadamente importante ya que permite reducir la solución de un sistema de  $n$  grados de libertad a la solución de  $n$  sistemas independientes de un grado de libertad, desacoplando de esa manera las ecuaciones del movimiento (Cutimbo, 2016).



Figura 11. . Esquema Conceptual de del Análisis Dinámico.

Fuente: Cutimbo, 2016



**Espectro de Respuesta**, es cuando se trabaja con los espectros obtenidos de los registros de aceleración, combinando los aportes de cada modo, a fin de obtener un valor representativo de la respuesta, ya que la falta de simultaneidad de las máximas respuestas en cada modo de vibración implica la necesidad de combinarlas adecuadamente.

### 1.3.7.1. Análisis Dinámica Modal Espectral (Art. 4.6)

El Análisis modal es determinar las frecuencias naturales o frecuencias propias de una estructura, dichas frecuencias son determinadas cuando no hay cargas actuando (ni el peso propio, pero si, su propia masa, es decir no depende de la gravedad).

Cuando colocamos un espectro de la norma, lo que hacemos es que exista una fuerza excitadora (generalmente ingresamos aceleraciones vs periodo “como fuerzas”), las aceleraciones multiplicadas por su matriz de masas dan una fuerza. Antes de realizar el análisis sísmico de un edificio es necesario conocer sus modos de vibración y periodos fundamentales, ya que de estas características dependerá su respuesta durante un evento sísmico (Cutimbo, 2016).

#### 1.3.7.1.1. Periodo de Edificación

Es el tiempo necesario para realizar un ciclo de movimiento.

El siguiente cuadro nos puede dar un alcance del comportamiento del periodo, (altura promedio de entrepiso 3.00m).

**Tabla 1.** *Periodos según números de Pisos.*

Número de pisos	Número mínimo de modos (>90% masa participativa)	1° Periodo (seg)
<5	3	<0.50
6 - 10	5	0.60 - 1.00
11- 15	8	1.10 - 1.50
>16	10	≥ 1.60

Nota:  $T1 = 0.10 (N_{pisos})$

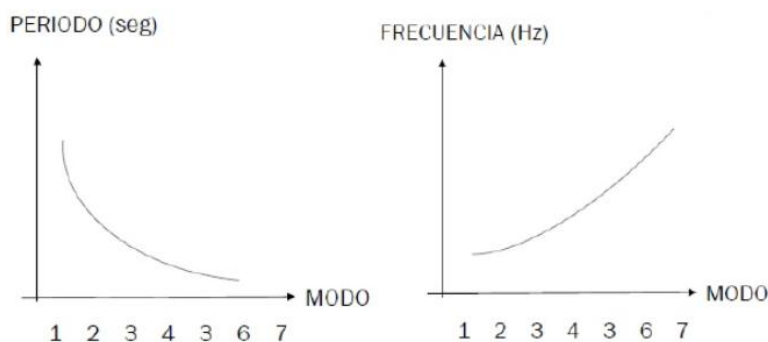
Fuente: Cutimbo, 2016

### 1.3.7.1.2. Modos de Vibración

**Tabla 2.** *Modos de Vibración*

Modos	
Modo 1 y 2	Traslación en “X” e “Y”
Modo 3	Rotación alrededor de “Z”
Modo 4	Traslación en “X” y flexión en plano XZ
Modo 5	Traslación en “Y” y flexión en plano YZ
Modo 6	Torsión alrededor de “Y” y desplazamiento en “X”
...	...

Fuente: Cutimbo, 2016



*Figura 12.* Modos, Periodos y Frecuencias.

Fuente: Cutimbo, 2016

### 1.3.7.1.3. Fuerza Cortante Mínima (Art. 4.6.4)

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

Factor de Escala:

$$FE = \left( \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot g}{R} \right) \cdot \frac{0.80V_{Estático}}{V_{Dinámico}}$$

Ecuación 1. Fuerza cortante mínima para estructuras regulares

$$FE = \left( \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot g}{R} \right) \cdot \frac{0.90V_{Estático}}{V_{Dinámico}}$$

Ecuación 2. Fuerza cortante mínima para estructuras irregulares

### **1.3.8. Interacción Suelo-Estructura (ISE)**

#### **1.3.8.1. Definición de interacción suelo-estructura.**

Villarreal (2017) indica que la interacción suelo estructura “se puede resumir como el contacto dinámico entre el suelo y la cimentación, transmitiendo este último el movimiento al edificio, siendo dicho tipo de análisis el real, ya que se analiza todo como un trinomio suelo-cimentación-superestructura”. (p. 25)

De igual manera, Cutimbo (2016), menciona que la interacción suelo-estructura consiste en hacer participar al suelo como parte del análisis estructural, haciendo que este absorba parte de la energía generada por los eventos sísmicos que puedan presentarse durante la vida útil de la estructura.

Ante lo mencionado se entiende que el objetivo de la interacción suelo-estructura es considerar la flexibilidad del suelo de fundación de modo que la estructura no se encuentra fija en la base, es decir que no está perfectamente empotrada, es así que a medida que existe un flujo de energía desde el suelo que se introduce a la estructura y también viceversa, la interacción suelo-estructura puede aumentar o disminuir o no tener ningún efecto sobre la magnitud de las fuerzas máximas inducidas en la misma estructura

#### **1.3.8.2. Efectos asociados con la interacción suelo-estructura**

La Norma Técnica Colombiana (2010) asegura que, dependiendo de las características de la estructura, de su cimentación y del suelo subyacente, la respuesta de la estructura ante solicitaciones estáticas verticales y dinámicas (sismo) puede variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura en los siguientes aspectos:

- Variaciones en los periodos de vibración de la edificación.
- Aumento de los desplazamientos laterales de la estructura ante solicitaciones sísmicas.

- Variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica.

### **1.3.8.3. Esquemas de cálculo de edificaciones, considerando la flexibilidad de la base de fundación**

La respuesta sísmica de la estructura está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del terreno afectan la estructura a través de su cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. El hecho de que no se tome en cuenta la rigidez de la cimentación y las características dinámicas del suelo subyacente en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la respuesta real de la estructura. Por las razones anotadas es conveniente incluir los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación. (Villarreal, 2009)

Para lograr esto existen varios modelos; desde la forma más sencilla asignando una rigidez al suelo en sentido vertical, hasta los modelos más complejos que asignan cinco rigideces al suelo como es el modelo dinámico de D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV y el modelo dinámico de la NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87 que asigna al suelo seis rigideces, tres traslacionales y tres rotacionales.

#### **1.3.8.3.1. Modelos de estudio.**

El problema principal de la consideración de la flexibilidad de la base de fundación, consiste en la determinación de los seis coeficientes de rigidez.

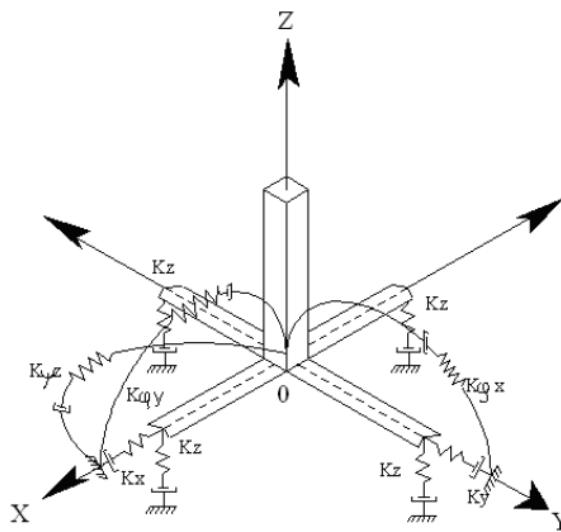
**K<sub>z</sub>** : Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme.

**K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>** : Coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme.

**K<sub>φx</sub>, K<sub>φy</sub>** : Coeficientes de rigidez de compresión no uniforme.

**$K_{\Psi z}$**  : Coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme.

En la **Figura 13** se aprecia el esquema espacial de la ubicación de los coeficientes de rigidez para una zapata, este modelo debe realizarse bajo los siguientes principios: La cimentación debe ser analizado como un cuerpo rígido, despreciando la flexibilidad de la zapata, para ello se debe utilizar un trecho rígido que vaya desde el eje de la columna hacia los bordes de la zapata para cada dirección, colocando resortes y amortiguadores que idealiza el comportamiento del suelo. (Villarreal, 2009)



*Figura 13.* Esquema espacial de cálculo de la cimentación tipo zapata aislada.

Fuente: Villarreal, 2009.

También, Villarreal (2009) sostiene que dicho modelo de cálculo (Ver Figura 13) debe ser corregido, para el caso de la acción sísmica, bajo los siguientes principios:

- La cimentación debe ser analizado como un cuerpo absolutamente rígido.
- En el sistema dinámico suelo-estructura, la cimentación debe ser descrita como una masa puntual en el centro de gravedad de la zapata aislada.
- En calidad de acción externa actúa el efecto sísmico. Para hacer más fácil el esquema de cálculo, puede ser descrito en forma de un vector espacial  $V(t)$ , actuante en el centro de gravedad de la zapata aislada.

En consecuencia, a las investigaciones realizadas por doctor Genner Villarreal Castro, para el desarrollo de la presente investigación se escogieron los modelos dinámicos de Barkan – Savinov y la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, los cuales se detallan a continuación:

#### 1.3.8.4. Modelo Dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

Como resultado de muchas investigaciones experimentales para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, el científico ruso D.D. Barkan en el año 1948 propuso utilizar las siguientes expresiones:

$$K_x = C_x A$$

$$K_y = C_y A$$

$$K_z = C_z A$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y$$

Ecuación 3. Coeficientes de rigidez.

Donde:

$C_x C_y$ : Coeficientes de desplazamiento elástico uniforme.

$C_z$ : Coeficiente de compresión elástico uniforme.

$C_{\varphi x} C_{\varphi y}$ : Coeficientes de compresión elástico no uniforme.

$A$ : Área de la base de la cimentación;

$I$ : Momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración.

Para determinar los coeficientes de compresión y desplazamiento de la base en el modelo dinámico de D.D. Barkan-O.A. Savinov se utilizan las siguientes expresiones:

$$C_z = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_x = C_y = D_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi_x} = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi_y} = C_0 \left[ 1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Ecuación 4. Coeficientes de compresión y desplazamiento de la base.

Donde:

$C_0 D_0$ : Coeficientes determinados a través de experimentos realizados para  $\rho = \rho_0$ .

$a, b$ : Dimensiones de la cimentación en el plano

$\Delta$ : Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a  $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$

$\rho$ : Presión estática.

Además, para hallar el coeficiente  $D_0$ , como se mostraron en los experimentos se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0,5\mu} \cdot C_0$$

Ecuación 5. Coeficiente  $D_0$

Para cálculos prácticos se recomienda utilizar las siguientes fórmulas:

$$C_0 = 1,7 \cdot \frac{E_0}{1 - \mu^2} \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right)$$

Ecuación 6. Coeficiente  $C_0$

$$D_0 = 1,7 \cdot \frac{E_0}{(1 + \mu)(1 - 0,5\mu)} \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right)$$

Ecuación 7. Coeficiente  $D_0$

Donde:

$E_0$ : Módulo de elasticidad, calculado experimentalmente para presión estática del suelo de  $0.10 - 0.20 \text{ kg/cm}^2$ .



El valor de  $C_0$  cuando  $\rho_0 = 0.20 \text{ kg/cm}^2$  estará en función al tipo de suelo de la base de fundación de acuerdo a la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Valores para el coeficiente  $C_0$

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	$C_0$ ( $\text{kg/cm}^3$ )
S1	Roca o suelo muy rígido	Arcilla y arena arcillosa dura ( $I_L < 0$ )	3.00
		Arena compacta ( $I_L < 0$ )	2.20
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa.	2.60
S2	Suelo intermedio	Arcilla y arena arcillosa plástica ( $0.25 < I_L \leq 0.50$ )	2.00
		Arena plástica ( $0 < I_L \leq 0.50$ )	1.60
		Arena polvorosa medio densa y densa ( $e \leq 0.80$ )	1.40
S3	Suelo flexible o con estratos de gran espesor	Arena de grano fino, mediano y grueso independiente de su densidad y humedad.	1.80
		Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ( $0.50 < I_L \leq 0.75$ )	0.80
		Arena plástica ( $0.50 < I_L \leq 1$ )	1.00
S4	Condiciones excepcionales	Arena polvorosa, saturada, porosa ( $e > 0.80$ )	1.20
		Arcilla y arena arcillosa muy blanda ( $I_L > 0.75$ )	0.60
		Arena movediza ( $I_L > 1$ )	0.60

Fuente: Villarreal, 2009.

Y la presión estática ( $\rho$ ) para zapatas se determina con la siguiente fórmula:

$$\rho_{zapata} = \frac{P_{\text{Tributario zapata}} + P_{zapata}}{A_{zapata}} \quad \text{Ecuación 8. Presión estática}$$

Siendo:

$P_{\text{Tributario zapata}}$  : Peso tributario de la zapata.

$P_{zapata}$  : Peso de la zapata.

$A_{zapata}$  : Área de la zapata.

### 1.3.8.5. Modelo Dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

En este modelo de análisis, se consideran los 6 grados de libertad de la interacción suelo-estructura sin restringir ningún grado de libertad (ver **Figura 14**). Los coeficientes de rigidez de compresión elástica uniforme  $K_z$ ; desplazamiento elástico uniforme  $K_x$ ; compresión elástica no uniforme  $K_\varphi$  y desplazamiento elástico no uniforme  $K_\psi$ ; se calculan por las siguientes fórmulas:

$$K_x = C_x A$$

$$K_y = C_y A$$

$$K_z = C_z A$$

Ecuación 9. Coeficientes de rigidez

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y$$

$$K_{\psi y} = C_{\psi y} I_y$$

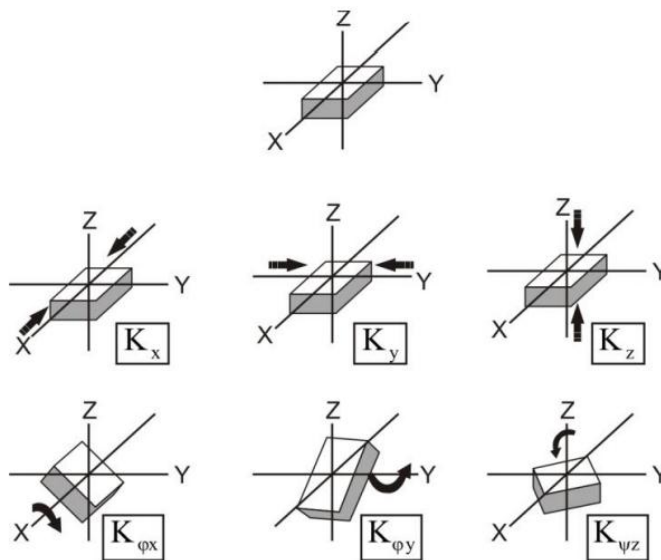


Figura 14. Grados de libertad de la cimentación.

Fuente: Villarreal, 2013.

Donde:

A: Área de la base de la cimentación (m<sup>2</sup>);

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

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

La principal característica elástica de la cimentación, es decir el coeficiente de compresión elástica uniforme  $C_z$ , se determina por medio de ensayos experimentales, este coeficiente se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) \quad \text{Ecuación 10. Coeficientes de la compresión uniforme.}$$

Donde:

A: Área de la base de fundación.

$b_0$ : Coeficiente ( $m^{-1}$ ) asumido mediante la **Tabla 4**.

E: Módulo de elasticidad del suelo en la base de la cimentación.

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

**Tabla 4.** Valores para el coeficiente  $b_0$

Tipo de suelo de fundación	$b_0$ ( $m^{-1}$ )
Suelos arenosos	1.00
Arenas arcillosas	1.20
Arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas.	1.50

Fuente: Villarreal, 2009.

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme  $C_x$ , compresión elástica no uniforme  $C_\phi$  y el de desplazamiento elástico no uniforme  $C_\psi$ , se determinan por las siguientes fórmulas:

$$C_x = 0.70C_z$$

Ecuación 11. Coeficientes de desplazamiento uniforme.

$$C_y = 0.70C_z$$

$$C_{\varphi_x} = 2C_z$$

Ecuación 12. Coeficientes de la compresión no uniforme

$$C_{\varphi_y} = 2C_z$$

$$C_{\psi_y} = 2C_z$$

Ecuación 13. Coeficientes de desplazamiento uniforme.

### 1.3.9. Definición de términos

**Análisis Modal:** es el proceso de la determinación de las características dinámicas inherentes a un sistema mecánico y necesario para la posterior formulación de un modelo matemático del comportamiento dinámico de dicho sistema. Los parámetros modales (frecuencias, modos naturales de vibración y amortiguamiento) propios del sistema, que dependen de la distribución de sus características de la masa, rigidez y amortiguamiento.

**Deriva de entrepiso:** es el cociente entre la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos pisos consecutivos y la altura libre o separación de los mismos.

**Diafragma rígido:** Se produce cuando el desplazamiento de cada nudo de la losa depende del desplazamiento de su centro de masa.

**Elemento estructural:** Elemento que soporta carga axial, de corte o momento flector, pueden ser vigas, columnas, losas, placas, muros portantes.

**Estructura:** Es el armazón que le da forma a un edificio, lo sostiene, fija al suelo y hace que las cargas se transmiten a este. La estructura hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos.

**Grados de libertad:** es el número mínimo de parámetros necesarios para describir de manera única la figura deformada de la estructura, estas corresponden a las rotaciones y las traslaciones libres en cada uno de los nudos de la estructura. (Saucedo, 2016)

**Ingeniería sismo-resistente:** Es parte de la dinámica estructural, que estudia el comportamiento de las edificaciones ante la acción sísmica e investiga los métodos de cálculo estructural, que garantizan su buen comportamiento y seguridad estructural ante los sismos (Villarreal, 2009, p. 3).

**Modo:** forma de vibración libre de la estructura.

**Periodos de edificación:** es el tiempo requerido para dar un ciclo de movimiento o una oscilación.

**Rigidez:** capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuál es la mejor respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas de la Urbanización San Isidro II Etapa considerando o sin considerar la interacción suelo estructura?

#### **1.5. Justificación**

El presente trabajo de investigación surge por la necesidad de dar a conocer a la comunidad estudiantil y profesiones de la Ingeniería Civil la forma de evaluar la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de edificios ante la acción sísmica, ya que el efecto de esta interacción influirá directamente en la respuesta estructural de éstos.

Con el desarrollo de este estudio se pretende dar mayor importancia al efecto de interacción suelo – estructura en el análisis y diseño estructural de futuros proyectos de edificaciones, así como la construcción de edificaciones más duraderas y estables, de tal manera que sean más seguros ante eventos sísmicos. Así como también sugerir que se considere este efecto de interacción en la normativa peruana.

Asimismo, la investigación se justifica académicamente, porque para el desarrollo se muestra los procedimientos y metodologías de un diseño sismorresistente según condiciones mínimas dadas por la el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como también el cálculo de los coeficientes de rigidez con los modelos dinámicos de Barkan – Savinov y la Norma Rusa; además se da las configuraciones básicas para el modelamiento de los edificios en el programa SAP 2000 en su versión 2020.

#### **1.6. Limitaciones**

La principal limitación de la investigación es que el efecto de interacción suelo – estructura no se considera en la normativa peruana; además de contar con poca información sobre el tema. A pesar de estas limitaciones se pudo realizar el estudio planteado ya que existen investigaciones realizadas por el Dr. Genner Villarreal Castro sobre el tema a tratar.

También, está limitado a las edificaciones dado que no se considera todos los tipos de cimentaciones y suelos posibles, este estudio abarca cimentaciones superficiales, específicamente zapatas, por ser además las más comunes y propensas a estos posibles efectos y finalmente se limita a estudiar solo suelos intermedios.

Asimismo, se reconoce la limitación que se tiene en realizar el Estudio de Mecánica de Suelos, debido a que esto no tiene mayor significancia porque el efecto de la interacción será de similares características, además el propósito de la presente investigación es brindar una metodología clara, precisa y elaborada para el análisis y diseño estructural de edificaciones considerando la flexibilidad de la base de fundación; por ende, se optó al uso del EMS de otro proyecto en la zona de investigación, con previa autorización del coordinador de la carrera. En consecuencia, las características del suelo serán extraídas del estudio: “Utilización de Métodos Experimentales y de Simulación Numérica para el estudio de la Microzonificación Sísmica del distrito de Trujillo” realizado por el Ing. Enrique Luján Silva.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General.**

Determinar la mejor respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar la interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020

### **1.7.2. Objetivos Específicos.**

OE1. Diseñar una edificación aporticada con zapatas aisladas de cuatro pisos en la Urbanización San Isidro de acuerdo a los requisitos mínimos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

OE2. Identificar la relación de coeficientes de rigidez con características de la estructura, el suelo de fundación y de las características geométricas de la cimentación en la urbanización San Isidro.

OE3. Determinar las variaciones de las respuestas por piso y fuerzas internas de la estructura considerando el modelo de base empotrada y flexible.

OE4. Evaluar los resultados considerando y sin considerar la interacción suelo estructura para una edificación aporticada con zapatas aisladas.

## **1.8. Hipótesis**

### **1.8.1. Hipótesis general.**

La respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas es mejor considerando la interacción suelo estructura de la urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020

### **1.8.2. Hipótesis específicas**

- La edificación aporticada con zapatas aisladas de cuatro pisos en la urbanización San Isidro cumple con los requisitos mínimos del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Existe relación entre los coeficientes de rigidez, características de la estructura, el suelo de fundación y de las características geométricas de la cimentación en la urbanización San Isidro.
- Existe aumento en las respuestas por piso y disminución de fuerzas internas de la estructura considerando el modelo de base empotrada y flexible.
- Los resultados al considerar el modelo de base flexible optimizan las dimensiones de la estructura, en comparación al modelo de base empotrada que describe un comportamiento irreal.



## 1.9. Operacionalización de variables

La operacionalización de cada variable se presenta en las siguientes tablas.

**Tabla 5.** Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	
Interacción suelo estructura	Interacción dinámica entre el suelo y la fundación de la estructura, considerando en la base el movimiento en campo libre y el movimiento modificado por la presencia de la estructura para tener en cuenta la rigidez del suelo. Su representación en modelos estructurales es en base a constantes elásticas (resortes) en los apoyos.	Se realizará la modelación con y sin interacción de la estructura aporticada.	Características de la edificación	Masas por piso	Tn/m	
				Periodo fundamental	s	
				Amortiguamiento	s/u	
				Dimensiones	m	
			Características del suelo	Peso propio	Ton	
				Clasificación SUCS	s/u	
				Módulo elástico	Tn/m <sup>2</sup>	
				Coefficiente de poisson	s/u	
				Características de la cimentación	Empotrada o no	s/u
					Coefficiente de rigidez	Tn/m
Dimensiones	m					
Características del sismo	Registro Sísmico	g vs. S				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.** Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Respuesta estructural	Comportamiento experimentado por una estructura ante un sismo.	Se realizará la verificación del comportamiento de la estructura después de haber sido modelada considerado y sin considerar flexibilidad en la base de la fundación.	Respuesta por Piso	Periodos de vibración	s
				Frecuencias Angulares	rad/s
				Desplazamientos	mm
			Fuerzas Internas de la estructura	Fuerza Normal	Ton
				Fuerza Cortante	Ton
				Momento Flector	Ton.m

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo No Experimental; porque no se manipula las variables: respuesta estructural e interacción suelo estructura, dado que, se basa en la observación de estas en un tiempo determinado. El diseño es transversal Correlacional Causal porque la información o los datos se recolecta en un momento único con el propósito de explicar y analizar la respuesta estructural considerando y sin considerar interacción suelo estructura.

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

La población para la presente investigación está constituida por todas las edificaciones aporticadas con zapatas aisladas ubicadas en la Urbanización San Isidro II Etapa del Distrito de Trujillo – 2020

#### **2.2.2. Muestra.**

El Método de muestreo empleado es el “No Probabilístico”, del tipo “Juicio de experto”. El Ph.D. Genner Alvarito Villarreal Castro recomendó realizar una edificación aporticada, para uso como oficinas. Así mismo, sugirió realizar la comparación del modelo empotrado versus dos modelos en los cuales se considere interacción suelo estructura.

#### **2.2.3. Unidad de Estudio**

Siguiendo el juicio de expertos se estableció la unidad de estudio y en la cual se desarrolla la presente investigación: Una edificación zapatas aisladas de la urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1. Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos, para esta investigación, se da mediante la técnica de observación; pues, se ha realizado un registro visual de los resultados obtenidos en el software computarizado SAP 2000.

### 2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos que se utiliza es la ficha de observación (Ver anexo N° 2, 3 y 4.), donde se lleva el registro de los periodos de vibración, frecuencias angulares, desplazamientos y fuerzas internas máximas, obtenidos de las tres modelaciones realizadas.

### 2.3.3. Procesamiento de la información

En la Figura 15 se muestra el procedimiento para concluir con los objetivos presentados.

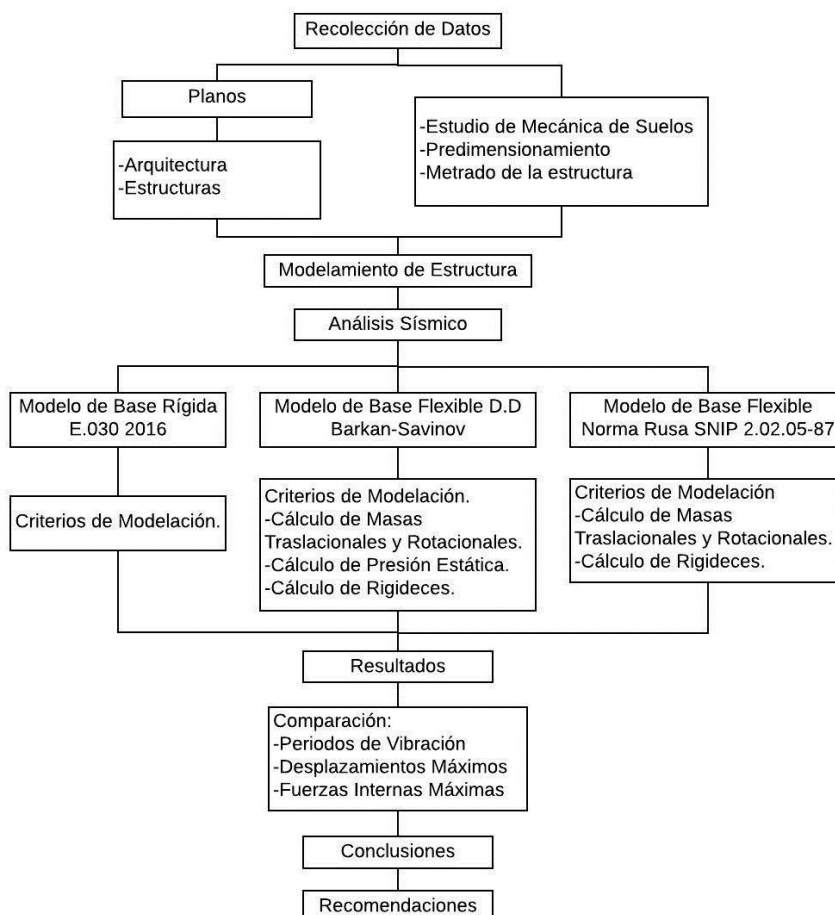


Figura 15. Procedimiento y recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia

La investigación inicia con la elaboración de los planos de arquitectura, estructuras y cimentaciones, el estudio de mecánica de suelos será extraído de la investigación realizada por el Ing. Enrique Luján Silva. Posteriormente, se realiza el predimensionamiento de la losa aligerada, vigas, columnas y zapatas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones vigente al año 2020. Después de ello, se efectúa el metrado de las cargas por piso, calculando el peso total de la edificación, que es igual a la suma de la carga muerta con la carga viva y el peso sísmico total de la edificación. A continuación, se realiza el cálculo de las masas traslacionales y rotacionales, presión estática y rigidez para los modelos dinámicos. Luego, se modela la edificación considerando y sin considerar la interacción suelo estructura y se procede a recolectar los datos generados en la ficha de observación, a partir de los resultados se compara los periodos de vibración, desplazamientos máximos y las fuerzas internas máximas. En este momento, se determinará la mejor respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando o sin considerar la interacción suelo estructura. Finalmente, se realizará las recomendaciones para futuras investigaciones relacionados al tema.

## **2.4.DESARROLLO DE LA TESIS**

La presente investigación se desarrolló en un edificio para oficinas, un tipo de edificación que alberga a una gran cantidad de personas y el colapso de la misma ante un evento sísmico podría ser una tragedia que no queremos lamentar; en este punto radica la principal importancia de este trabajo, de tal manera que se desea conocer la respuesta estructural considerando el efecto de interacción suelo – estructura y así se empieza a realizar el diseño de futuros edificios seguros ante posibles sismos.

Ante lo expuesto, se ha considerado utilizar los modelos dinámicos D.D. BARKAN – O.A SAVINOV además de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, porque permiten considerar la rigidez del suelo en los modelos estructurales como resortes en la base. Los resultados de estos análisis serán comparados con el modelo Empotrado de la Norma E.030 de la normativa peruana que considera rigidez infinita en los apoyos, asumiendo que el suelo no influencia en el comportamiento de la estructura, además de omitir cambios significativos en la respuesta de las edificaciones generados por el suelo.

### **2.4.1. Descripción del proyecto**

El proyecto corresponde a un edificio de cuatro pisos destinada para oficinas, proyectada en la Urbanización San Isidro II Etapa Mz O' Lt 37 del Distrito de Trujillo – Provincia de Trujillo – Departamento La Libertad.

El sistema estructural del edificio es aporticado (pórtico). El área construida consta de 347.58m<sup>2</sup>, el sistema de techado es de losa aligerada en una sola dirección y una altura típica de entrepiso de 3.00m.

### **2.4.2. Predimensionamiento**

Los resultados obtenidos en el predimensionamiento están basados en la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones y otros autores reconocidos.

### 2.4.2.1. Predimensionamiento de losa aligerada

La Norma E.060 indica que el peralte mínimo de una losa aligerada adecuada para no hacer la verificación de deflexiones será obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$h \leq \frac{l}{25}$$

Ecuación 14. Espesor de losa aligerada.

Donde:

h: Peralte de la losa aligerada

l: Luz libre máxima de la losa aligerada

Entonces, al tener una luz libre máxima de 5m. se tendrá un peralte de igual a 20cm, lo cual es recomendable para losas aligeradas conformadas por ladrillos de ancho igual a 30cm, viguetas de 10cm y con una losa superior de 5cm, que tengan sobrecargas menores a 300 kg/cm<sup>2</sup> y luces menores de 7.5 m.

### 2.4.2.2. Predimensionamiento de vigas

La Norma E.060 indica que las vigas que formen parte de un sistema aporticado, resistirán las fuerzas de sismos, por tanto, el ancho mínimo debe ser de 25 cm, pero no mayor al ancho de la columna de soporte. Es por eso que para el predimensionamiento del peralte de vigas se suele usar un factor que va de 1/10 a 1/12 de luz libre entre caras de columnas y 1/2 a 2/3 del peralte para la base, sin embargo, se usará 1/10 para el peralte y 1/2 para la base con fines prácticos.

Por lo tanto, en la estructura las vigas principales tienen una luz libre máxima de 5.40m., entonces, se tiene 55cm de peralte y 30cm de base. Y por estar del lado de la seguridad y ayudar al proceso constructivo, se decidió que tanto vigas principales y secundarias tengan las mismas dimensiones en toda la edificación.

### 2.4.2.3. Predimensionamiento de columnas

El ingeniero Blanco (s.f) menciona que las columnas al ser sometidas a carga axial y momento flector, tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente, tratando de evaluar cuál de los dos es el que gobierna en forma más influyente el dimensionamiento. Por tanto, se tiene que en columnas centrales la carga axial es importante con relación al momento, se puede dimensionar buscando una sección total de modo que la carga axial en servicio produzca un esfuerzo de compresión del orden de la Ecuación 16. Mientras que en columnas exteriores y esquineras es posible que los momentos produzcan excentricidades importantes y se busque una sección con más peralte y para la dirección donde el momento es crítico. Su dimensionamiento se podrá hacer según la Ecuación 17.

De acuerdo a lo mencionado, se advierte cuatro tipos de columnas según su ubicación, central(c1), externa pórtico principal(c2), externa pórtico secundario(c3), esquina(c4), las cuales van a generar una carga de servicio que está en función del número de piso, área tributaria (ver Figura 16) y una carga P según el uso de la edificación, cálculo que se realiza otra vez de la Ecuación 15. En la siguiente figura se muestra el área tributaria que corresponde a cada tipo de columna.

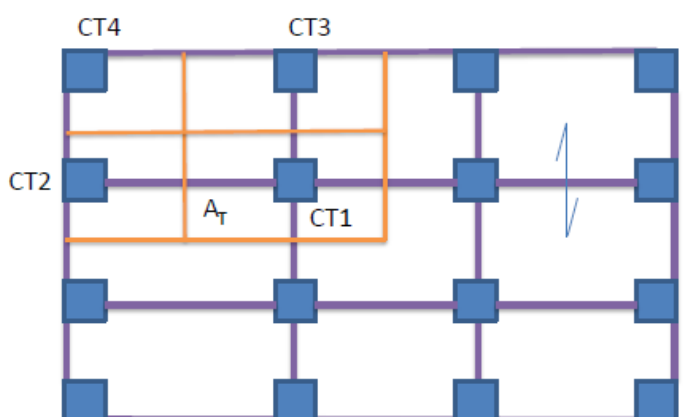


Figura 16. Área tributaria por tipo de columna

Fuente: Blanco (s.f)

$$P_{servicio} = P \times A_{tributaria} \times N_{pisos}$$

Ecuación 15. Peso de servicio

$$\text{Columna (C1)} = \frac{P_{servicio}}{0.45 \times f'c}$$

Ecuación 16. Área de columna central

$$\text{Columna (C2, C3 y C4)} = \frac{P_{servicio}}{0.35 \times f'c} \circ$$

Ecuación 17. Área de columna excéntrica

Donde:

$P_{servicio}$ : Peso de servicio

$f'c$ : Resistencia a la compresión del concreto

$A_{tributaria}$ : Área tributaria de columna

N: Número de pisos

De acuerdo al proyecto se conocen los siguientes datos:

$$P = 1000 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Categoría C}$$

$$N = 4 \text{ pisos}$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Basado en la Figura 16 se realiza el cálculo de las áreas tributarias de la edificación en estudio.



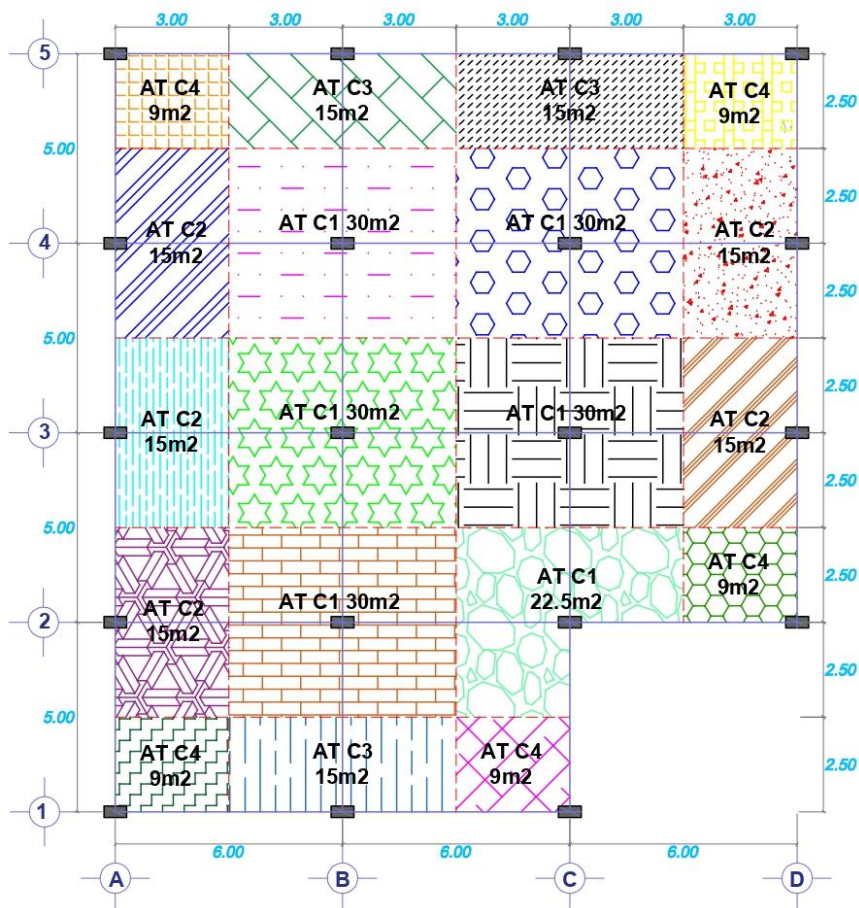


Figura 17. Área tributaria de columnas de la edificación

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Figura 17, se muestra el resumen de las áreas tributarias del proyecto.

**Tabla 7.** Resumen de áreas tributarias

Columna	Área
Externa pórtico principal (C2)	15.00
Externa pórtico secundario (C3)	15.00
Central (C1)	30.00
Esquina (C4)	9.00

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones iniciales de las columnas que serán verificados bajo ciertos criterios.

**Tabla 8.** *Predimensionamiento inicial de columnas*

Columnas	P (kg/m <sup>2</sup> )	AT (m <sup>2</sup> )	N	P <sub>servicio</sub> (kg)	Área de columna (cm <sup>2</sup> )	Columna cuadrada (m <sup>2</sup> )
Central (C1)	1000	30	4	120000	1269.84	0.40
Externa pórtico principal (C2)	1000	15	4	60000	816.33	0.30
Externa pórtico secundario (C3)	1000	15	4	60000	816.33	0.30
Esquina (C4)	1000	9	4	36000	489.80	0.25

Fuente: Elaboración propia

Para corroborar el predimensionamiento de la columna existen 3 criterios.

El primer criterio está en función a la altura de primer piso debido a que se considera la columna desde el techo hasta la zapata por ende esta representa la mayor dimensión.

- Si es una columna centrada se divide en 8 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.
- Si es una columna excéntrica se divide en 9 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.
- Si es una columna esquinada se divide en 10 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.

Para efectos de este estudio se ha tomado en consideración cuando la columna es centrada debido a que está ubicación es la más crítica.

El segundo criterio consiste en calcular las dimensionales de la columna en función al peralte de la viga las cuales deben estar entre 0.8 y 0.9 veces.

El tercer y último criterio señala que en ambos casos es muy importante que el cociente entre la rigidez de la columna y la viga debe ser mayor o igual que 1.2, con el fin de evitar la rápida aparición de la rotura plástica.

Se realiza la verificación de las columnas poniendo énfasis en el último criterio, concluyendo que la sección 30x60 cm evitará la rotura plástica.

#### 2.4.2.4. Predimensionamiento de zapatas

El doctor Villarreal (2015) señala que, el área en planta de zapatas centradas o excéntricas están en función de la carga que tiene que soportar proveniente de una única columna y las características del suelo de fundación. El área de las zapatas se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{zapata} \geq \frac{P_{servicio}}{K \times q_{adm}} \quad \text{Ecuación 18. Área de zapata}$$

Donde:

$A_{zapata}$ : Área de la zapata

$P_{servicio}$ : Peso de servicio

$Q_{adm}$ : Capacidad admisible del terreno de fundación

K: Factor que depende del tipo de suelo, se tiene

- K=1.00 roca dura
- K=0.90 suelo rígido
- K=0.80 suelo intermedio
- K=0.70 suelo blando

Por tanto, para el predimensionamiento de las zapatas es necesario conocer las características geotécnicas del suelo, datos que serán extraído a partir de la investigación del ingeniero Luján (2018), en este estudio se determina los tipos de suelo existentes en cuanto a su profundidad y su distribución en el distrito de Trujillo. Las pruebas de campo fueron realizadas mediante calicatas y sondajes, empleando los equipos DPL (ensayo de penetración dinámica ligera) y SPT (ensayo de penetración estándar). Como resultado presentó el mapa de microzonificación geotécnica de Trujillo donde establece cuatro zonas geotécnicas de acuerdo a las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación. En la siguiente figura se muestra distribución de las zonas de acuerdo a cuatro colores.

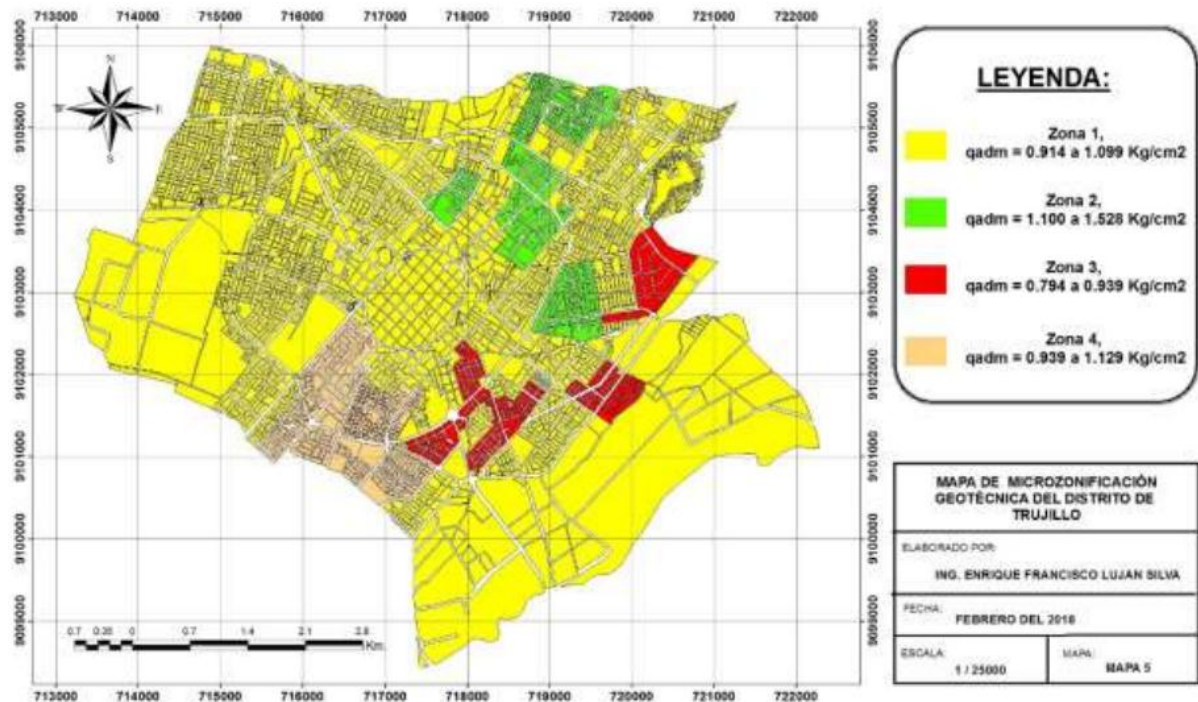


Figura 18. Mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo

Fuente: Lujan, E (2018)

La edificación del presente estudio está ubicada en la urbanización San Isidro II Etapa Mz O' Lt 37, por lo tanto, el suelo pertenece a la Zona (1) donde predomina arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), con cierta presencia de gravas de  $\frac{1}{2}$  "a  $\frac{3}{4}$ " y la capacidad admisible que oscila entre 0.914 y 1.009 kg/cm<sup>2</sup>.

Para efectos de la investigación se usará la capacidad admisible de terreno igual 1.000 kg/cm<sup>2</sup> y de acuerdo a la clasificación SUCS se deduce que la edificación descansará sobre suelo intermedio, en consecuencia, el factor K será igual 0.80 y el peso de servicio es el mismo valor que se usó para el predimensionamiento de columnas. Y de acuerdo a la Ecuación 18 se determina las dimensiones de las zapatas cuadradas, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 9.** *Predimensionamiento de zapatas*

Zapata	P <sub>Servicio</sub> (kg)	Área de zapata requerida (cm <sup>2</sup> )	Largo (m <sup>2</sup> )	Ancho (m <sup>2</sup> )
Z-1	120000	150000	3.90	3.90
Z-2	60000	75000	2.75	2.75
Z-3	60000	75000	2.75	2.75
Z-4	36000	45000	2.15	2.15

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

Conocidas las dimensiones del largo y ancho, se procede a determinar el peralte de las zapatas realizando la verificación por cortante y punzonamiento.

**Tabla 10.** *Datos para verificar el peralte de la zapata*

Columna	a (cm)	b (cm)	Tipo	Acrítica (cm <sup>2</sup> )	Perímetro crítico (cm)	Bc
C -1	30	60	Central	9281.25	390	2.00
C -2	30	60	Excéntrica	6328.13	337.5	2.00
C -3	30	60	Excéntrica	6328.13	337.5	2.00
C -4	30	60	Esquina	4851.56	198.75	2.00

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

**Tabla 11.** *Verificación por cortante y punzonamiento de zapatas*

Vud	Vc	VC < 1.1		Vud < 0.85*Vc
110718.75	241819	326382	cumple	Cumple
53671.875	170514	282446	cumple	Cumple
53671.875	170514	282446	cumple	Cumple
31148.438	133311	166329	cumple	Cumple

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

### 2.4.2.5. Resumen del predimensionamiento

**Tabla 12.** Resumen del peralte de losa aligerada

Losa	Peralte de losa (cm)
Piso 1	20
Piso 2	20
Piso 3	20
Piso 4	20

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** Resumen de vigas longitudinales y transversales

Viga	Base (cm)	Peralte (cm)
Vigas Longitudinales	30	55
Vigas Transversales	30	55

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** Resumen de columnas

Del 1° al 4° piso		
Columna	Ancho (cm)	Peralte (cm)
C1, C2, C3 y C4	30	60

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.** Resumen de zapatas

Tipo	Ancho (m)	Largo (m)	Peralte (m)
Z-1	3.90	3.90	0.6
Z-2	2.75	2.75	0.6
Z-3	2.75	2.75	0.6
Z-4	2.15	2.15	0.6

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

### 2.4.3. Materiales:

Resistencia Nominal a compresión Vigas y Columnas =  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

Peso específico del concreto =  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Módulo de elasticidad de concreto =  $15000 * \sqrt{f'c}$ .

Módulo de Poisson del concreto = 0.20

#### 2.4.4. Metrado de cargas

A continuación, se presenta el metrado de cargas de la edificación por piso.

**Tabla 16.** *Metrado de cargas del cuarto piso*

Elemento	N	P.U./P.E. (Tn/m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> )	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Subtotal (Tn)	
Losa aligerada	11	0.30	5.70	4.70		88.41	
Columnas	19	2.40	0.30	0.60	3.00	24.62	
Vigas longitudinales	14	2.40	0.30	0.55	5.40	29.94	
Vigas transversales	15	2.40	0.30	0.55	4.70	27.92	
						Carga muerta	170.89
Oficina	11	0.10	5.70	4.70		29.47	
						Carga viva	29.47

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17.** *Metrado de cargas del segundo y tercer piso*

Elemento	N	P.U./P.E. (Tn/m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> )	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Subtotal (Tn)	
Losa aligerada	11	0.30	5.70	4.70		88.41	
Columnas	19	2.40	0.30	0.60	3.00	24.62	
Vigas longitudinales	14	2.40	0.30	0.55	5.40	29.94	
Vigas transversales	15	2.40	0.30	0.55	4.70	27.92	
						Carga muerta	170.89
Oficina	11	0.25	5.70	4.70		73.67	
						Carga viva	73.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.** *Metrado de cargas del primer piso*

Elemento	N	P.U./P.E. (Tn/m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> )	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Subtotal (Tn)	
Losa aligerada	11	0.30	5.70	4.70		88.41	
Columnas	19	2.40	0.30	0.60	4.00	32.83	
Vigas longitudinales	14	2.40	0.30	0.55	5.40	29.94	
Vigas transversales	15	2.40	0.30	0.55	4.70	27.92	
						Carga muerta	179.10
Oficina	11	0.25	5.70	4.70		73.67	
						Carga viva	73.67

Fuente: Elaboración propia

Nótese, que en el metrado de cargas no se considera tabiquería móvil o fija, porque el uso de estas cargas no va a influenciar en el efecto de la interacción suelo estructura debido a que el análisis comparativo del armazón estructural o esqueleto estructural bajo las mismas condiciones es la importancia del estudio.

#### 2.4.4.1. Estimación del peso (P)

La estructura en estudio está dentro de la categoría de edificaciones comunes (C), el peso sísmico de la edificación será igual a la suma de la carga muerta con el 25% de la carga viva.

**Tabla 19.** *Peso sísmico total de la edificación*

Piso	Carga muerta (CM)	Carga viva (CV)	CM+25%CV
4	170.89	29.47	178.26
3	170.89	73.67	189.31
2	170.89	73.67	189.31
1	179.10	73.67	197.52
		Total (Tn)	754.40

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.5. Masas traslacionales y masas rotacionales

De acuerdo a la modelación estructural, la losa se comportará como diafragma rígido y rotará alrededor del eje Z, entonces, para determinar las masas traslacionales y rotacionales en cada piso, las siguientes expresiones son requeridas para estos cálculos:

$$M_t = \frac{P_{\text{piso}}}{g} \quad \text{Ecuación 19. Masas traslacionales.}$$

$$M_r = \frac{M_t \cdot (I_x + I_y)}{A} \quad \text{Ecuación 20. Masas rotacionales.}$$

Donde:

$I_x$ : Momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal “X”

$I_y$ : Momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal “Y”

A: área de losa de la edificación



g: gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>

Para facilitar el cálculo, se divide la losa en 2 figuras regulares, es siguiente paso es determinar el centro de masa de estructura y después los momentos de inercia en la dirección “X” y “Y”.

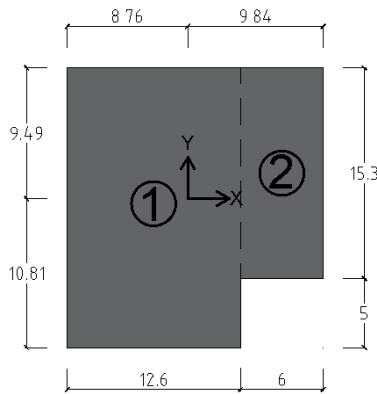


Figura 19. División de losa en dos figuras.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20.** Centro de masa de la edificación

Área	x (m)	y (m)	Área de losa (m <sup>2</sup> )	Centroide en dirección x (m)	(x)(A)	Centroide en dirección y (m)	(y)(A)
A1	12.60	20.30	255.78	x1 6.30	1611.41	y1 10.15	2596.17
A2	6.00	15.30	91.80	x2 15.60	1432.08	y2 12.65	1161.27
Σ			347.58	Total (x)(A)	3043.49	Total (y)(A)	3757.44
				x <sub>cg</sub>	8.76	y <sub>cg</sub>	10.81

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los momentos de inercia se usa el Teorema de Steiner con la finalidad de llevar el centro a de masa de cada figura al centro de masa de la edificación.

**Tabla 21.** Momentos de inercia en X y Y.

	Momento de inercia xx				Momento de inercia yy			
	b (m)	h (m)	Inercia	Steiner	b (m)	h (m)	Inercia	Steiner
A1	12.60	20.30	8783.70	8895.12	12.60	20.30	3383.97	4931.85
A2	6.00	15.30	1790.79	2101.59	6.00	15.30	275.40	4570.32
Σ			I-xx Total	10996.71			I-yy Total	9502.17

Fuente: Elaboración propia

Ahora, se reemplaza los valores de acuerdo a las fórmulas antes mencionadas y se obtienen las masas que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 22.** Resumen de masas traslacionales y rotacionales por piso.

Piso	Masa traslacional (Tnxs <sup>2</sup> /m)	Masa rotacional (Tnxs <sup>2</sup> /m)
4	18.17	1071.59
3	19.30	1138.24
2	19.30	1138.24
1	20.13	1187.19

Fuente: Elaboración propia

## 2.4.6. Análisis Sísmico

### 2.4.6.1. Parámetros de sitio y de configuración de la estructura

La fuerza cortante total en base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Ecuación 21. Fuerza cortante en la base

Donde:

Z: factor de zona

U: factor de uso e importancia

C: factor de amplificación sísmica

S: factor de suelo

R: coeficiente de reducción sísmica

P: peso de la edificación

V: fuerza cortante en la base de la estructura

### 2.4.6.2. La Zonificación

Consideraciones de la edificación:

- Departamento: La Libertad
- Provincia: Trujillo

- Distrito: Trujillo



Figura 20. Mapa de Zonificación Sísmica

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

**Tabla 23.** Factores de zona "Z".

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

Según el anexo N° 01 de la Norma E.030 y al mapa de zonificación sísmica, la ciudad de Trujillo se encuentra ubicada en la Zona 4, asignando un factor  $Z = 0.45$ .

### 2.4.6.3. Categoría de la Edificación y el Factor de Uso U

**Tabla 24.** Factores de zona "Z".

Categoría	Factor U
"A" Edificaciones Esenciales	1.5
"B" Edificaciones Importantes	1.3
"C" Edificaciones comunes	1.0
"D" Edificaciones Temporales	-

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

La edificación a analizar es para oficinas, y según a la importancia que describe la Norma E.030 lo clasifica como edificaciones comunes que corresponde a la Categoría "C" y el factor uso  $U = 1$ .

### 2.4.6.4. Factor de suelo

**Tabla 25.** Factor de suelo de la edificación

Zona	Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

Si la edificación se encuentra en la zona 4 y tiene un suelo tipo S2 entonces le corresponde un factor de suelo "S" igual a 1.05

### 2.4.6.5. Factor de amplificación sísmica (C)

De acuerdo a las características del sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \left( \frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left( \frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Ecuación 22. Factor de amplificación símica

Si el proyecto tiene un perfil de suelo S2 entonces:

**Tabla 26.** Periodos “ $T_P$ ” y “ $T_L$ ”

	Perfiles de suelo			
	S0	S1	S2	S3
$T_P$ (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
$T_L$ (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

- $T_P$ : Periodo fundamental del suelo = 0.6 seg
- $T_L$ : Periodo límite de comportamiento inelástico = 2.0 seg

Luego:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

- T: Periodo de vibración de la estructura

Consideraciones de la edificación:

- $h_n$  = Altura total de la edificación = 12.00 m
- $C_T = 35$  Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:
  - a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
  - b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$$T_x = T_y = \frac{15}{35} = 0.34 \text{ seg}$$

Como:  $T < T_p \Rightarrow 0.34 < 0.6$  por lo tanto  $\therefore C = 2.5$

De acuerdo al artículo 2.5 de la Norma E030-2018, el factor de amplificación sísmica para los suelos intermedios, correspondientes al perfil S2, se determina por las relaciones mostradas.

$$T < 0.6 \quad C = 2.5$$

$$0.6 < T < 2 \quad C = 2.5 \left( \frac{0.6}{T} \right) = \frac{1.5}{T}$$

$$T > 2 \quad C = 2.5 \left( \frac{0.6 \times 2}{T^2} \right) = \frac{3}{T^2}$$

De esta manera, los factores de amplificación sísmica para suelos intermedios es el siguiente:

**Tabla 27.** Factores de amplificación sísmica de suelo intermedio

$T$	$C$	$T$	$C$
0.00	2.50	2.30	0.57
0.60	2.50	2.40	0.52
0.70	2.14	2.50	0.48
0.80	1.88	2.60	0.44
0.90	1.67	2.70	0.41
1.00	1.50	2.80	0.38
1.10	1.36	2.90	0.36
1.20	1.25	3.00	0.33
1.30	1.15	3.50	0.24
1.40	1.07	4.00	0.19
1.50	1.00	4.50	0.15
1.60	0.94	5.00	0.12
1.70	0.88	5.50	0.10
1.80	0.83	6.00	0.08
1.90	0.79	6.50	0.07
2.00	0.75	7.00	0.06
2.10	0.68	7.50	0.05
2.20	0.62	8.00	0.05

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.6.6. Coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R)

La estructura presenta sistemas estructurales de pórticos concreto armado en ambas direcciones, que por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas.

**Tabla 28.** Sistema Estructural de la edificación

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R <sub>0</sub>
Pórtico de Concreto Armado	8

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

De acuerdo a la configuración geométrica en planta del proyecto se presenta esquinas entrantes que superan el 20 % de la dimensión total en ambas direcciones:

$$\text{En la dirección X: } 5 \text{ m} > 18.60 \times 20\% = 3.72 \text{ m} \Rightarrow 5\text{m} > 3.72$$

$$\text{En la dirección Y } 6 \text{ m} > 20.30 \times 20\% = 4.06 \text{ m} \Rightarrow 6\text{m} > 4.06$$

Por lo tanto, corresponde por norma, un valor de  $I_p = 0.9$ , mientras que en altura no presenta irregularidad, por ende,  $I_a = 1.0$  entonces se tiene:

$$R = R_0 \times I_a \times I_p = 8 \times 1 \times 0.9 = 7.2 .$$

#### 2.4.6.7. Cortante en la base

**Tabla 29.** Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico.

Parámetro	Valores	Descripción
Z	0.45	Zona sísmica 4 (Ciudad de Trujillo)
U	1	Categoría C: edificación común (vivienda)
C	2.5	Factor de amplificación sísmica
S	1.05	S2 - Suelo intermedio
P	754.40	Peso de la edificación (Tn)
R	7.2	Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores, se determinó la cortante en la base.

$$V = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times P = \frac{0.45 \times 1 \times 2.5 \times 1.05}{7.2} \times 754.40 = 123.77 \text{ Ton}$$

Debiendo considerarse para C/R el siguiente valor mínimo:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \Rightarrow \frac{2.5}{7.2} = 0.347 \geq 0.11 \dots \text{ok}$$

Se calculó la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 - 2018

**Tabla 30.** Distribución de fuerzas sísmicas

Numero de piso	Pi	Hi	PiHi	$\alpha_i$	Fi
4	178.26	12	2139.12	0.384	47.528
3	189.31	9	1703.79	0.306	37.874
2	189.31	6	1135.86	0.204	25.249
1	197.52	3	592.56	0.106	13.120
Total	754.40		5571.33	1.000	123.770

Fuente: Elaboración propia.

- Para T menor o igual a 0.5 segundos:  $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos:  $k = (0.75 + 0.5 \cdot T)$

Como el período del edificio  $T=0,34s$  es menor que  $0,5s$  entonces el exponente  $k=1.0$

## 2.4.7. Análisis dinámico modal – espectral

### 2.4.7.1. Factor de Escala para el Análisis Espectral

El valor del factor de escala fue obtenido a través de la siguiente expresión:

$$FE = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0.45 \times 1 \times 1.05 \times 9.81}{7.2} = 0.644$$

### 2.4.7.2. Modos de vibración

Para los modos de vibración en cada dirección, se considerarán aquellos cuya suma de masas efectivas sean por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta, por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección del análisis. Para el presente proyecto, se consideraron 3 modos de vibración por piso, haciendo un total de 12 modos de vibración.



### 2.4.7.3. Excentricidad Accidental (Art 4.6.5).

Este valor es normalmente considerado un porcentaje de la máxima dimensión en planta de cada lado de la edificación. Este valor se da debido a la existencia de factores que no son tomados en cuenta a la hora del análisis tales como las torsiones generadas por la rotación del terreno o a la diferencia en la llegada de las ondas sísmicas a los apoyos de las edificaciones, también se le puede atribuir parte de la responsabilidad a las diferencias entre las propiedades de los elementos usados para el cálculo y a las propiedades reales. Como se mencionó en un inicio, se suele usar un porcentaje de la dimensión máxima por cada lado de la edificación, normalmente del 5%, de tal forma que se usan las siguientes expresiones:

$$e_x = 0.05 \cdot Lx = 0.05 \times 18.60 = 0.93m$$

$$e_y = 0.05 \cdot Ly = 0.05 \times 20.30 = 1.015m$$

## **2.4.8. Modelación sin considerar la Interacción suelo-estructura**

### **2.4.8.1. Descripción del Software utilizado SAP 2000 V.20.**

El software SAP 2000 es una herramienta bastante utilizada en el mundo de la ingeniería estructural, ya que permite realizar un análisis estructural eficiente, a través del ingreso de características propias de la edificación, tales como longitudes, alturas, material, secciones, entre otras. Es posible realizar, de manera sencilla, el análisis de estructuras complejas que, años atrás, tomarían un largo proceso de estudio. A diferencia de otros programas de cómputo, el SAP 2000 es capaz de analizar desde estructuras simples como pórticos y armaduras hasta estructuras complejas como tanques elevados o centrales nucleares.

### **2.4.8.2. Procedimiento de modelación del modelo general**

A continuación, se presentarán los pasos que se siguieron al momento de la modelación de la edificación.

Antes de comenzar con la modelación de la estructura, es necesario definir las unidades que se van a utilizar, las cuales son toneladas y metros. Luego, colocando las longitudes de las luces, alturas de entrepisos y número de pisos, se logra un modelo básico, el cual se modifica hasta lograr las dimensiones exactas de la estructuración requerida. Después desplazamos la cimentación a una profundidad igual a suma del desplante más la mitad del espesor de la zapata. A continuación, colocamos los ejes auxiliares: la excentricidad accidental en ambas direcciones y el fondo de cimentación.

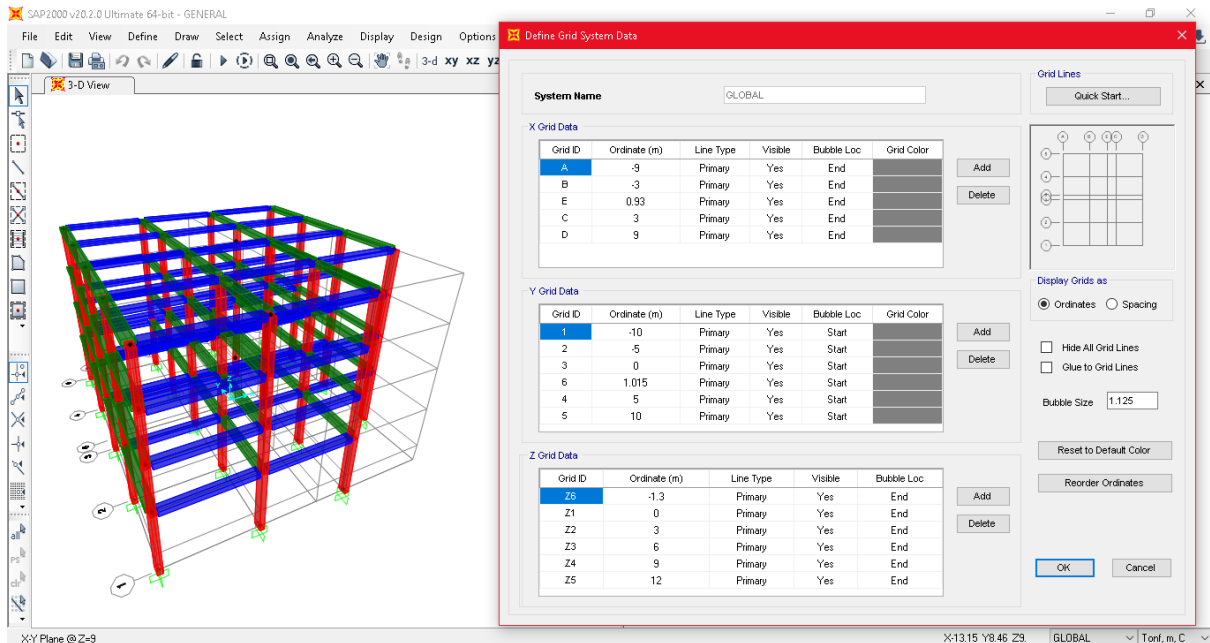


Figura 21. Geometría 3D de la estructura.

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente paso, se desciende hasta el fondo de cimentación, entonces, se procede empotrar las bases, es decir impedir el desplazamiento en todas las direcciones y la rotación en alrededor de todos los ejes.

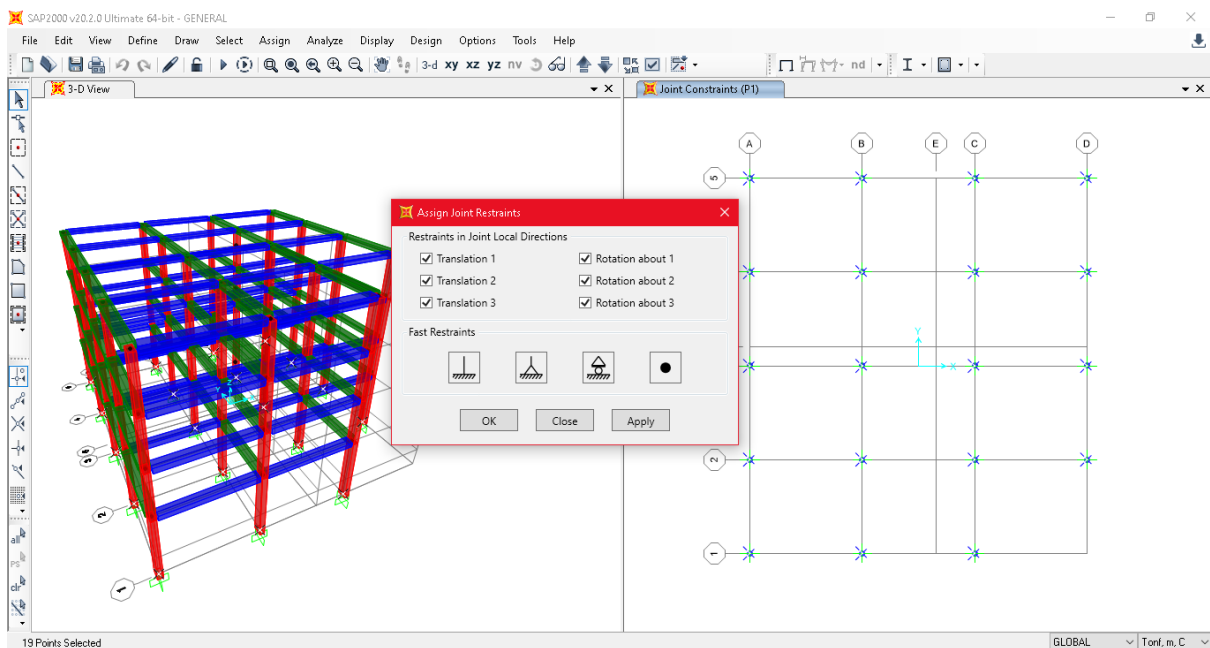


Figura 22. Colocación de las restricciones de la base.

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la definición de material, nótese que se coloca el peso específico del concreto igual a 0, porque se va a ingresar la fuerza sísmica como tal. El proyecto emplea un concreto estructural con las siguientes características:

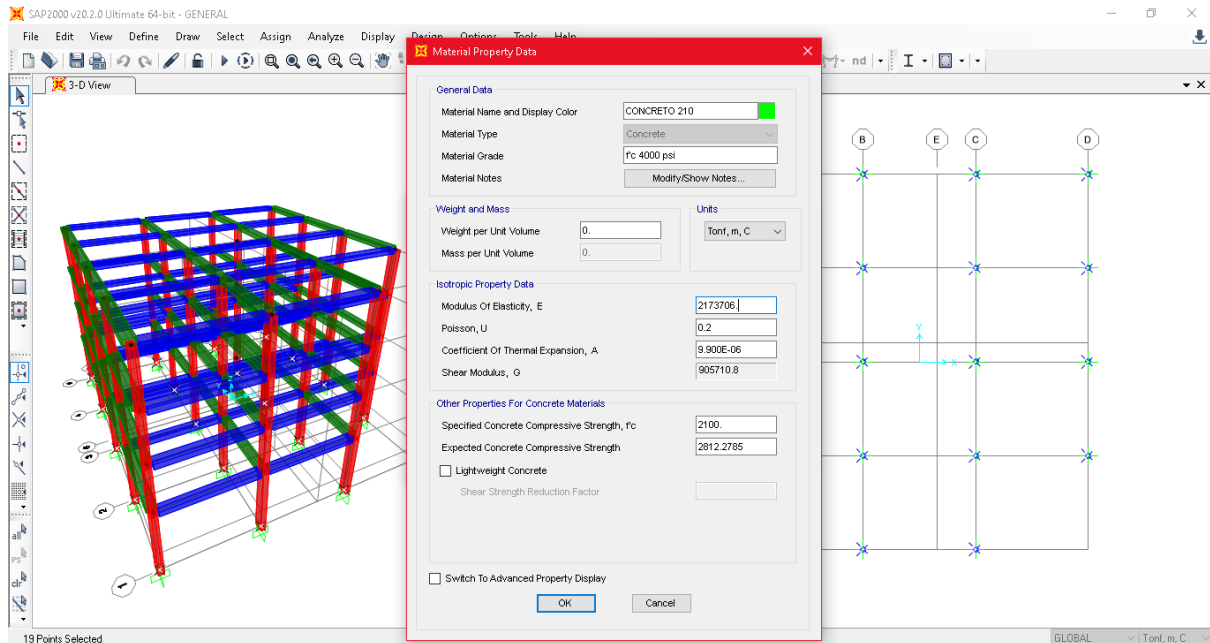


Figura 23. Materiales.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se generan las secciones de los elementos estructurales y posteriormente se asignan al pórtico.

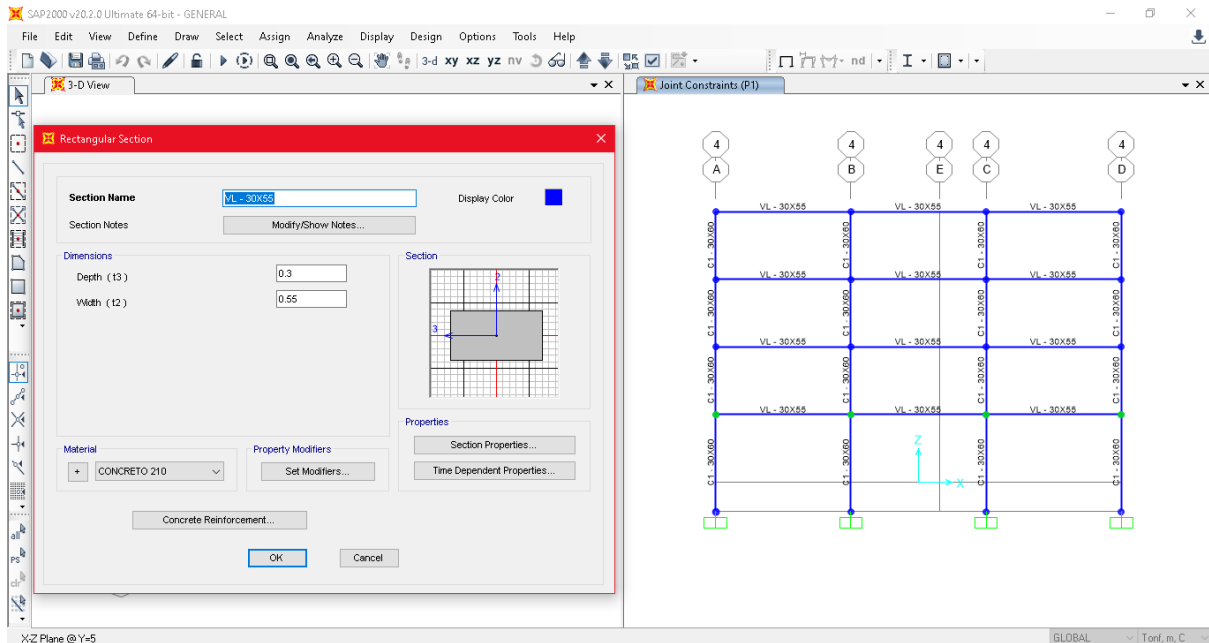


Figura 24. Sección de vigas longitudinales.

Fuente: Elaboración propia

Después se realiza la implementación de brazo rígido a las vigas de todos los pisos y a las columnas del primer piso. En el caso de las vigas, lo que se busca es hacer que las deformaciones comiencen desde las caras internas de las columnas y en el caso de las columnas, se busca que se deforme desde el contacto con la zapata.

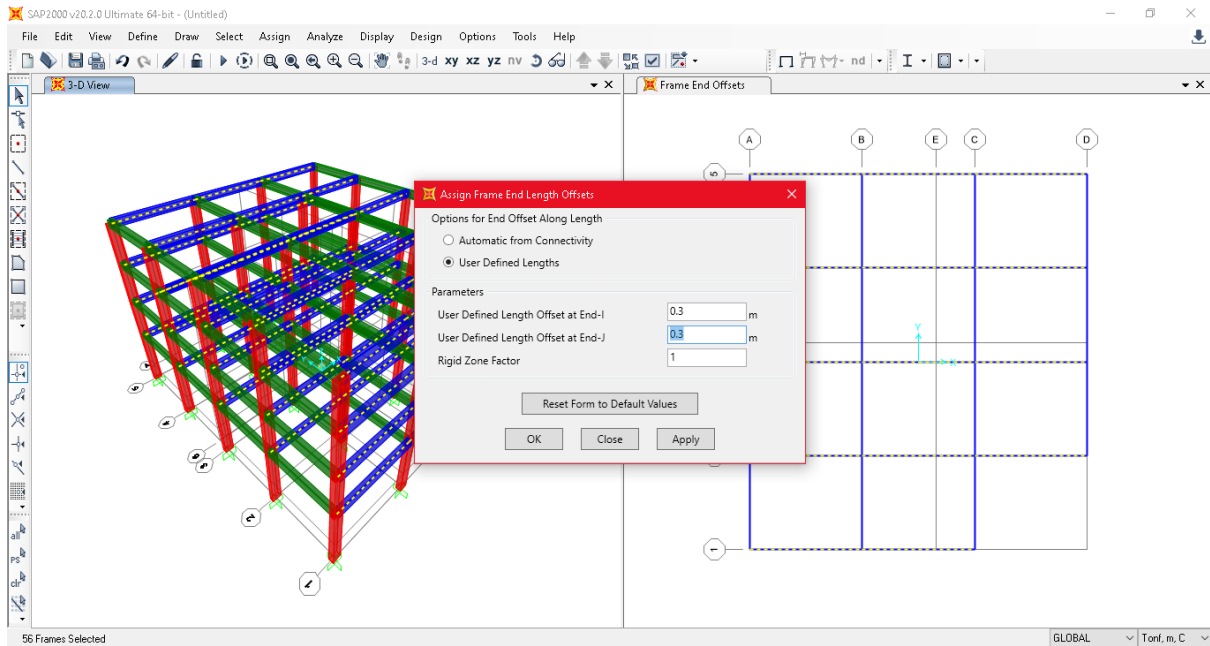


Figura 25. Colocación del brazo rígido en vigas longitudinales

Fuente: Elaboración propia

Luego, se generan los centros de masa, esta ubicación es la intersección de las excentricidades accidentales.

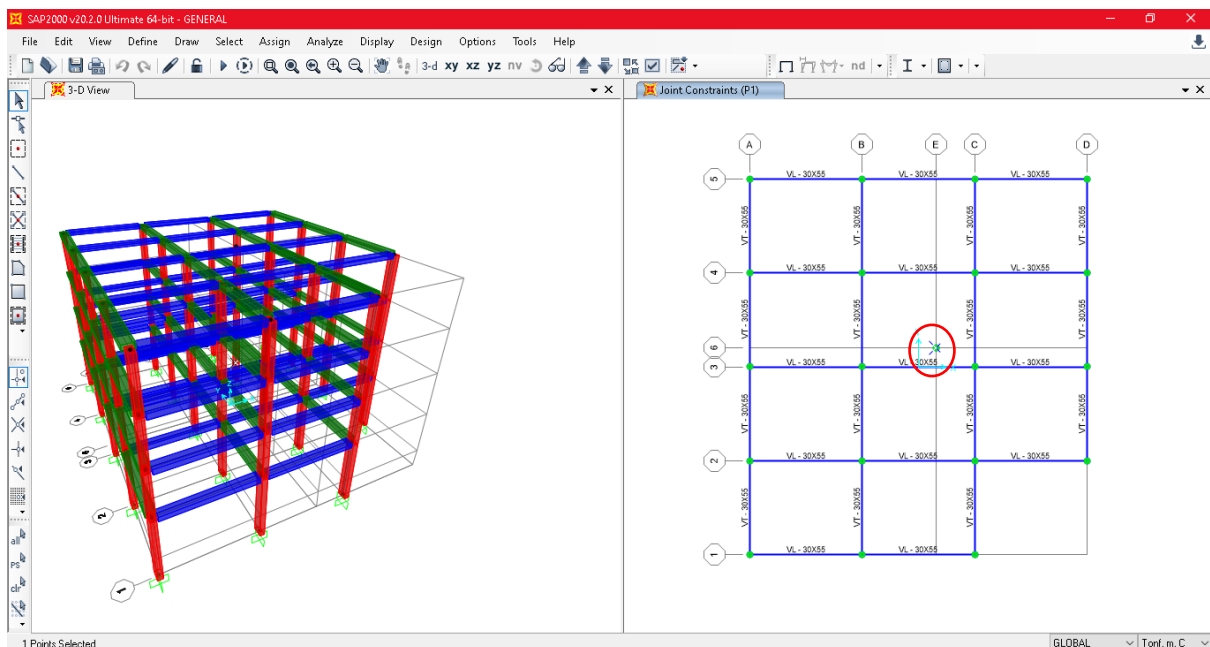


Figura 26. Colocación del centro de masa.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realiza la definición de los diafragmas rígidos, considerando a la losa de entrepiso como infinitamente rígida, de tal forma que pueda transmitir eficientemente las cargas horizontales a los elementos encargados de resistirlas, y a la vez hacer que estos elementos no tengan deformaciones variables.

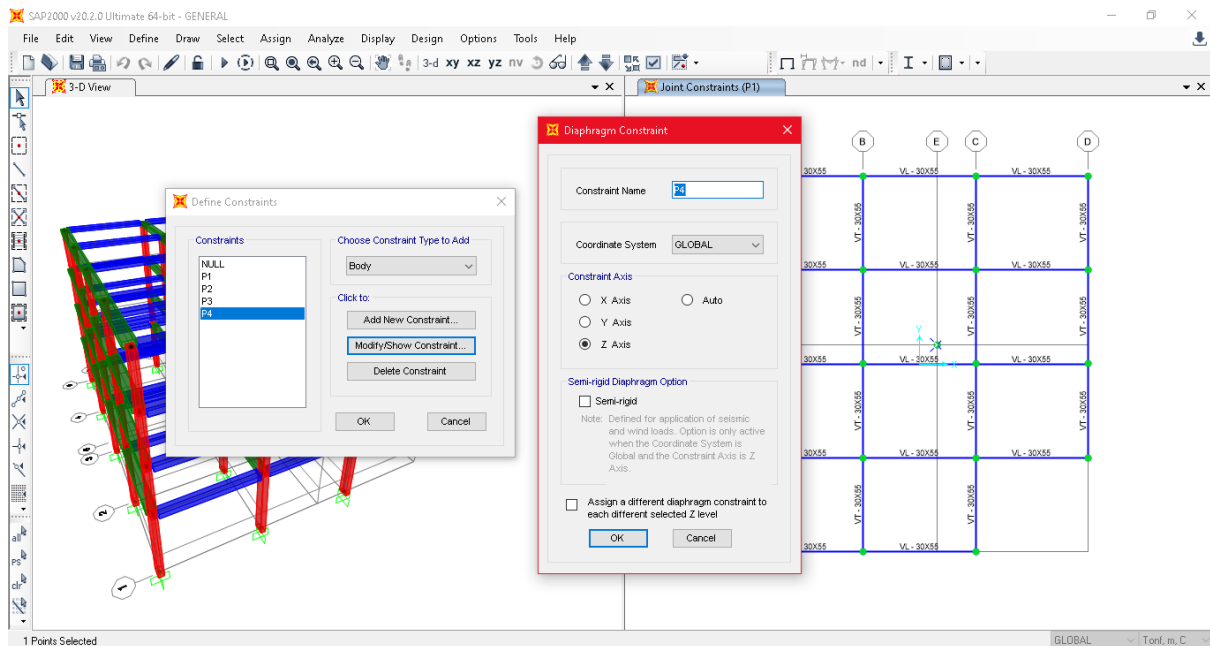


Figura 27. Definición de diafragmas rígidos de entrepisos.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se asignan los diafragmas rígidos a cada entrepiso, tomando en cuenta todos los nodos que los conforman.

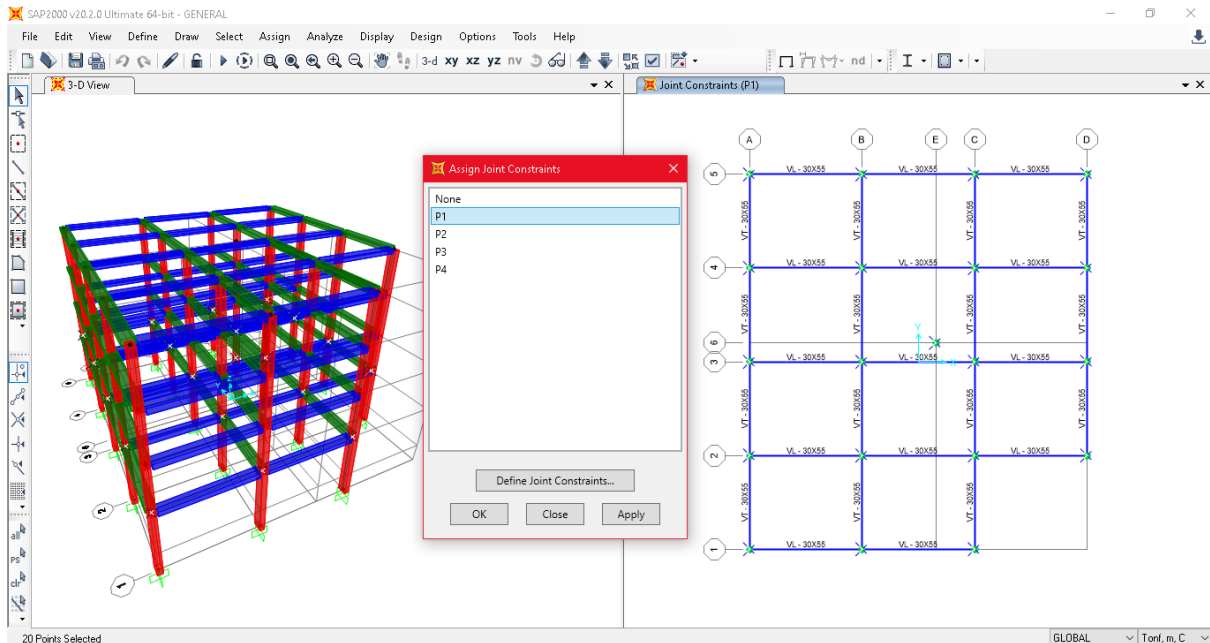


Figura 28. Asignación del diafragma rígido del techo 1 de la edificación.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se restringen los centros de masas, interrumpiendo trasladarse en el eje “Z” y rotar alrededor del eje “X” y “Y”.

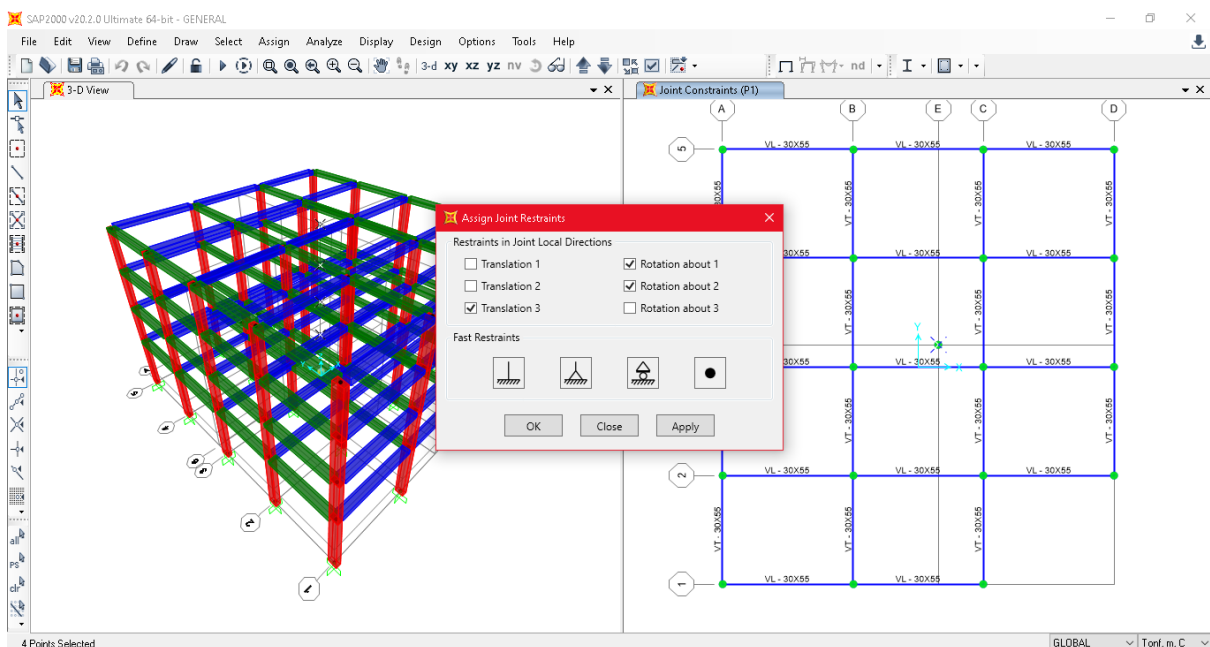


Figura 29. Asignación de restricciones del centro de masa.

Fuente: Elaboración propia



### 2.4.8.3. Procedimiento de modelación para el análisis sísmico dinámico

Basado en el modelo general, se asignan las masas traslacionales y rotacional en los centros de masa, con la información mostrada en la Tabla 22.

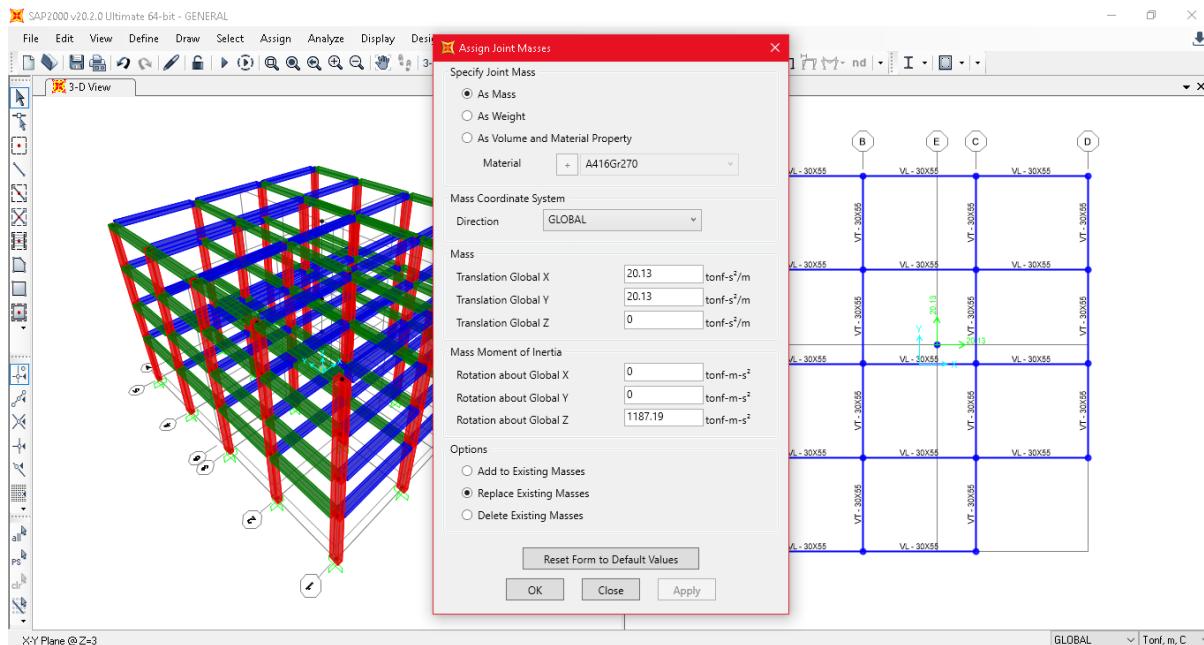


Figura 30. Colocación de masas traslacionales y masa rotacional del primer entrepiso.

Fuente: Elaboración propia

Luego, se define el espectro de diseño.

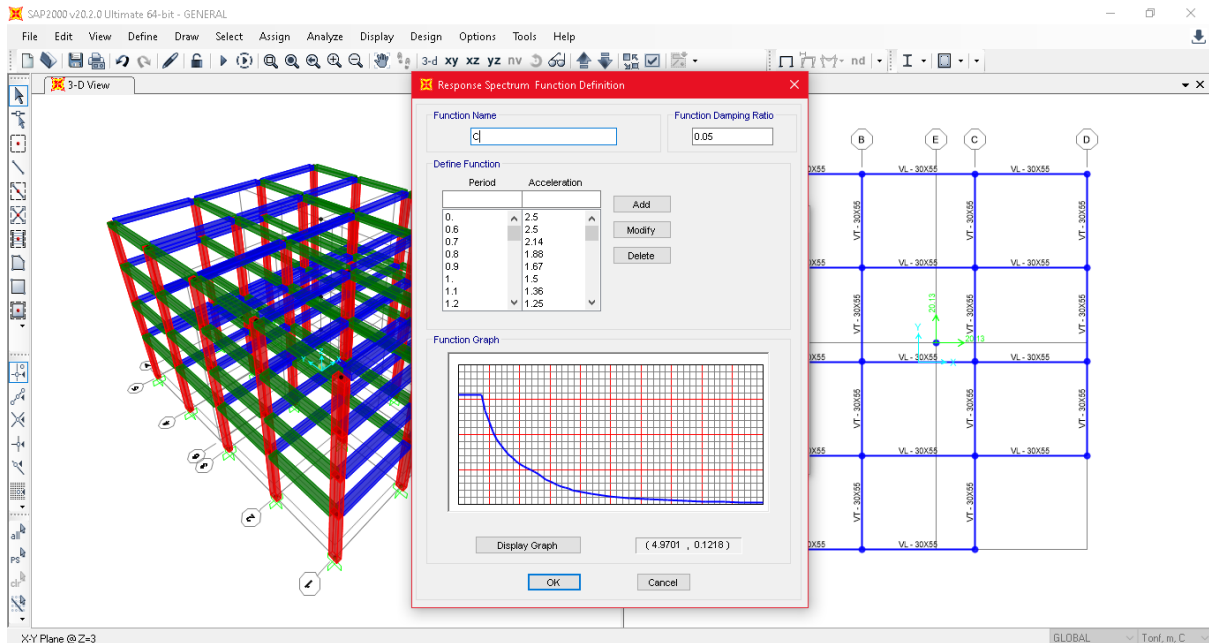


Figura 31. Espectro de diseño para suelo intermedio

Fuente: Elaboración propia

Después, se adiciona el factor de escala, para ello, se define nuevos casos de carga. El primer caso de carga es el MODAL, donde se consideran 3 modos de vibración por piso, haciendo un total de 12 modos de vibración, el segundo caso de carga es SISMO “X” y el tercer caso es el SISMO “Y” ambos de tipo espectral, combinación modal COMBINACIÓN CUADRÁTICA COMPLETA dirección combinacional RAÍZ CUADRADA DE LA SUMA DE CUADRADOS con aceleración en dirección en X y X respectivamente. El espectro de diseño y factor de escala son los mismos en ambas direcciones porque la estructura es íntegramente aporricada, la cual incluye un 5% de amortiguamiento.

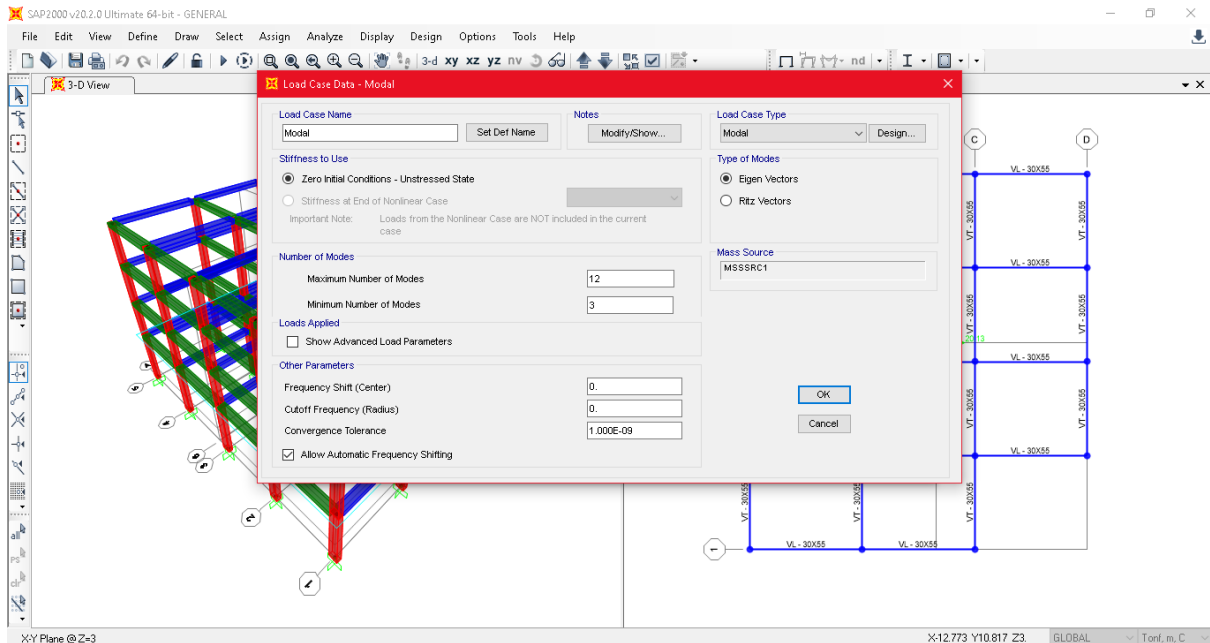


Figura 32. Caso de Carga Modal

Fuente: Elaboración propia

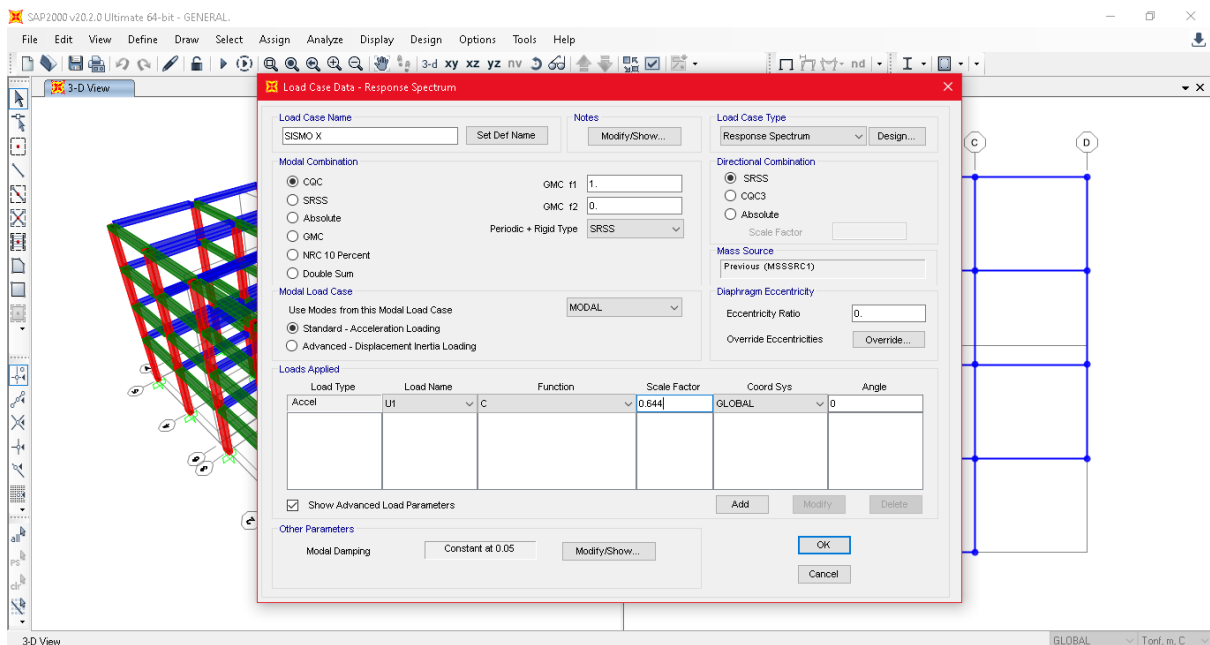


Figura 33. Caso de Carga SISMO X.

Fuente: Elaboración propia

Después, se definen las combinaciones de cargas donde los sismos son multiplicados por el factor R, la norma señala que para estructuras regulares “R” se deber multiplicar por 6 mientras que en estructuras irregulares “R” no sufre alteraciones. Por tanto,  $R=7.2$

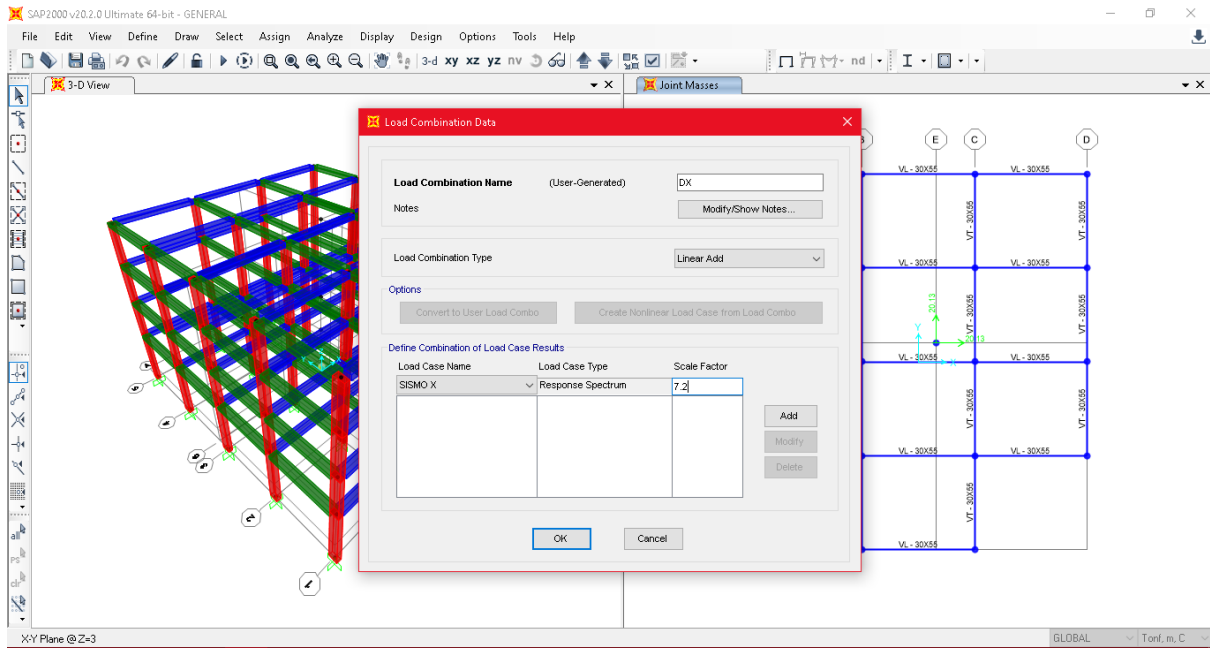


Figura 34. Combinación de carga SISMO X.

Fuente: Elaboración propia

## 2.4.9. Modelos que consideran la Interacción suelo-estructura.

Para poder realizar los cálculos de modelos dinámicos, se debe tener en cuenta ciertas características de la edificación como también del suelo de fundación.

### a) Características de la edificación

- Resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 2100 \text{ Tn/m}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto  $E_c = 2173706 \text{ Tn/m}^2$
- Coeficiente de Poisson del concreto  $\mu_c = 0,2$
- Losa aligerada de espesor  $e = 20 \text{ cm}$  (todos los pisos)
- Zapata 1 de  $3.90\text{m} \times 3.90\text{m} \times 0.60 \text{ m}$
- Zapata 2 de  $2.75\text{m} \times 2.75\text{m} \times 0.60 \text{ m}$
- Zapata 3 de  $2.75\text{m} \times 2.75\text{m} \times 0.60 \text{ m}$
- Zapata 4 de  $2.15\text{m} \times 2.15\text{m} \times 0.60 \text{ m}$

### b) Características del suelo de fundación:

- Tipo de suelo arena pobremente graduada
- Módulo de elasticidad del suelo  $E_s = 2500 \text{ Tn/m}^2$
- Coeficiente de Poisson del suelo  $\mu = 0.30$
- Capacidad portante del suelo  $q = 1.00 \text{ kg/cm}^2$

### 2.4.9.1. Cálculo de Masas Traslacionales y Masas Rotacionales

En primer lugar, es necesario conocer las masas traslacionales respecto a los ejes X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo – zapata, indicados como X', Y', Z', se calculan por la Ecuación 19 y Ecuación 20, como una lámina rectangular delgada y toman como referencia las dimensiones de la Figura 13.

**Tabla 31. Masas traslacionales**

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	3.90	3.90	0.60	21.90	2.23	2.23	2.23
Z-2	2.75	2.75	0.60	10.89	1.11	1.11	1.11
Z-3	2.75	2.75	0.60	10.89	1.11	1.11	1.11
Z-4	2.15	2.15	0.60	6.66	0.68	0.68	0.68

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32. Masas Rotacionales**

Zapata	M $\phi$ x (Tn.s <sup>2</sup> /m)	M $\phi$ y (Tn.s <sup>2</sup> /m)	M $\Psi$ z (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	3.09	3.09	5.65
Z-2	0.83	0.83	1.40
Z-3	0.83	0.83	1.40
Z-4	0.34	0.34	0.52

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.9.2. Cálculo de Coeficientes de rigidez

Para determinar los coeficientes de rigidez de los modelos de base flexible es necesario realizar una serie de cálculos, es por ello que en la presente investigación se brinda una metodología clara, precisa y elaborada para su cálculo. Los cuales se muestran a continuación:

##### 2.4.9.2.1. Coeficientes de rigidez (D.D. Barkan – O.A. Savinov)

En primer lugar, se calcula la magnitud de la presión estática del suelo para cada zapata de la edificación.

**Tabla 33. Presión estática**

Zapata	Peso tributario (kg)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Presión estática (kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	59500	21900	152100	0.54
Z-2	36290	10890	75625	0.62
Z-3	36850	10890	75625	0.63
Z-4	23100	6660	46225	0.64

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la **Tabla 3**, asumimos  $C_0 = 1.80 \text{ kg/cm}^2$  (arena pobremente graduada) y por la Ecuación 5, calculamos  $D_0$

$$D_0 = \frac{1-0.30}{1-0.5 \times 0.30} \times 1.80 = 1.48 \text{ kg/cm}^2$$

Ahora se deduce los coeficientes de  $C_x, C_y, C_z, C_{\phi x}, C_{\phi y}$  por la Ecuación 4, por eso se necesita conocer los valores de la siguiente tabla.

**Tabla 34. Valores para el cálculo**

Zapata	a (m)	b (m)	$\Delta$ (m <sup>-1</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$\rho$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	3.90	3.90	1.00	15.21	0.54	0.20
Z-2	2.75	2.75	1.00	7.56	0.62	0.20
Z-3	2.75	2.75	1.00	7.56	0.63	0.20
Z-4	2.15	2.15	1.00	4.62	0.64	0.20

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35. Coeficientes  $C_x, C_y, C_z, C_{\phi x}, C_{\phi y}$** 

Zapata	$D_0$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$C_0$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$C_x$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$C_y$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$C_z$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$C_{\phi x}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$C_{\phi y}$ (Tn/m <sup>3</sup> )
Z-1	1.48	1.80	4926.13	4926.13	5991.24	9024.78	9024.78
Z-2	1.48	1.80	6397.33	6397.33	7780.54	12391.85	12391.85
Z-3	1.48	1.80	6448.71	6448.71	7843.03	12491.38	12491.38
Z-4	1.48	1.80	7575.76	7575.76	9213.76	15207.59	15207.59

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se calcula los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$  por Ecuación 3.

Pero antes se encuentra las inercias de cada zapata de las direcciones “X” y “Y”.

**Tabla 36. Inercias de las zapatas**

Zapata	a (m)	b (m)	Ix (cm <sup>4</sup> )	Iy (cm <sup>4</sup> )
Z-1	3.90	3.90	19278.6750	19278.6750
Z-2	2.75	2.75	4765.9505	4765.9505
Z-3	2.75	2.75	4765.9505	4765.9505
Z-4	2.15	2.15	1780.6255	1780.6255

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37. Coeficientes de rigidez  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_z$ ,  $C_{\phi x}$ ,  $C_{\phi y}$**

Zapata	$K_x$ (Tn/m)	$K_y$ (Tn/m)	$K_z$ (Tn/m)	$K_{\phi x}$ (Tn.m)	$K_{\phi y}$ (Tn.m)
Z-1	74926.44	74926.44	91126.76	173986.03	173986.03
Z-2	48363.81	48363.81	58820.88	59059.56	59059.56
Z-3	48752.25	48752.25	59293.31	59533.92	59533.92
Z-4	35000.01	35000.01	42567.57	27078.63	27078.63

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.9.2.2. Coeficientes de rigidez Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Para determinar los coeficientes de rigidez de la Norma Rusa, lo primero es conocer el coeficiente de compresión elástica uniforme, lo cual se calcula por medio de la Ecuación 10, y de acuerdo a **Tabla 4**, asumimos  $b_0=1.00\text{m}^{-1}$

**Tabla 38. Coeficiente de rigidez ( $C_z$ )**

Zapata	a (m)	b (m)	$b_0$ (m <sup>-1</sup> )	E (Ton/m <sup>2</sup> )	A10 (m <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$C_z$ (Tn/m <sup>3</sup> )
Z-1	3.90	3.90	1.00	2500	10.00	15.21	4527.10
Z-2	2.75	2.75	1.00	2500	10.00	7.56	5374.80
Z-3	2.75	2.75	1.00	2500	10.00	7.56	5374.80
Z-4	2.15	2.15	1.00	2500	10.00	4.62	6177.07

Fuente: Elaboración propia

Después, a través de las ecuaciones 11, 12 y 13, se determina los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme y desplazamiento elástico no uniforme.



**Tabla 39. Coeficiente de rigidez (C)**

Zapata	C <sub>x</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	C <sub>y</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	C <sub>z</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	C <sub>φx</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	C <sub>φy</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	C <sub>ψz</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )
Z-1	3168.97	3168.97	4527.10	9054.20	9054.20	4527.10
Z-2	3762.36	3762.36	5374.80	10749.60	10749.60	5374.80
Z-3	3762.36	3762.36	5374.80	10749.60	10749.60	5374.80
Z-4	4323.95	4323.95	6177.07	12354.13	12354.13	6177.07

Fuente: Elaboración propia

Y después, con la Ecuación 9 calculamos los coeficientes de rigidez

$K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$ . Pero antes se calcula las inercias de cada zapata.

**Tabla 40. Inercias**

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	A m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
Z-1	3.90	3.90	0.60	15.21	19.2787	19.2787	38.5574
Z-2	2.75	2.75	0.60	7.56	4.7660	4.7660	9.5320
Z-3	2.75	2.75	0.60	7.56	4.7660	4.7660	9.5320
Z-4	2.15	2.15	0.60	4.62	1.7806	1.7806	3.5612

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 41. Rigideces (K)**

Zapata	K <sub>x</sub> (Tn/m)	K <sub>y</sub> (Tn/m)	K <sub>z</sub> (Tn/m)	K <sub>φx</sub> (Tn.m)	K <sub>φy</sub> (Tn.m)	K <sub>ψz</sub> (Tn.m)
Z-1	48200.05	48200.05	68857.21	174553.25	174553.25	174553.25
Z-2	28452.84	28452.84	40646.91	51232.57	51232.57	51232.57
Z-3	28452.84	28452.84	40646.91	51232.57	51232.57	51232.57
Z-4	19987.44	19987.44	28553.49	21997.77	21997.77	21997.77

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.9.3. Procedimiento de Modelación del Modelo D.D. Barkan-O.A.

A partir de este punto, se implementará el modelo dinámico desarrollado por el científico D.D. Barkan. Tal y como se explicó en el marco teórico de la presente investigación, este modelo busca implementar los coeficientes de rigidez del suelo en dirección X, Y y Z y además alrededor del eje X y del eje Y, restringiendo el giro alrededor del eje Z.

A continuación, se presentan los pasos que se siguieron al momento de la modelación de la edificación, partiendo de la modelación ya realizada para el análisis dinámico empotrado.

Debido a que, en el modelo tomado como puntos de partida, tiene bases empotradas, es necesario liberar estas bases para colocar en su lugar las zapatas. Para ello se selecciona todos los nudos de conexión columna – zapata y se eliminan las restricciones.

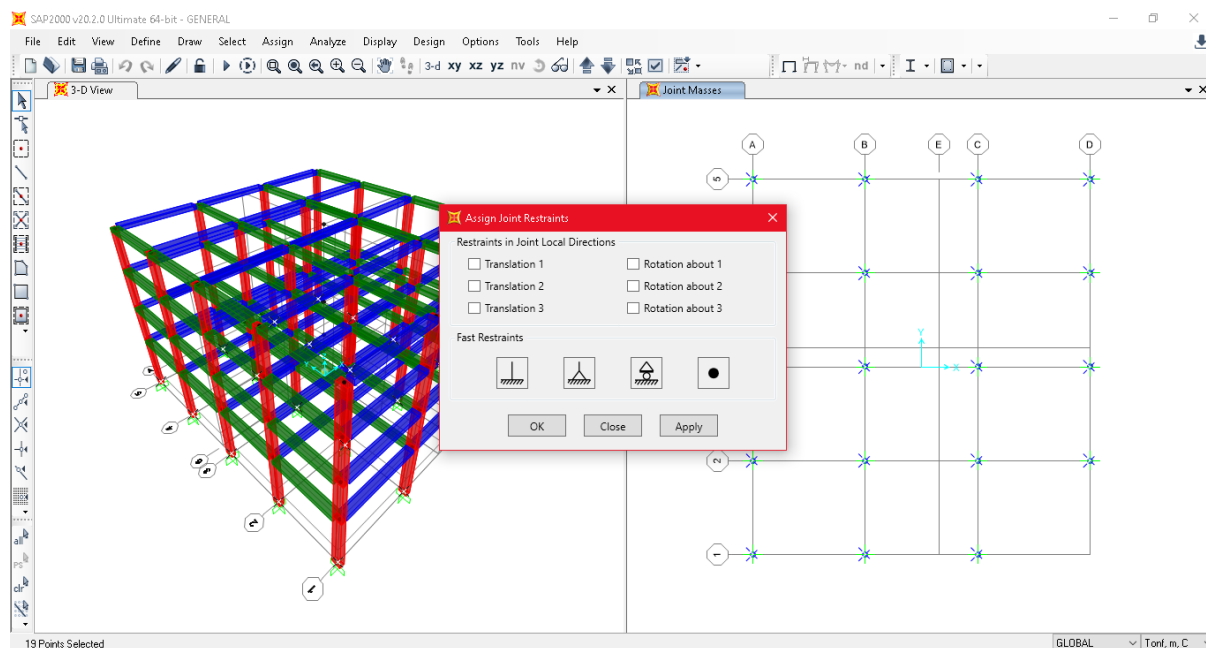


Figura 35. Liberar los empotramientos de las bases.

Fuente: Elaboración propia

Para colocar las zapatas, es necesario crear su respectivo material y sección. Y después empezar a dibujarlas con la ayuda de los ejes y la herramienta “quick draw area” del software SAP 2000 V.20.

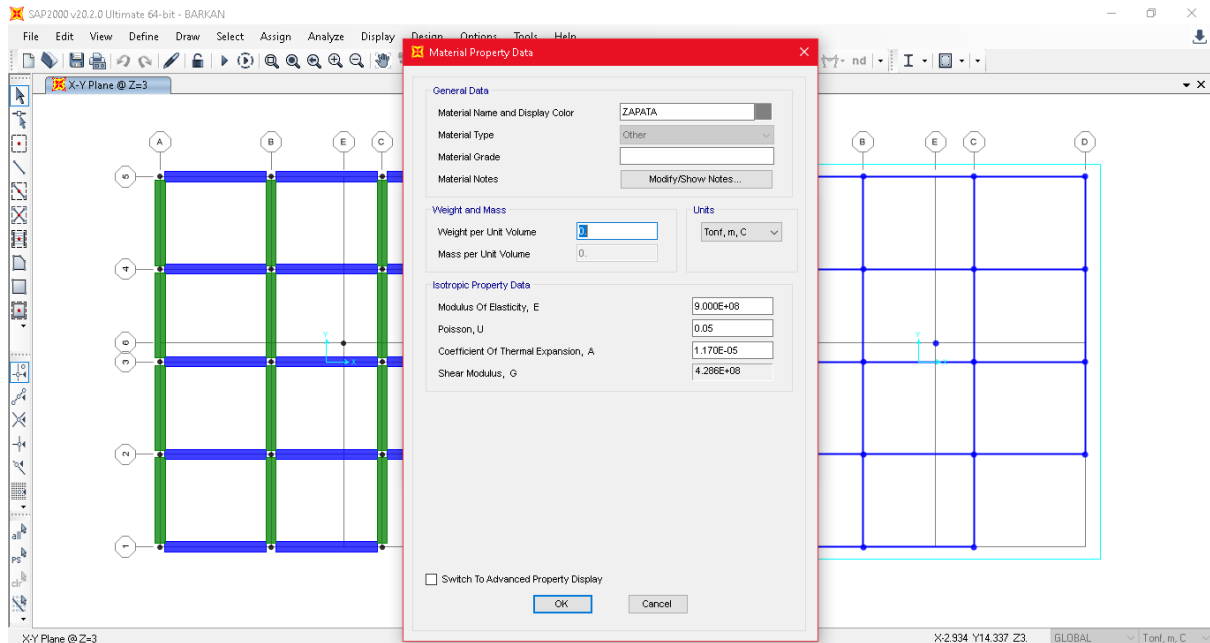


Figura 36. Creación del material “ZAPATA”.

Fuente: Elaboración propia

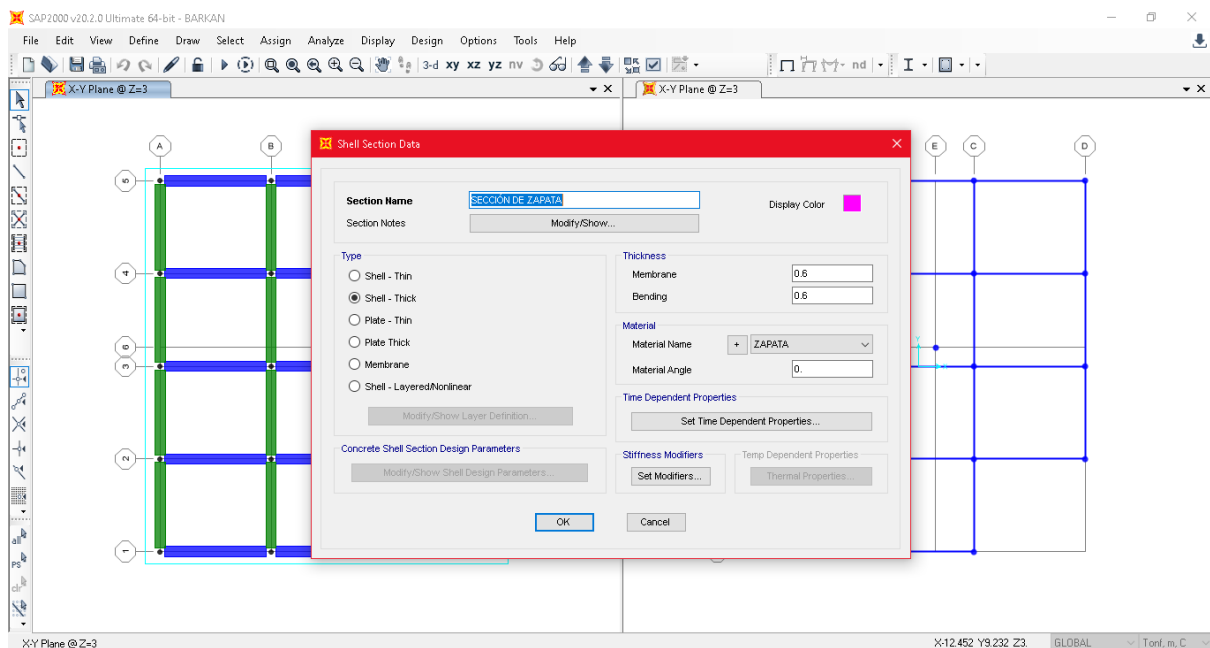


Figura 37. Creación de la sección para la zapata.

Fuente: Elaboración propia

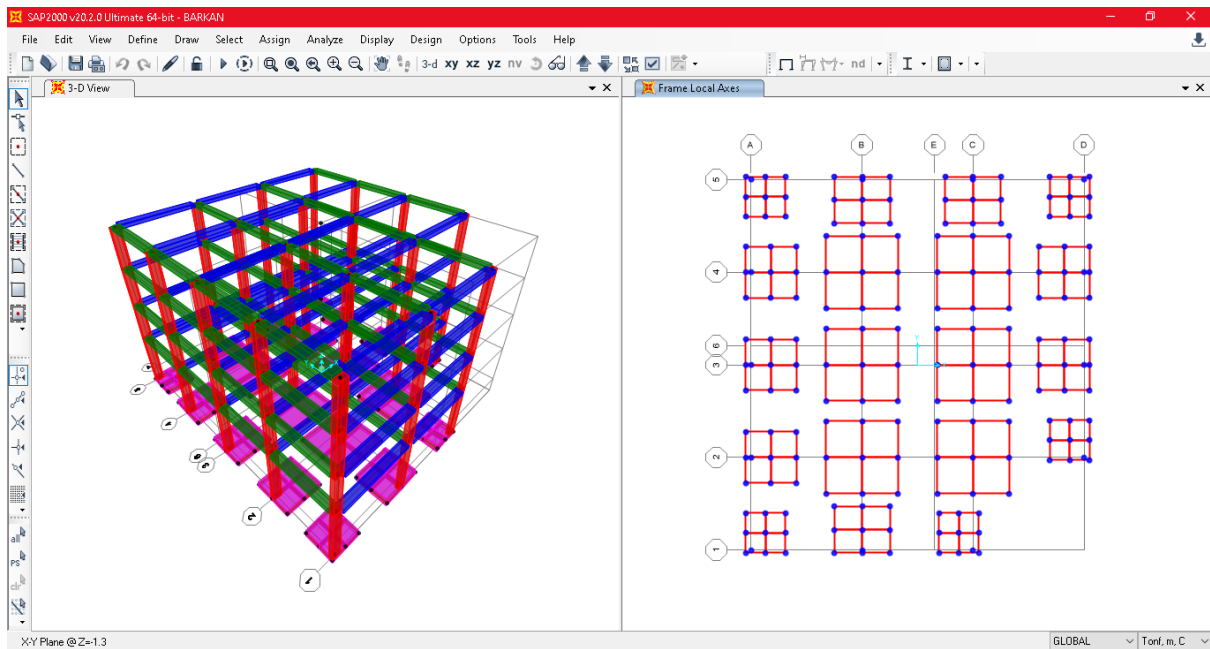


Figura 38. Asignación de las zapatas en la modelación.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se selecciona los nudos columna-zapata e incorpora las masas traslacionales y rotacionales de la **Tabla 31** y la **Tabla 32** respectivamente.

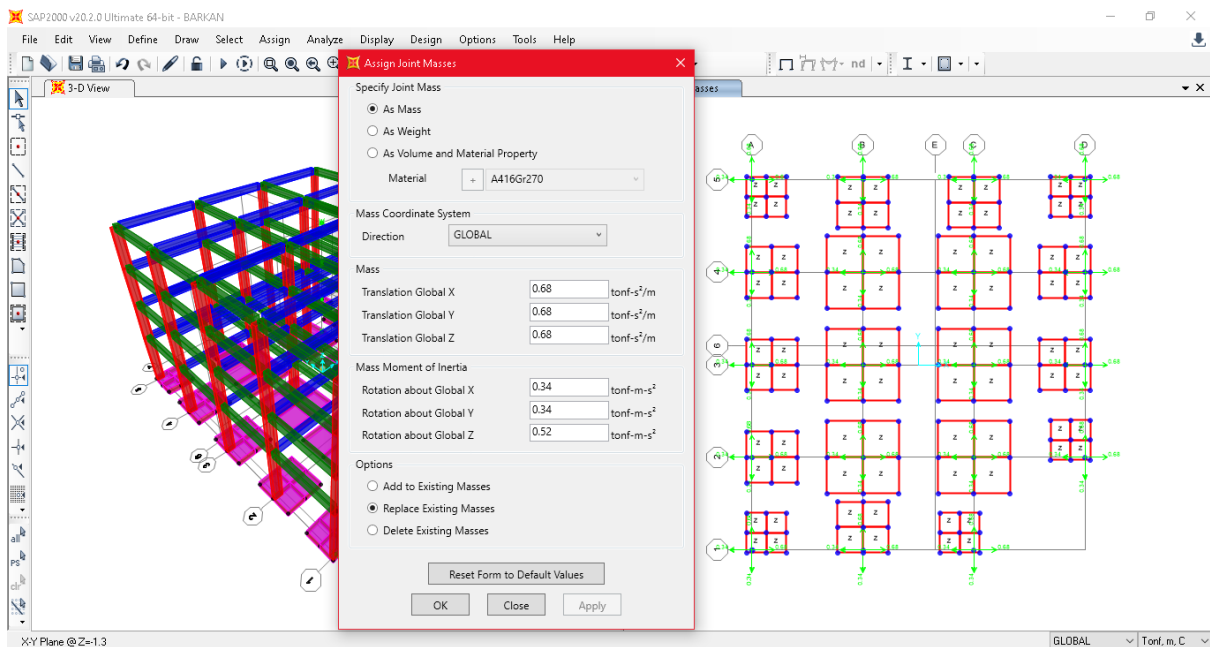


Figura 39. Incorporación de masas traslacionales y rotacionales en la Zapata 4

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se colocan los coeficientes de rigidez (D.D. Barkan – O.A. Savinov).

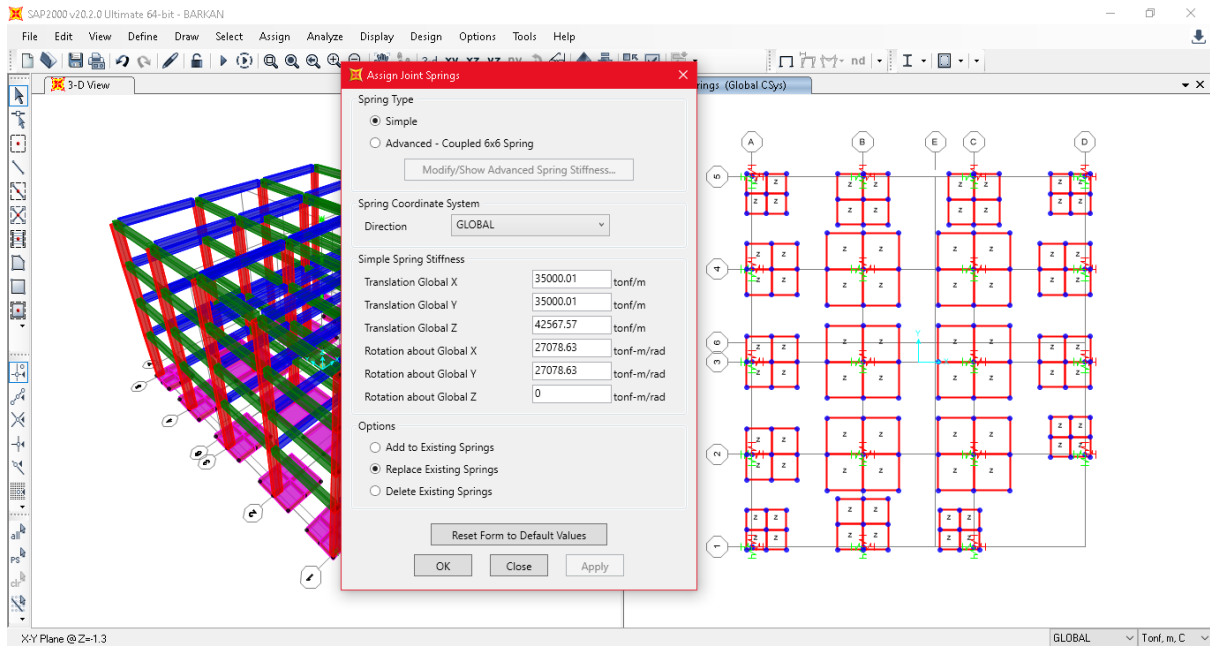


Figura 40. Colocación de los coeficientes de rigidez en la Zapata 4.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se seleccionan los nudos columna-zapata y se restringe la rotación en Z.

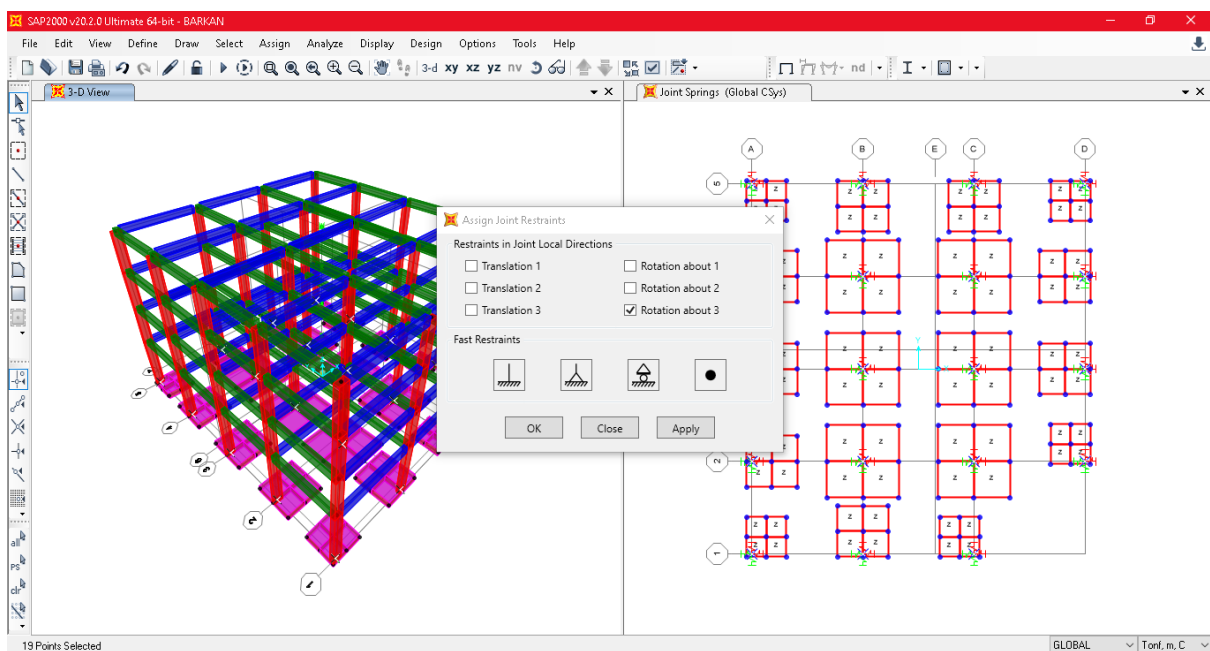


Figura 41. Restricción de la rotación en Z.

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.9.4. Procedimiento de Modelación de Modelo Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Ahora se implementará el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, este modelo busca implementar los coeficientes de rigidez del suelo en dirección X, Y y Z y además alrededor del eje X, Y y Z. A continuación, se presentarán los pasos que se siguieron al momento de la modelación de la edificación, partiendo de la modelación ya realizada para el análisis dinámico del modelo Barkan. Debido a que el modelo anterior tiene restricción de rotación en Z, es necesario liberar el centroide de las zapatas.

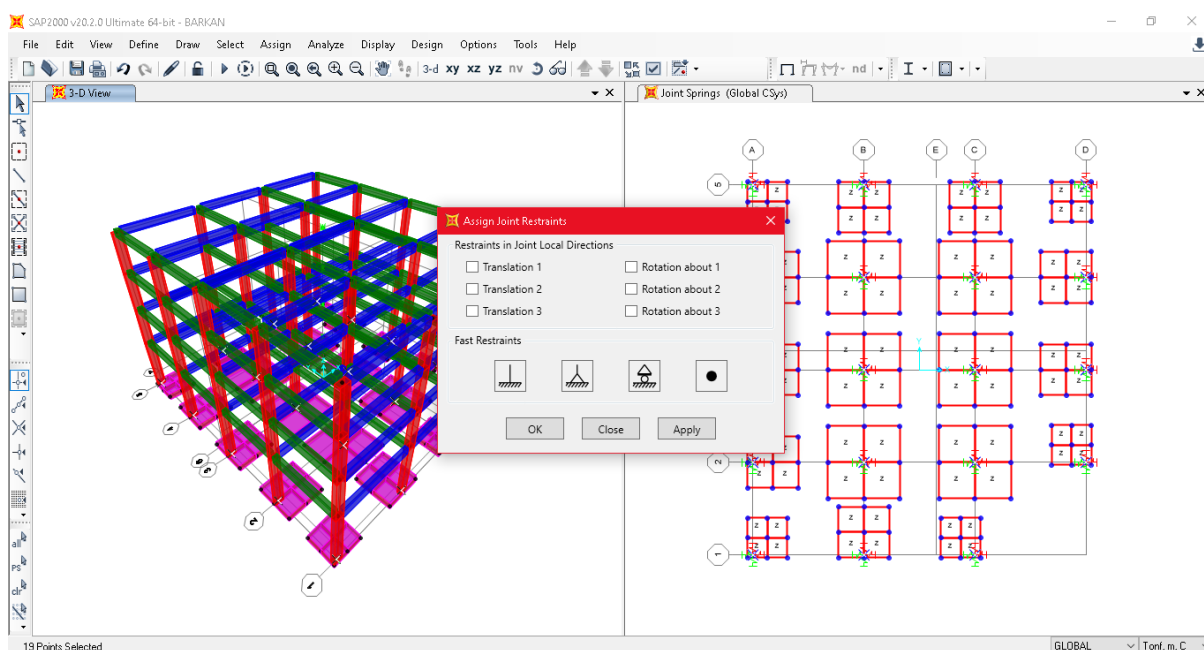


Figura 42. Liberar el centroide de las zapatas

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se colocan los coeficientes de rigidez (Norma Rusa SNIP 2.02.05-87).

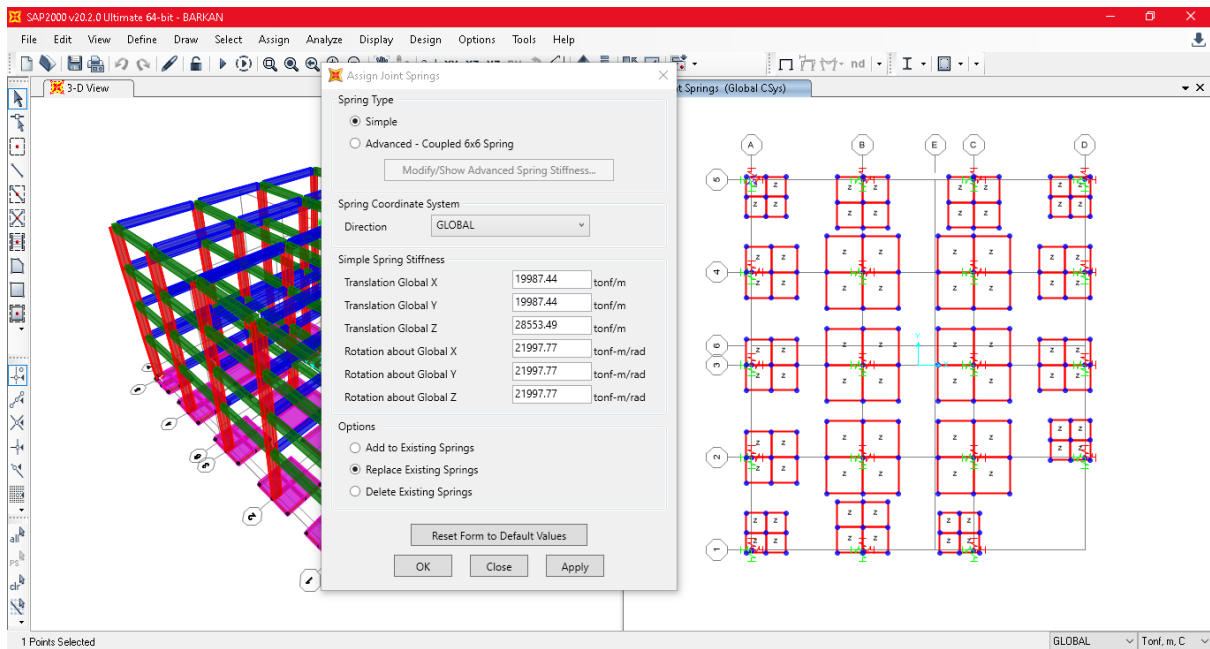


Figura 43. Colocación de los coeficientes de rigidez de las zapatas 4.

Fuente: Elaboración propia

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

En las tablas del CAPÍTULO 3, se dan los resultados del análisis espectral, calculándose los periodos de las 12 primeras formas de vibración y sus frecuencias angulares, así como los desplazamientos laterales máximos de los centros de masas en la dirección de los ejes “X” y “Y”. Además, se dan los resultados de las fuerzas axiales máximas, fuerzas cortantes máximas, momentos flectores máximos de toda la edificación.

Estos cálculos se realizaron para el edificio sin considerar interacción suelo estructura (Empotrado) y considerando interacción suelo estructura por los modelos dinámicos D.D. Barkan – O.A. Savinov y Norma Rusa SNIP 2.02.05-87.

En la **Tabla 44** y **Tabla 45** se indican los elementos donde surgen los valores máximos de desplazamientos laterales, fuerzas normales y cortantes, momentos flectores.

En la Figura 44 se muestra la codificación de elementos de toda la edificación del 1er al 4to piso.

De acuerdo a la Norma Peruana E.30- 2018, los desplazamientos elásticos (obtenidos por los programas informáticos) deben multiplicarse por el factor  $R=7.2$  para obtener los desplazamientos laterales.

Además, la norma señala que cuando un solo elemento de la estructura, muro o pórtico resiste, una fuerza de 30% o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 125% de dicha fuerza. En este caso, se dan los resultados obtenidos directamente por los programas SAP2000, sin considerar el 25% adicional, debido al especial interés de comparación de resultados y normas.



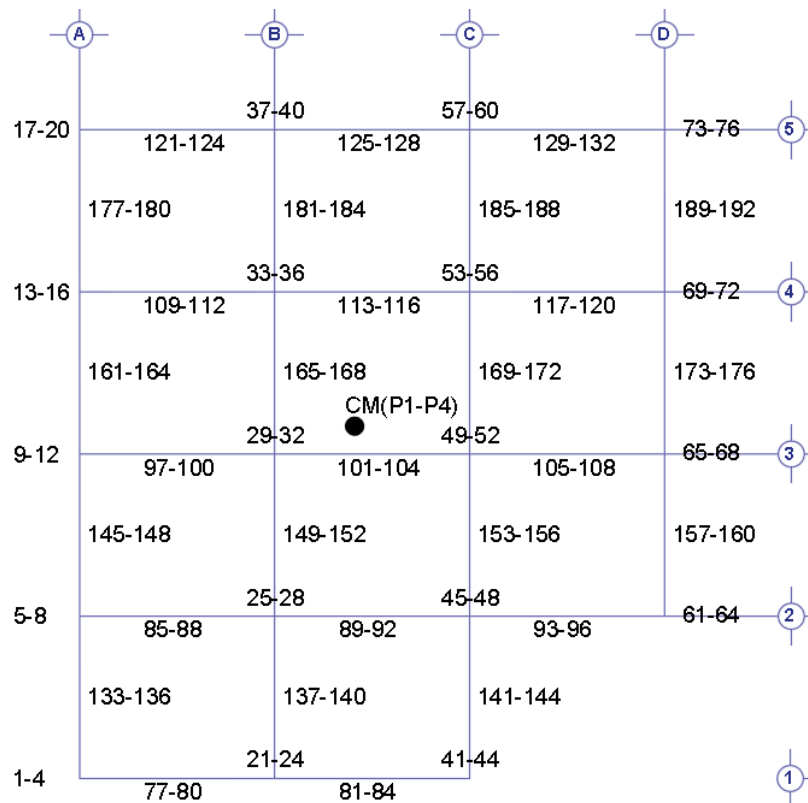


Figura 44. Distribución de elementos de la edificación del 1er al 4to piso

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Periodos de vibración (s)

Periodo de vibración por la forma (s)	Modelo dinámico		
	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
1	0.75499	0.77151	0.77621
2	0.50252	0.52633	0.53216
3	0.45282	0.47512	0.48047
4	0.23853	0.24145	0.24232
5	0.15496	0.16010	0.16136
6	0.14141	0.14591	0.14701
7	0.13645	0.13711	0.13725
8	0.09972	0.09983	0.09987
9	0.08279	0.08421	0.08457
10	0.07698	0.07834	0.07868
11	0.05538	0.05573	0.05586
12	0.05199	0.05234	0.05247

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 43.** Frecuencias Angulares (rad/s)

Frecuencia angular por la forma (rad/s)	Modelo dinámico		
	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
1	1.32453	1.29617	1.28832
2	1.98998	1.89997	1.87914
3	2.20836	2.10472	2.08129
4	4.19241	4.1417	4.12674
5	6.45341	6.24625	6.19746
6	7.07149	6.85364	6.80233
7	7.32855	7.29338	7.28579
8	10.02832	10.0170	10.01331
9	12.07844	11.87454	11.82492
10	12.98985	12.76551	12.71046
11	18.05641	17.94446	17.90344
12	19.23518	19.10703	19.05806

Fuente: Elaboración propia.

Al considerar la flexibilidad en la base de fundación los valores de periodo de vibración aumentan respecto al modelo con base empotrado en un 2.19% en el Modelo Barkan y 2.81% en modelo de la Norma Rusa, sin embargo, se observa disminución de las frecuencias angulares correspondientes a dichas forma de vibración en un 2.19% en el Modelo Barkan y 2.81% en modelo Norma Rusa.

**Tabla 44.** Desplazamientos máximos

N	Modelo dinámico	Desplazamiento máximo (mm)	
		X <sub>máx</sub>	Y <sub>máx</sub>
1	Empotrado	89.886 (P.4)	159.889 (P.4)
2	Barkan	98.578 (P.4)	162.907 (P.4)
3	Norma Rusa	100.993 (P.4)	163.936 (P.4)

Fuente: Elaboración propia.

Los desplazamientos máximos de los centros de masas en la dirección “X” se aprecia el incremento en los modelos dinámicos respecto al modelo con base rígida, siendo en 9.67%

para el modelo Barkan y 12.36% para modelo Norma Rusa, del cual se genera mayor desplazamiento del modelo Norma Rusa, el mismo que varía en 2.39% del modelo Barkan. Y en el sentido “Y” se observa el incremento de desplazamiento de los modelos dinámicos en base al modelo con base empotrada, resultando en 1.89% para el modelo Barkan y 2.53% para modelo Norma Rusa, del cual el que mayor desplazamiento genera es el modelo Norma Rusa, el mismo que se diferencia en 0.63% del modelo Barkan.

**Tabla 45.** *Fuerzas internas máximas*

N	Modelo dinámico	Fuerzas internas máximas		
		N <sub>máx</sub> (Tn)	V <sub>máx</sub> (Tn)	M <sub>máx</sub> (Tn.m)
1	Empotrado	10.85 (1)	7.70 (37-57)	18.09 (37-57)
2	Barkan	10.45 (13)	7.81 (33-53)	18.17 (33-53)
3	Norma Rusa	10.49 (13)	8.03 (33-53)	18.49 (33-53)

Fuente: Elaboración propia.

Las fuerzas cortantes máximas de los modelos dinámicos disminuyen respecto al modelo base empotrada, 3.83% en el modelo Barkan y 2.43% en el modelo Norma Rusa. Sin embargo, las fuerzas cortantes máximas aumentan respecto al modelo base empotrada, para el modelo Barkan en 1.43% y para el modelo Norma Rusa en 14.67%. De igual manera, los momentos flectores también aumentan respecto al modelo base empotrada en 0.44% en el modelo Barkan y 2.21% en el modelo Norma Rusa. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos podemos indicar que no se cumple con la condición que la interacción suelo estructura disminuye las fuerzas internas máximas debido a que se debe rigidizar la estructura.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión de los resultados

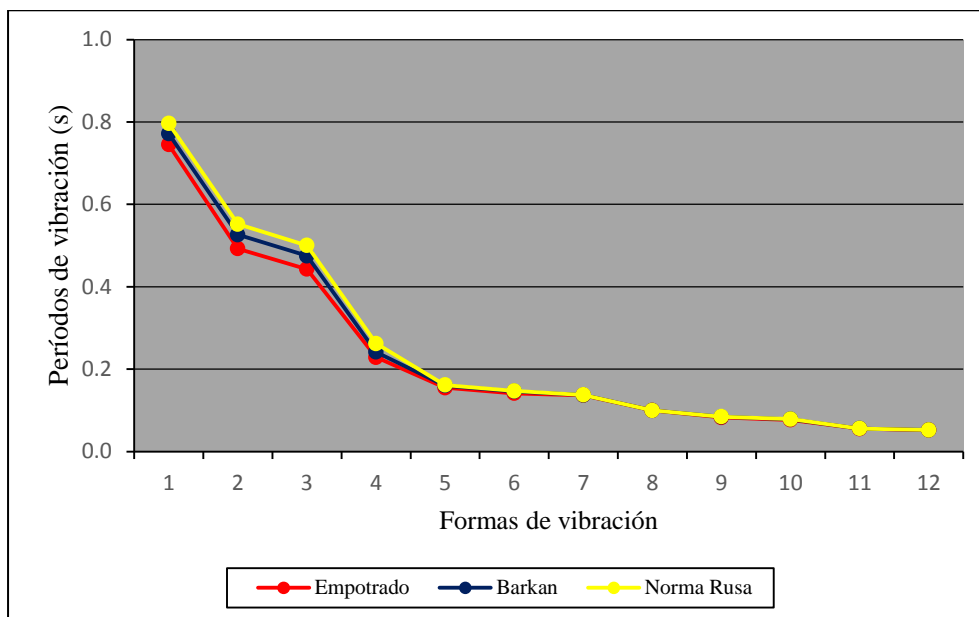


Figura 45. Periodos de las 12 formas de vibración libre por el programa SAP 2000.

Fuente: Elaboración propia.

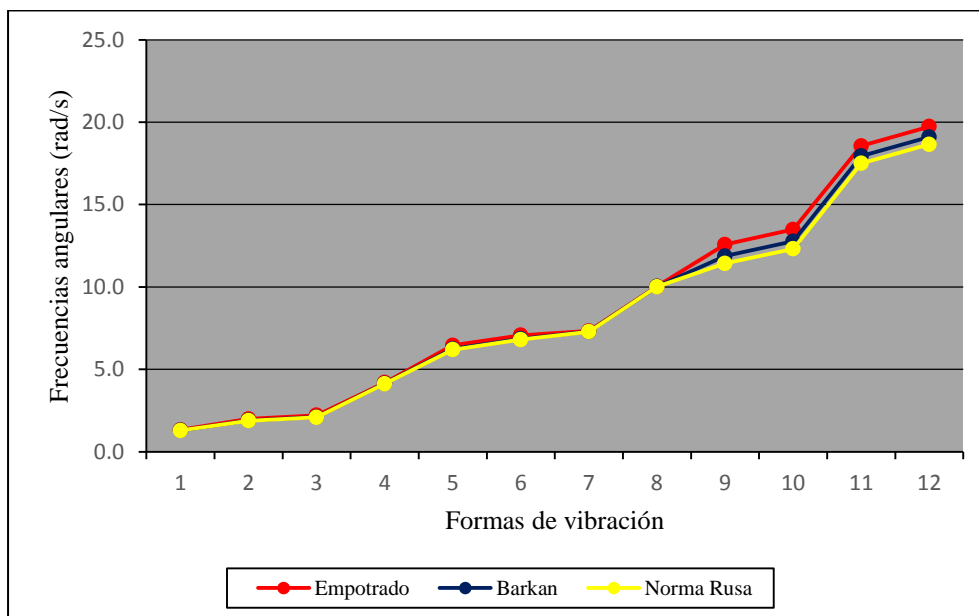
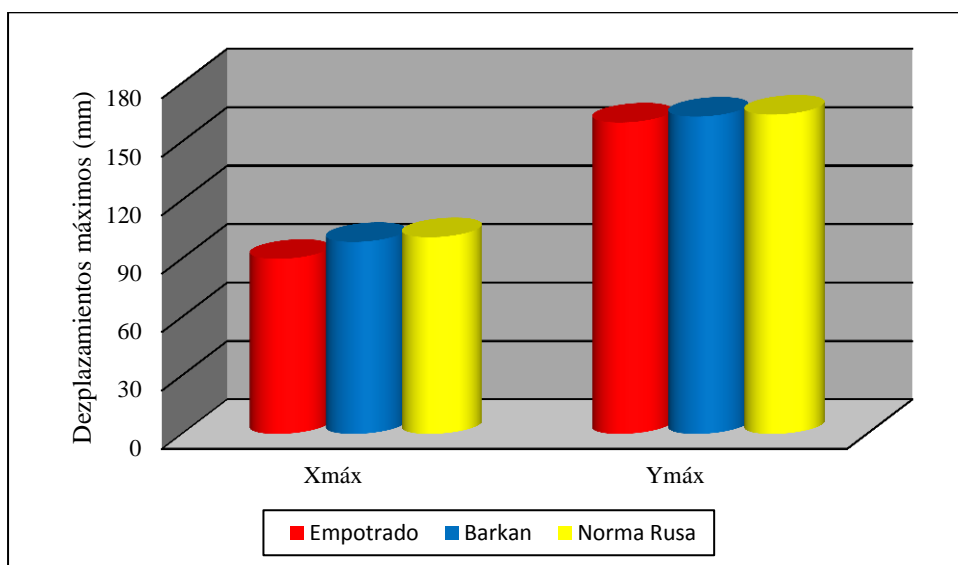


Figura 46. Frecuencias de las 12 formas de vibración libre por el programa SAP 2000.

Fuente: Elaboración propia.

Como se esperaba la interacción suelo estructura incrementa los períodos de las formas de vibración, principalmente en los tres primeros modos respecto al modelo base empotrada.

Concordando dichos resultados con el trabajo que desarrolló Águila (2018) donde de igual manera, logró observar que el periodo fundamental aumenta cuando existe interacción suelo estructura, porque en el cálculo de los modelos de bases flexibles se considera la masa de la cimentación, teniendo en cuenta las características geométricas de la cimentación. Asimismo, concluye que la flexibilidad de la base de fundación disminuye las frecuencias de las formas de vibración libre, tal como se muestra en la Figura 46 siendo la disminución más notoria en el modelo Norma Rusa.



*Figura 47. Desplazamientos máximos del centro de masa (4to piso) - Dirección "X" y "Y"*

Fuente: Elaboración propia.

Al comprobar los fenómenos de la interacción suelo estructura en los modelos con base empotrada se observa incremento en los desplazamientos en ambas direcciones. Resultados similares que encontraron los tesisistas Mendoza y Rodas (2018) quienes señalan que existe aumento de los desplazamientos de entrepiso. Esto se debe porque se considera los coeficientes de rigidez del suelo, en consecuencia la base también se desplaza generando el aumento de los desplazamientos laterales de la estructura ante solicitaciones sísmicas

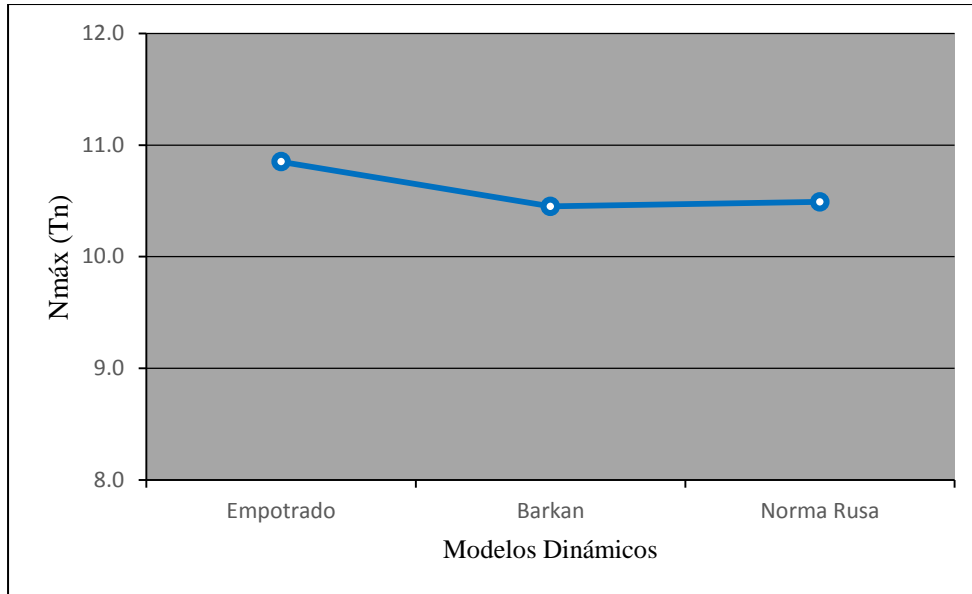


Figura 48. Fuerzas normales máximas

Fuente: Elaboración propia.

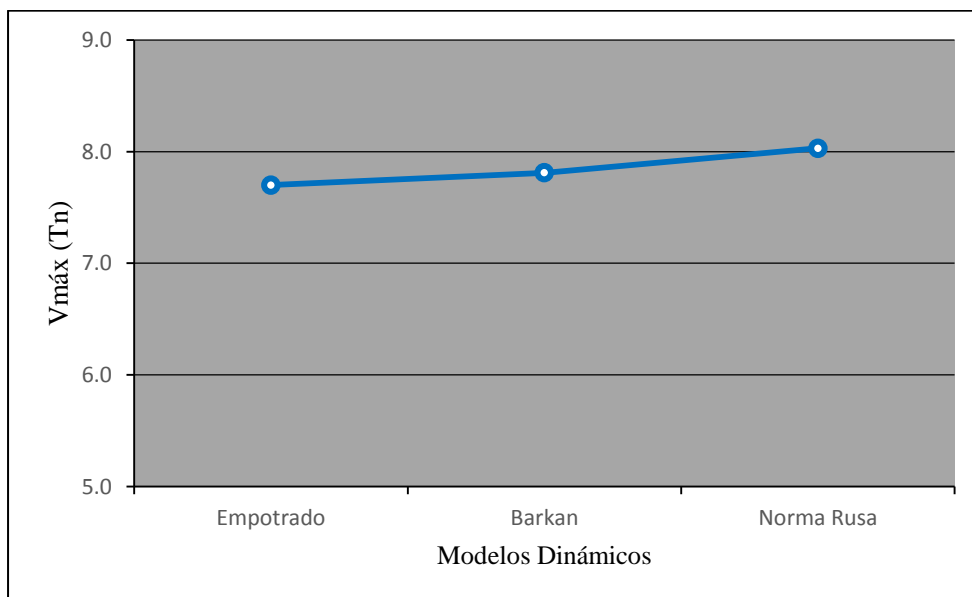


Figura 49. Fuerzas cortantes máximas

Fuente: Elaboración propia

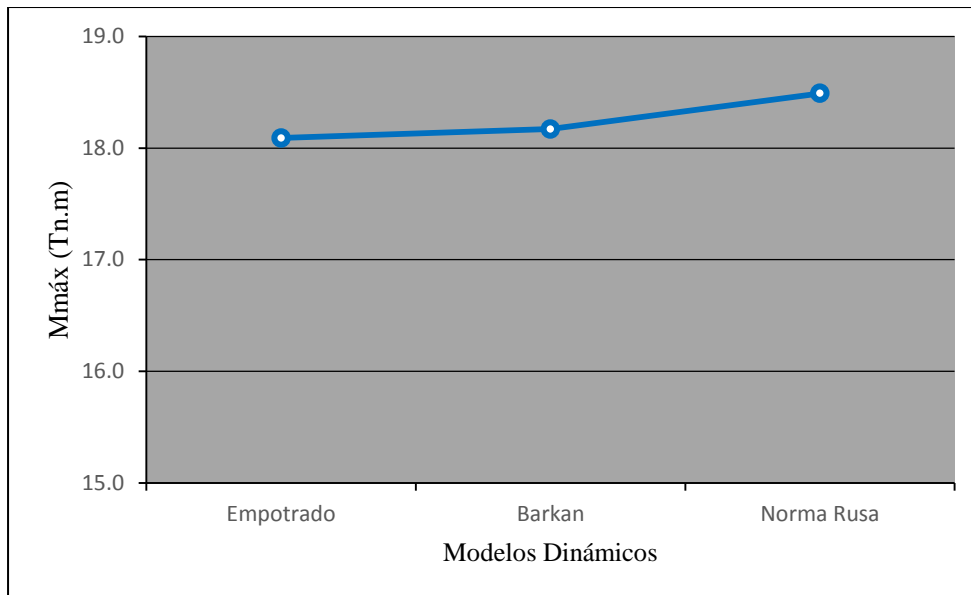


Figura 50. Momentos flectores máximos

Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó en el marco teórico, la flexibilidad de la base de fundación permite una mejor distribución de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio, sin embargo, en este estudio no se aprecia la disminución de las fuerzas internas, dado que las fuerzas axiales disminuyen mientras que las fuerzas cortantes y momentos flectores tienden a aumentar, esto sucede, ya que falta rigidizar la estructura. Sin embargo, los tesisistas Araca y Gómez (2019) encontraron que las cortantes en la base y los momentos flectores evidencian una mínima reducción debido a la flexibilidad de la base. De igual manera, León (2016) estableció que existe disminución en las fuerzas internas de la edificación analizada, enfatizando que estos efectos se producen en estructuras con mayores niveles. Se recalca que los mencionados estudios cumplen con la premisa de disminución de fuerzas internas debido que las estructuras son suficientemente rígidas.

Por tanto, como adicional se presenta una propuesta de mejora para que el diseño de la estructura sea lo suficientemente rígida es así que se incluye muros estructurales. La cual está ubicada en el Anexo N° 05.

## 4.2. Conclusiones

Se comprueba que, la mejor respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas se da al considerar la interacción suelo estructura, porque permite obtener resultados que indican el comportamiento real de la edificación frente a eventos sísmicos. Los desplazamientos aumentan, debido a que la base también se desplaza; de igual manera los periodos de vibración de la estructura se incrementan porque se considera la masa de la cimentación, sin embargo, no se cumple con la premisa de disminución en las fuerzas internas debido a que falta mejorar la rigidez de la estructura. Por lo tanto, al comparar los resultados obtenidos se indica que el mayor efecto de flexibilidad de la base de fundación se da en el modelo Norma Rusa y el menor efecto en el modelo dinámico Barkan.

Se diseñó una edificación aporticada con zapatas aisladas de cuatro pisos que cumple con los requisitos del Reglamento Nacional de Edificaciones. En lo que se refiere a las vigas son fuertes a corte, pero débiles a flexión con la finalidad de formar rotulas plásticas en los extremos de las vigas, permitiendo de esta manera que ante sismos severos la estructura sea capaz de disipar la energía liberada por los mismos y así evitar el colapso de la misma. Sin embargo, las secciones de los elementos estructurales resultado del predimensionamiento fueron insuficientes debido a la falta de rigidez, dando origen a que la estructura se desplace más, haciendo necesario un nuevo predimensionamiento de secciones o la incorporación de placas.

Se identificó que los coeficientes de rigidez están en función de las características de la estructura, entre las que destacan, el número de pisos (cuatro pisos), el tipo de material (concreto armado) y el uso de la infraestructura (oficinas), las mismas que guardan relación con el tipo de suelo, que para este estudio fue suelo intermedio perteneciente a la Zona I de acuerdo al mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo, donde predomina arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), los



mismas que determinan las características geométricas de la cimentación, resultando como mejor opción el uso de zapatas aisladas, porque al utilizar este tipo de cimentación, se amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite.

Al determinar las respuestas por piso y fuerzas internas de la estructura considerando el modelo de base empotrada y flexible, se obtuvo variaciones en los periodos de vibración de la edificación, aumento de los desplazamientos laterales de la estructura ante solicitaciones sísmicas y variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica.

Finalmente, mediante la evaluación de los resultados se concluye que al considerar la flexibilidad en el suelo de fundación produce el correcto diseño estructural de edificaciones, así como la construcción más duradera y estable, evitando graves daños en la estructura ante sismos que puedan ocurrir durante su vida útil, previniendo pérdidas humanas; enfatizando en dar mayor garantía a la filosofía de diseño sismorresistente del RNE. Sin embargo, al no considerar la interacción se produce la inapropiada determinación de los periodos de vibración, desplazamientos y redistribución de esfuerzos, por lo tanto, no se estaría garantizando la seguridad de los elementos estructurales ni la de sus ocupantes.

#### **4.3. Recomendaciones**

Se recomienda determinar el coeficiente  $C_0$  del modelo de D. D. Barkan – O. A. Savinov mediante Estudio de Mecánica de Suelos, para trabajar con valores más exactos de acuerdo a las características del suelo de cimentación y los valores expuestos en la **Tabla 3** usarlos solo como comprobación.

El Estado Peruano debería incorporar el análisis del fenómeno de la interacción suelo–estructura en la Norma E030 de Diseño Sismo-Resistente porque en la actualidad ha tomado mucha importancia, tal es así que se ha implementado consideraciones de diseño sismo

resistentes en normativas de países de América Latina, como es el caso de Colombia, Bolivia y Venezuela en donde su normativa sismorresistente dispone un capítulo dedicado a la interacción suelo – estructura.

Se recomienda a los Ingenieros Estructuralista el uso y la aplicación de los modelos dinámicos Barkan y Norma Rusa puesto que se adaptan a la realidad de nuestro país.

A los Ingenieros Geotécnicos se recomienda desarrollar un conocimiento a profundidad sobre la interacción suelo estructura porque son la fuente principal de información que proporciona la exactitud de la predicción de los cálculos en el diseño de una estructura, puesto que toda obra descansa sobre el terreno.

Se recomienda a las empresas constructoras desarrollar estudios sobre esta importante área de investigación para evitar proyectos costosos optimizando la estructura sin dejar de lado la seguridad.

A los futuros tesisistas se recomienda realizar un análisis más profundo y detallado considerando los diferentes tipos de suelos, tipos de cimentación y sistemas estructurales. Así como también elaborar un análisis de costos al aplicar el efecto de interacción suelo – estructura en edificaciones incorporando otros modelos dinámicos como A.E Sargsian o NG. Shariya.

## REFERENCIAS

- Abanto, F. (2012). *Análisis y diseño de edificaciones de albañilería*. (1st edición). Lima - Perú: Editorial San Marcos.
- Águila, C. (2018). *Influencia de considerar el análisis dinámico por Interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de edificios de hormigón armado*. (Tesis de posgrado). Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Oruro, Bolivia.
- Alfaro, G., & Copello, R. (2017). *Comparativo de análisis estructural considerando interacción suelo - estructura (ISE) vs. empotrado, para un edificio de oficinas de 5 pisos, en la ciudad de Lima, con sistema dual, según la propuesta de norma E030-2014*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Angulo, L. (2017). *Análisis sísmico de un edificio de siete pisos con sótano utilizando interacción suelo-estructura en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
- Aquino, C. M., & Rodríguez, M. T. (2015). *Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la IE Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Araca, F. H., & Gómez, L. (2019). *Influencia de la interacción suelo - estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca, Puno, Perú.
- Avilés, J., Bojórquez, E., Reyes, A., Rodríguez, A., & Ruiz, S. (2017). Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (96), 18-38.


- Blanco (s.f). Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. (1st ed.). Lima, Imprenta Gráfica Princeliness E.I.R.L.
- Bolaños, A., & Monroy, O. (2004). *Espectro de Peligro Sísmico Uniforme*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Bolt B. (1999). *Earthquakes*. 4th. Edition. Freeman and Company.
- Chullo, J., & Quispe, D. (2017). *Análisis y diseño estructural de edificio tingo con interacción suelo – estructura en el Distrito de Sachaca en la ciudad y departamento de Arequipa con un sistema de muros estructurales*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5th ed.). Mexico: LIMUSA S.A.
- Cutimbo, W. (2016). *Ingeniería sismorresistente* (1st ed.). Moquegua - Perú: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Deméneghi, A. (sf). *Interacción estática suelo estructura en cimentaciones someras*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Galicia, W. C. & León, J. R. (2007). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Gamarra, N. (2014). *Análisis de la Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificación de Albañilería Estructural*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Garay, R. (2017). *Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 7 niveles del proyecto “Multifamiliar los Balcones del Valle” Barrio Columbo-Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Griem, W. (2018). *Geología General*. Museo Virtual, Geología.

- Ipanaqué, G. A. & Silva, G. D. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones aporticadas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- León, J. (2016). *Análisis comparativo del diseño de una edificación de hormigón armado considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo-estructura*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Luján, E. (2019). *Utilización de Métodos Experimentales y de Simulación Numérica para el estudio de la Microzonificación Sísmica del distrito de Trujillo*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Mendoza, J. E., & Rodas, H. (2015). *Análisis de interacción suelo estructura de centros educativos con zapatas corridas en la urb. Nicolás Garatea–nuevo Chimbote*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Áncash, Perú.
- Ministerio de Ambienten Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Norma Técnica Colombiana Sismorresistente.
- Moreno, L. (2017). *Efectos asociados con la interacción suelo-estructura en el diseño de edificaciones de concreto reforzado en Bucaramanga*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Ortega, J. (2015). *Diseño de estructuras de Concreto Armado* (1st ed.). Lima - Perú: Empresa Editora Macro EIRL.
- Primo, C. (2018). *Análisis comparativo del método interacción suelo-estructura y el modelo normativo en la Respuesta Estructural del Módulo de la Facultad de Ciencias Económicas de la Unheval*. (Tesis de pregrado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2018). Lima, Perú.
- Rochel, R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios* (2da Edición). Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

- SEMARNAT. (s.f.). *Manual de Mecánica de Suelos*. Mexico: Gobierno Federal de México.
- Simón, A. (2011). *Estudio de la interacción suelo-estructura y vulnerabilidad sísmica de la catedral de la inmaculada concepción de la ciudad de cuenca; efecto de la incorporación del suelo de fundación en su respuesta estructural*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Instituto Geofísico del Perú. (2018). Mapa Sísmico del Perú periodo 1960- 2017. Lima, Perú.
- Tavera, H. (2008). La sismicidad en el mundo. *Revista Del Capítulo de Ingeniería Geológica*, 5(1), 25–27.
- Terzaghi, K. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería practica* (2da Edición). España: El Ateneo S.A.
- Toapanta, H. F. (2016). *Interacción sísmica entre suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitados por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Vidales, A. (2013). *Estudio de atenuación sísmica en la región centro-sur del Golfo de California Tesis*. (Tesis de posgrado). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.
- Villarreal, G. (2017). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con plateas de cimentación*. (1st ed.). Trujillo, Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.
- Villarreal, G. (2015). *Criterios estructurales y geotécnicos*. Universidad Privada del Norte – Sede Trujillo
- Villarreal, G. (2013). *Ingeniería sismo-resistente prácticas y exámenes UPC*. (1st ed.). Trujillo, Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.
- Villarreal, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. (1st ed.). Lima - Perú.

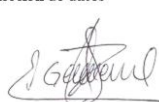
## ANEXOS

### Anexo 01: Matriz de evaluación de expertos

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
<b>Título de la investigación:</b>	Comparación de la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020			
<b>Línea de investigación:</b>	Optimización estructural			
<b>Apellidos y nombres del experto:</b>	PhD. Villarreal Castro, Genner Alvarito			
<b>El instrumento de medición de la pertenece a la variable:</b>	Dependiente			
Mediante la matriz de evaluación de expertos Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las coherencias sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	x		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	x		
6	¿En el instrumento de medición se presenta datos con la unidades adecuadas?	x		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	x		
<b>Sugerencias:</b>				
<b>Firma del experto:</b>				
				

Fuente: Elaboración propia.

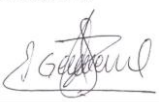
Anexo 02: Ficha de observación validada N° 1

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL ANÁLISIS EN SAP 2000 V.20 - 2020				
<b>Título de la investigación:</b>	Comparación de la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020			
<b>Apellidos y nombres del observador:</b>	Reátegui Fasabi, René	<b>Ficha N°:</b>	1	
<b>Fecha de observación:</b>	12/04/2020			
Periodo de vibración por la forma (s)				
	Periodo de vibración por la forma (s)	Empotrado	Modelo Dinámico Barkan      Norma Rusa	
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
Frecuencia angular por la forma (rad/s)				
	Frecuencia angular por la forma (rad/s)	Empotrado	Modelo Dinámico Barkan      Norma Rusa	
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
<b>Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos</b>				
 <hr style="width: 100px; margin: auto;"/>				
PhD. Villarreal Castro, Genner				

Fuente: Elaboración propia.

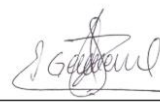


Anexo 03: Ficha de observación validada N° 2

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL ANÁLISIS EN SAP 2000 V.20 - 2020			
<b>Título de la investigación:</b>	Comparación de la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020		
<b>Apellidos y nombres del observador:</b>	Reátegui Fasabi, René	<b>Ficha N°:</b>	2
<b>Fecha de observación:</b>	12/04/2020		
<b>Deplazamiento máximo (mm) en dirección "X" y "Y"</b>			
	N	Modelo Dinámico	Deplazamiento máximo (mm) X <sub>máx</sub> Y <sub>máx</sub>
	1	Empotrado	( )      ( )
	2	Barkan	( )      ( )
	3	Norma Rusa	( )      ( )
* ( ) se indican los elementos donde surgen los valores máximos de desplazamientos laterales.			
<b>Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos</b>			
 <hr style="width: 15%; margin: auto;"/>			
PhD. Villarreal Castro, Genner			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 04: Ficha de observación validada N° 3

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL ANÁLISIS EN SAP 2000 V.20 - 2020				
<b>Título de la investigación:</b>	Comparación de la respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando y sin considerar interacción suelo estructura en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo – 2020			
<b>Apellidos y nombres del observador:</b>	Reátegui Fasabi, René	<b>Ficha N°:</b>	3	
<b>Fecha de observación:</b>	12/04/2020			
<b>Fuerzas Internas Máximas</b>				
N	Modelo Dinámico	Fuerzas Internas Máximas		
		Nmáx (Tn)	Vmáx (Tn)	Mmáx (Tn.m)
1	Empotrado	()	()	()
2	Barkan	()	()	()
3	Norma Rusa	()	()	()
* ( ) Se indican los elementos donde surgen los valores máximos de fuerzas internas.				
<b>Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos</b>				
 <hr style="width: 20%; margin: auto;"/>				
PhD. Villarreal Castro, Genner				

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 05: Propuesta de mejora

Para cumplir con las normas establecidas en el Reglamento nacional de Edificaciones se propone cambiar el sistema estructural de la edificación a Dual, de tal manera, que se logró obtener suficiente rigidez lateral en las dos direcciones del análisis. Para ello, se ha retirado las columnas y en vez de estas se han incluido placas de 1.50x1.50x0.20 en la ubicación, como se muestra en la siguiente figura.

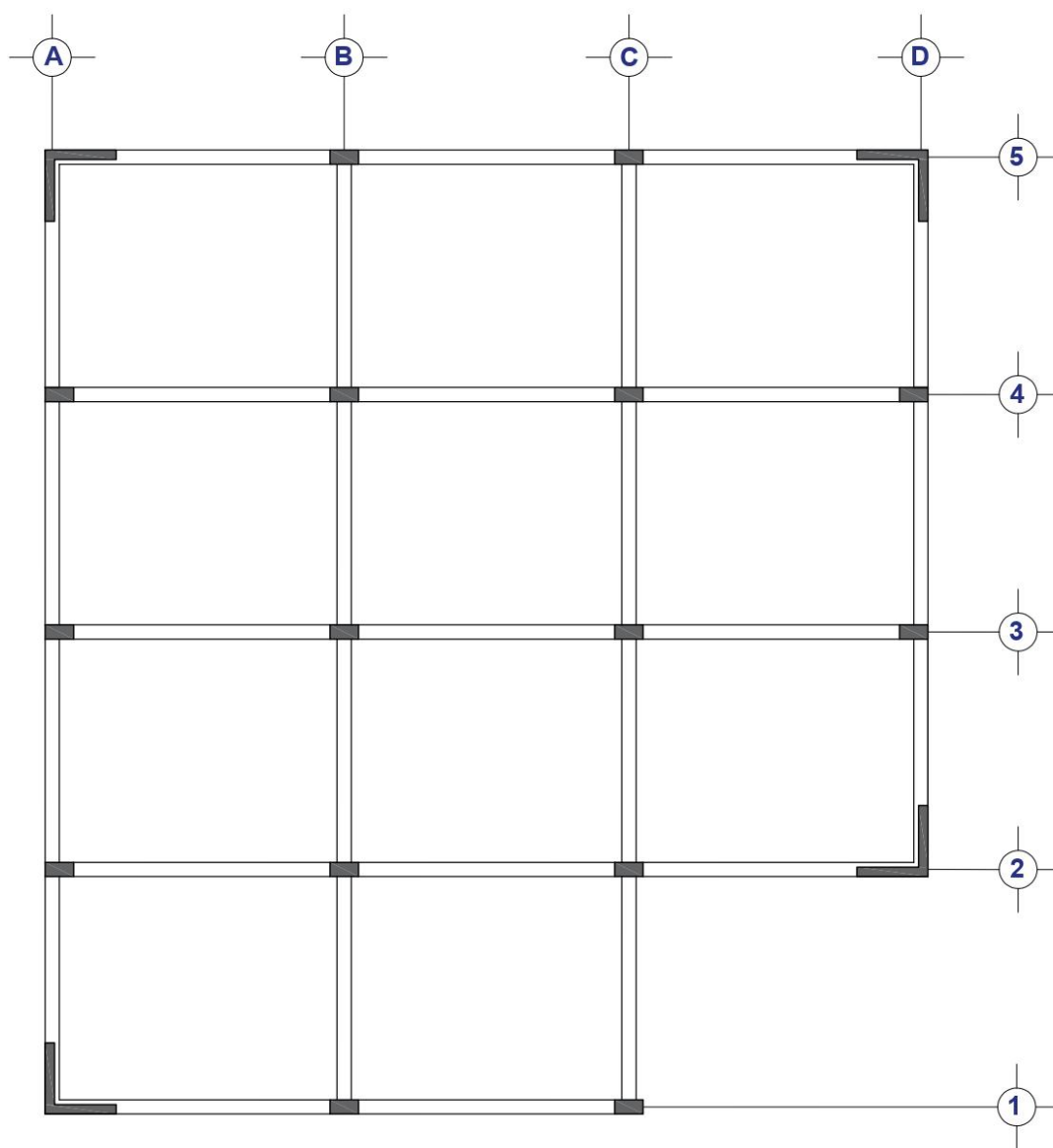


Figura 51. Propuesta de diseño

Fuente: Elaboración propia.

Para poder idealizar los muros estructurales se recurre a la teoría de los **elementos finitos**, proceso denominado **discretización de elementos**. Una partición recomendada es dividir los muros en elementos 4x6 en cada sentido.

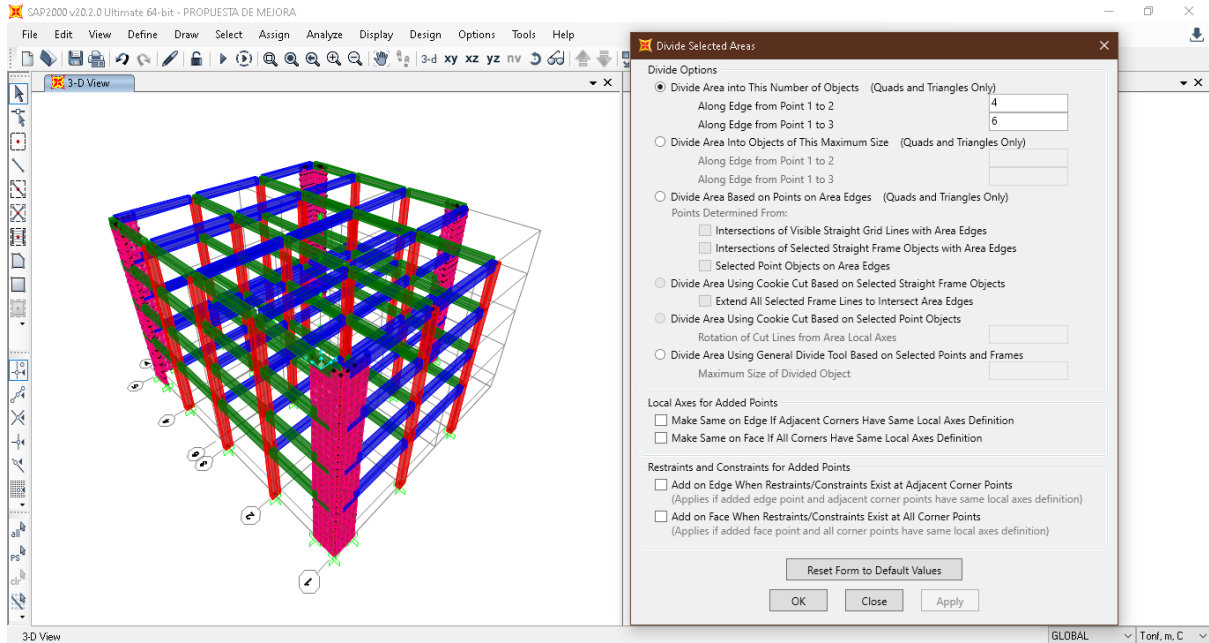


Figura 52. Discretización de placas

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se seleccionó las bases de las placas, considerando que el siguiente paso, sea colocar las restricciones en los apoyos.

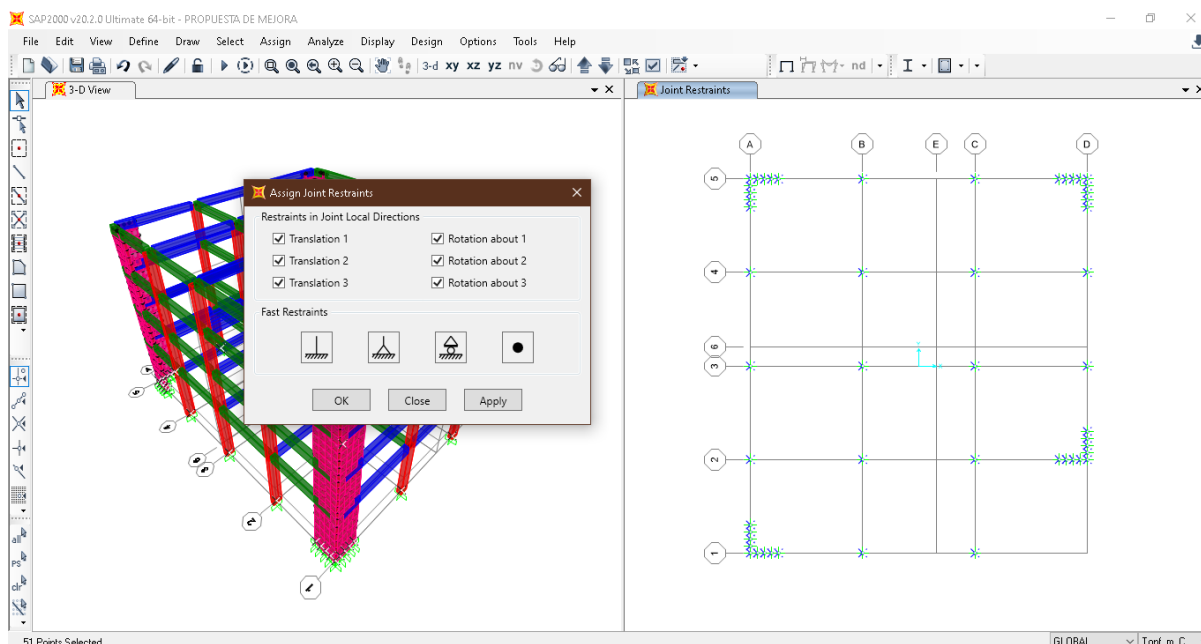


Figura 53. Restricción en las bases de las placas

Fuente: Elaboración propia.

Es así que en el modelamiento se tiene nuevas masas e inercia rotacional en los entrepisos.

Tabla 46. Peso total de la edificación con placas

Piso	Carga Muerta (CM)	Carga Viva (CV)	CM+25%CV
4	182.99	29.47	190.36
3	182.99	73.67	201.41
2	182.99	73.67	201.41
1	195.23	73.67	213.65
<b>Total (Tn)</b>			<b>806.83</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Masas traslacional y rotacionales de la edificación con placas

Piso	Masa Traslacional (Tnxs <sup>2</sup> /m)	Masa Rotacional (Tnxs <sup>2</sup> /m)
4	19.40	1144.13
3	20.53	1210.78
2	20.53	1210.78
1	21.78	1284.50

Fuente: Elaboración propia

Además, con las modificaciones realizadas se obtiene nuevas fuerzas laterales estáticas en los centros de masa.

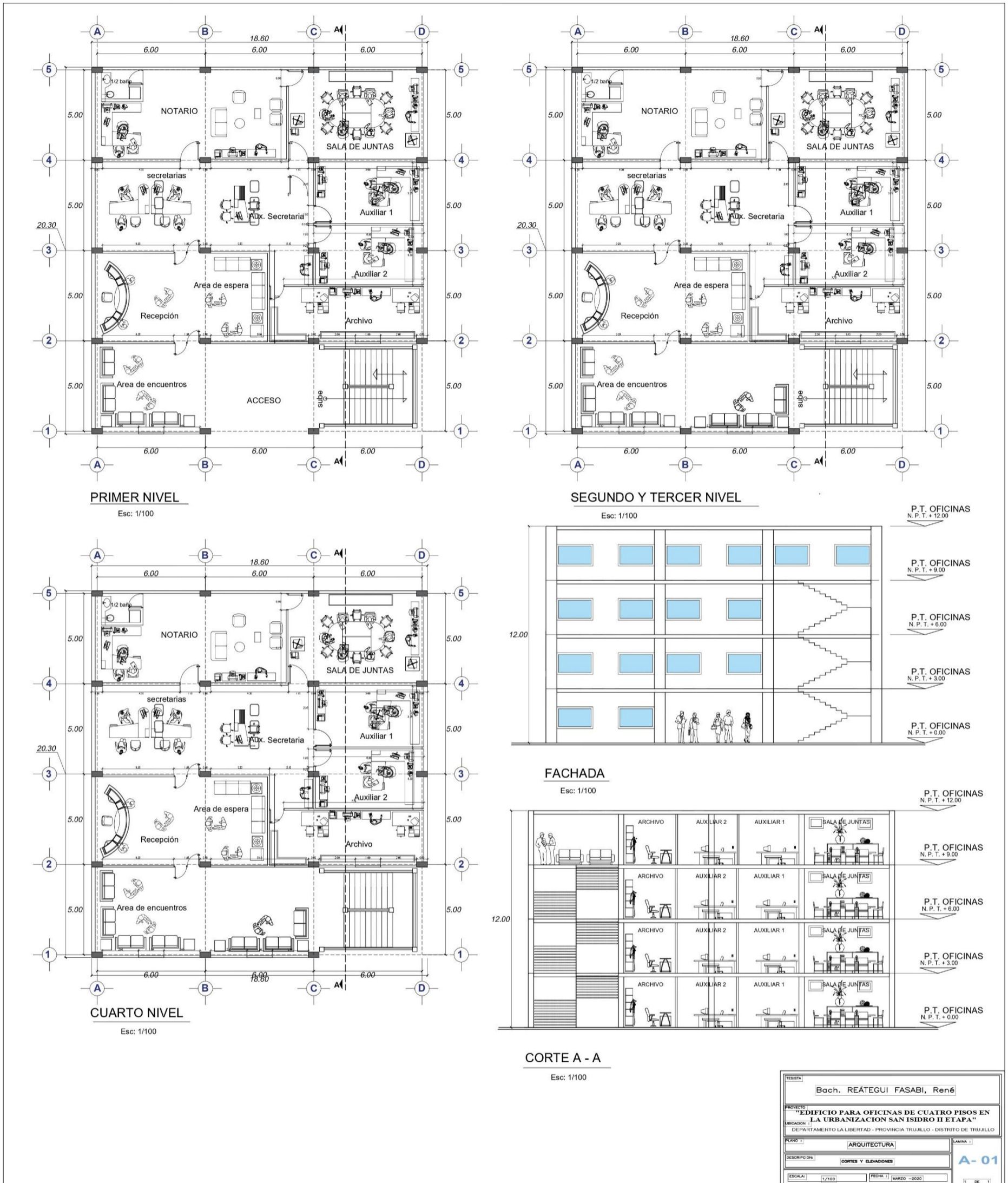
**Tabla 48.** Verificación de distorsiones de la edificación con placas

	Sismo X		Sismo Y		Cumple
	Desplazamiento (mm)	Distorsión	Desplazamiento (mm)	Distorsión	
4	32.513	0.004	47.542	0.006	Si
3	20.595	0.003	30.431	0.005	Si
2	12.436	0.002	16.73	0.003	Si
1	6.398	0.002	8.246	0.002	Si

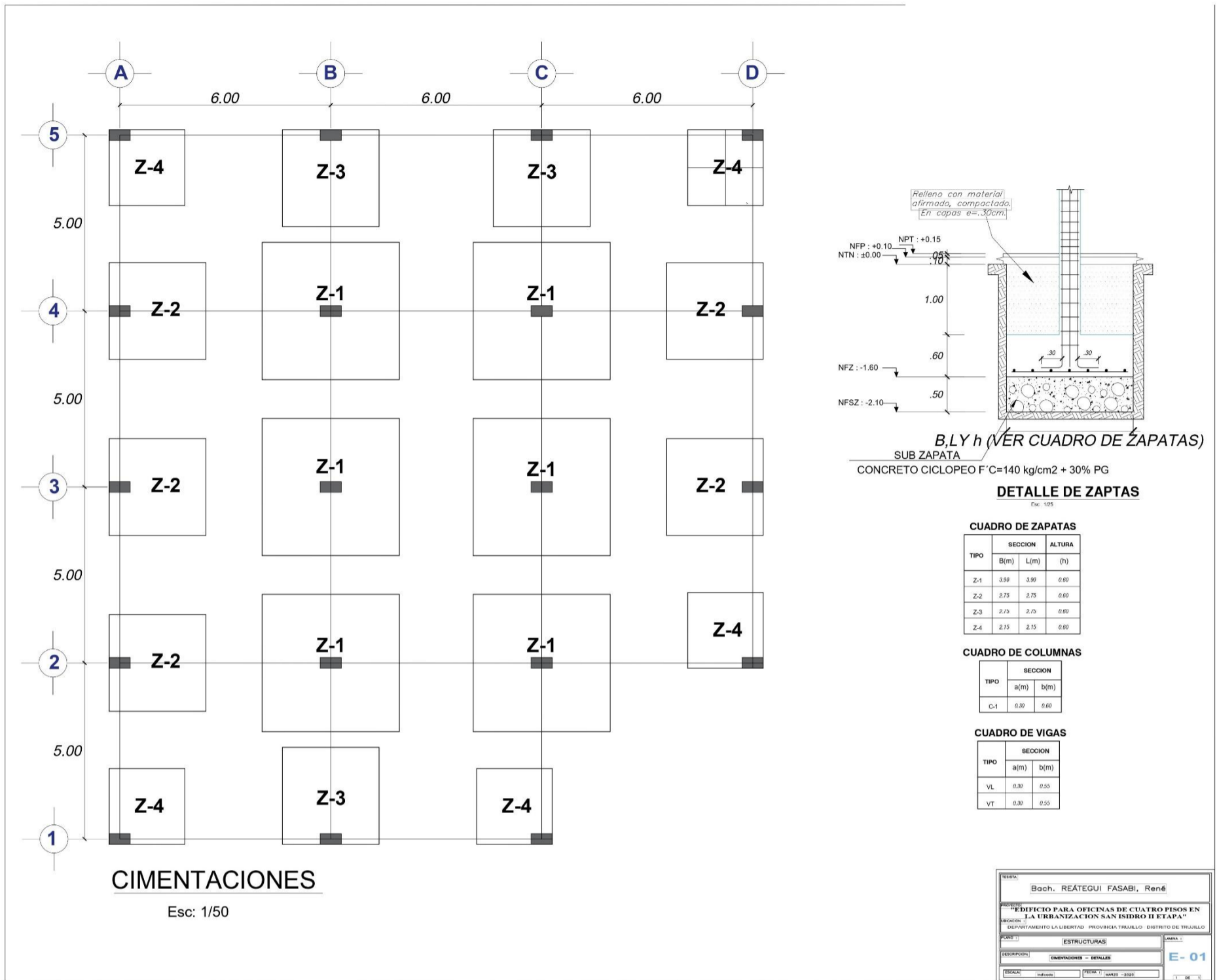
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se determinan los desplazamientos laterales y se verifica el cumplimiento de las distorsiones en ambas direcciones, asimismo se rigidiza lo suficientemente la estructura para que los desplazamientos no generen que las distorsiones sobrepasen los límites permitidos al considerar la interacción suelo estructura, señalados en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Por lo tanto, el cambio del sistema estructural asegura las premisas de la interacción suelo estructura que señala el aumento en los periodos de vibración, aumento de los desplazamientos laterales y la disminución en las fuerzas internas máximas de la edificación dado que el suelo ayudará a disipar una parte del sismo.

Anexo 06: Plano de arquitectura



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia