



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN EDIFICIO
CON MUROS ESTRUCTURALES APLICANDO LA
INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA
(CONDOMINIO LOS GIRASOLES – COMAS – LIMA)**

PRESENTADA POR

LUIS ENRIQUE ECHE VIDAL

GIOVANNI FRANCESCOL PÉREZ PÉREZ

ASESOR

JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada
CC BY-NC-ND**

Los autores permiten que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO
DE UN EDIFICIO CON MUROS ESTRUCTURALES
APLICANDO LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA
(CONDOMINIO LOS GIRASOLES – COMAS – LIMA)**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**ECHÉ VIDAL, LUIS ENRIQUE
PÉREZ PÉREZ, GIOVANNI FRANCESCO LI**

LIMA - PERÚ

2018

Dedicatoria

A Dios y a mis padres, por estar presentes en cada momento de mi vida, apoyándome y guiándome para ser un profesional de bien.

Luis Eche

Dedicatoria

Primero a Dios por darnos la vida y su incondicional amor. A mis padres y familiares por el inmenso amor y apoyo que me han brindado para poder cumplir mis metas, y por estar siempre presentes en los momentos difíciles.

Giovanni Pérez

Agradecimientos

A la Universidad de San Martín de Porres por brindarnos los conocimientos y la oportunidad de cumplir nuestras metas, a nuestros profesores, el Ing. Juan Manuel Oblitas Santa María, el Ing. Alexis Samohod Romero, como también a todos los ingenieros que amablemente nos brindaron un poco de su tiempo, orientándonos en la presente tesis, así como también a nuestras familias por el apoyo constante.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción de la realidad problemática	1
1.3. Formulación del problema	2
1.4. Objetivos	3
1.5. Justificación	4
1.6. Limitaciones	5
1.7. Viabilidad	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.2. Bases teóricas	10
2.3. Definición de términos básicos	23
CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	
3.1. Hipótesis	26
3.2. Variables	27

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	29
CAPÍTULO V. DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL PROYECTO	
5.1. Descripción del proyecto	32
5.2. Consideraciones de cargas	33
5.3. Materiales	33
5.4. Metrado de cargas	34
5.5. Modelamiento de la estructura	36
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS SÍSMICO	
6.1. Análisis sísmico estático	41
6.2. Análisis dinámico modal – espectral	47
6.3. Evaluación de irregularidades	51
6.4. Resultados del análisis dinámico	58
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DINÁMICO CON INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA	
7.1. Consideraciones para el diseño	65
7.2. Cálculo de las masas en la platea	66
7.3. Cálculo de los coeficientes de rigidez	67
7.4. Asignación en el programa ETABS	76
CAPÍTULO VIII. COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
8.1. Comparación de periodos	78
8.2. Comparación de los desplazamientos	80
8.3. Comparación de las distorsiones	84
8.4. Comparación de fuerzas cortantes	91
8.5. Comparación de momentos	92
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
FUENTES DE INFORMACIÓN	97
ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Sismos importantes en el Perú	2
Tabla 2. Coeficiente C_o determinado a través de ensayos experimentales	16
Tabla 3. Coeficientes dependientes de los lados de la platea	23
Tabla 4. Matriz de operacionalización de las variables	27
Tabla 5. Consideraciones para carga muerta	33
Tabla 6. Consideraciones para carga viva	33
Tabla 7. Metrado de cargas del piso 1	34
Tabla 8. Metrado de cargas del piso 2 al 15	34
Tabla 9. Metrado de cargas del piso 16	35
Tabla 10. Factor de zona	42
Tabla 11. Categoría de la edificación	43
Tabla 12. Factor de suelo de la edificación	43
Tabla 13. Tabla de periodos T_P Y T_L	44
Tabla 14. Coeficiente de reducción sísmica de la edificación	45
Tabla 15. Datos de carga muerta y viva	46
Tabla 16. Distribución de fuerzas y cortantes	47
Tabla 17. Espectro para el análisis dinámico	49
Tabla 18. Verificación de la irregularidad de rigidez sismo "X"	51
Tabla 19. Verificación de la irregularidad de rigidez sismo "Y"	52
Tabla 20. Verificación de la irregularidad de masa	53
Tabla 21. Verificación de la irregularidad torsional sismo "X"	54
Tabla 22. Verificación de la irregularidad torsional sismo "Y"	54

Tabla 23. Verificación de la irregularidad torsional sismo "X"	55
Tabla 24. Verificación de la irregularidad torsional sismo "Y"	56
Tabla 25. Periodos y frecuencias del análisis dinámico	58
Tabla 26. Masa participativa en los modos de vibración	59
Tabla 27. Desplazamientos laterales máximos	61
Tabla 28. Distorsión en "X"	62
Tabla 29. Distorsión en "Y"	63
Tabla 30. Cortante basal estático y dinámico	64
Tabla 31. Masas de la platea	66
Tabla 32. Resumen coeficientes de rigidez	76
Tabla 33. Resumen coeficiente de amortiguamiento	76
Tabla 34. Comparación de periodos de los diferentes métodos	78
Tabla 35. Desplazamientos modelo de Barkan	80
Tabla 36. Desplazamientos modelo de Norma Rusa	81
Tabla 37. Desplazamientos modelo de Sargsian	81
Tabla 38. Desplazamientos modelo de Shariya	82
Tabla 39. Distorsiones en "X" modelo de Barkan	84
Tabla 40. Distorsiones en "Y" modelo de Barkan	85
Tabla 41. Distorsiones en "X" modelo de Norma Rusa	86
Tabla 42. Distorsiones en "Y" modelo de Norma Rusa	86
Tabla 43. Distorsiones en "X" modelo de Sargsian	87
Tabla 44. Distorsiones en "Y" modelo de Sargsian	88
Tabla 45. Distorsiones en "X" modelo de Shariya	88
Tabla 46. Distorsiones en "Y" modelo de Shariya	89
Tabla 47. Comparación de los cortantes modelos dinámicos	91
Tabla 48. Comparación de los momentos modelos dinámicos	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema físico de la interacción suelo – estructura	11
Figura 2. Propiedades del concreto	36
Figura 3. Espesores de muros	37
Figura 4, Espesor de losas macizas	37
Figura 5. Modelo del edificio en 3D	38
Figura 6. Empotramiento en la base	38
Figura 7. Asignación de diafragmas rígidos	39
Figura 8. Estados de carga muerta y carga viva	39
Figura 9. Asignación de las masas automáticas	40
Figura 10. Asignación de los modos de vibración	48
Figura 11. Espectro	50
Figura 12. Casos de análisis dinámico	50
Figura 13. Límites de distorsión de entrepiso	55
Figura 14. Verificación de la irregularidad esquina entrante	56
Figura 15. Primer modo traslación en X	60
Figura 16. Segundo modo traslación en Y	60
Figura 17. Tercer modo rotación en Z	61
Figura 18. Desplazamientos máximos	62
Figura 19. Asignación del resorte en la platea	76
Figura 20. Asignación de masas	77
Figura 21. Asignación de los coeficientes de rigidez	77
Figura 22. Comparación de los periodos con los diferentes modelos	79

Figura 23. Comparación de desplazamientos en "X"	83
Figura 24. Comparación de desplazamientos en "Y"	83
Figura 25. Comparación de distorsiones en "X"	90
Figura 26. Comparación de distorsiones en "Y"	90
Figura 27. Comparación de las cortantes en "X"	91
Figura 28. Comparación de las cortantes en "Y"	92
Figura 29. Comparación de los momentos en "X"	93
Figura 30. Comparación de los momentos en "Y"	93

RESUMEN

La tesis “Análisis del comportamiento sísmico de un edificio con muros estructurales aplicando la interacción suelo – estructura del Condominio Los Girasoles en Comas – Lima”, es desarrollada con el propósito de determinar la influencia de esta interacción en el comportamiento sísmico. El edificio es de concreto armado con sistema de muros estructurales, la estructura está conformada por 16 niveles con platea de cimentación y está ubicada en la ciudad de Lima, distrito de Comas.

Comúnmente en los análisis sísmicos de estructuras se asumen los modelos perfectamente empotrados a un medio rígido. Esta hipótesis constituye una adecuada representación siempre que la estructura se haya fundado sobre un macizo rocoso, en el resto de los casos, está muy distante del comportamiento real. En la presente tesis se trata de analizar y evaluar los efectos de la interacción suelo – estructura, para ello, con ayuda del programa ETABS 2016 se analizó el estado actual de edificación de acuerdo con los planos estructurales, y se verificó que cumpla con lo establecido en la Norma Técnica E.030 - 2016 de diseño sismorresistente. Luego se analizó la estructura, considerando la flexibilidad del suelo aplicando los modelos dinámicos de D.D. Barkan – O.A. Savinov, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, A.E. Sargsian y N.G. Shariya.

Palabras Claves: Comportamiento sísmico, muros estructurales, interacción suelo – estructura.

ABSTRACT

The thesis "Analysis of the seismic behavior of a building with structural walls applying the soil - structure interaction of Los Girasoles Condominium in Comas - Lima" is developed with the purpose of determining the influence of this interaction on the seismic behavior. The building is made of reinforced concrete with a system of structural walls; the structure is made up of 16 levels with foundation slabs and it is located in the city of Lima, district of Comas.

Commonly in the seismic analysis of structures are assumed perfectly embedded models to a rigid mean. This hypothesis constitutes a suitable representation whenever the structure has been based on a rock mass; in the rest of the cases, it is very distant from the real behavior. This thesis is to analyze and evaluate the effects of the soil - structure interaction, to do this, with the help of the ETABS 2016 program, the current state of construction was analyzed in accordance with the structural plans, and it was verified that it complies with the provisions of Technical Standard E.030 - 2016 of earthquake-resistant design. Then the structure was analyzed, considering the flexibility of the soil by applying the dynamic models of D.D. Barkan - O.A. Savinov, Russian Standard SNIP 2.02.05-87, A.E. Sargsian and N.G. Shariya.

Key Words: Seismic behavior, structural walls, soil - structure interaction.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la interacción suelo – estructura es un tema al cual se le está dando una mayor importancia, debido a que es imposible aislar por completo al suelo de la estructura para el análisis sísmico y, por lo tanto, el considerar tal efecto permite obtener una respuesta más acorde a la realidad.

La presente tesis analiza una edificación de 16 pisos con sistema de muros estructurales y platea de cimentación con el objetivo de determinar la influencia que trae consigo el considerar el efecto de la interacción suelo – estructura.

La principal razón para desarrollar el tema se debe a que en la actualidad aún no se incorpora este análisis en el Reglamento Nacional de Edificaciones, pues este modifica la respuesta estructural donde se analiza con masas, rigidez y amortiguamiento que considera la flexibilidad de la base de fundación. Existen numerosos modelos de interacción suelo – estructura, países como Estados Unidos, Rusia, Japón, entre otros, ya contemplan dentro de su norma la aplicación de tal efecto; sin embargo, el Perú presenta una cultura sísmica muy pobre, siendo necesario mejorar las normas al respecto.

En el capítulo I, se desarrolla el planteamiento del problema, es decir, los antecedentes, la formulación nominal del problema, los objetivos, la

justificación e importancia, alcances, limitaciones y viabilidad del proyecto de investigación empleado.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, es decir, los antecedentes de investigación, bases teóricas y el marco conceptual.

En el capítulo III, se definen las hipótesis y las variables, es decir, lo que se espera obtener, así como también los indicadores y unidades de medición.

En el capítulo IV, se realiza la metodología, es decir, el tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de la investigación y caso de la investigación.

En el capítulo V, se presenta la descripción y las consideraciones del proyecto; se indican las características del proyecto, de los materiales y cargas necesarias para el análisis.

En el capítulo VI, se desarrolla el análisis sísmico estático y dinámico, se evalúa el estado actual de la estructura.

En el capítulo VII, se realiza el análisis dinámico considerando el efecto de la interacción suelo – estructura, se efectúa el cálculo de los métodos y se muestran los resultados de cada uno de ellos.

En el capítulo VIII, se hace un comparativo con los resultados obtenidos de cada método. Finalmente, se muestran las conclusiones y las recomendaciones de este proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Durante los últimos años el tema de la interacción suelo – estructura viene siendo tomado con mayor fuerza, y aunque existen diversos científicos que lo han analizado y estudiado, se sigue considerando un tema abierto a la investigación ya que la información como la necesidad de investigación siguen siendo muy limitadas.

La inclusión de la interacción suelo – estructura en un análisis estructural, conlleva a incorporar las propiedades elásticas del suelo, lo que implica que el suelo no es infinitamente rígido, como se considera en el sistema de base rígida, sino que tiene cierto grado de amortiguamiento que le permite absorber cierta parte de la energía liberada ante un evento sísmico. Esto va a provocar que los elementos estructurales que conforman la superestructura soporten menos fuerzas internas en comparación con las que se obtienen del cálculo del sistema de base rígida.

1.2. Descripción de la realidad problemática

El Perú es un país altamente sísmico, para los análisis sísmicos de las edificaciones en todos los casos se asume que la superestructura está empotrada en la base, sin tener en cuenta que el suelo de fundación tiene propiedades elásticas, por lo tanto, el empotrar en la base

no es la idealización más adecuada ya que ningún edificio puede separarse del suelo de fundación, por lo cual este no debe considerarse como un valor o cantidad, sino incorporarse en un análisis integral con la edificación.

El Perú se encuentra en una zona de alto potencial sísmico, esto sumado al gran incremento de las construcciones informales en su territorio, trae como consecuencia que la seguridad estructural tome un valor importante en el desarrollo nacional.

Solo en Lima, se alberga a 9 millones 320 mil habitantes; además, arrastra un silencio sísmico desde 1746, lo que significa que tiene energía acumulada y que en algún momento podría generarse un movimiento telúrico de magnitud importante. Parte de aquí la importancia de contar con una metodología de cálculo sísmico como la de interacción suelo - estructura que garantice la seguridad en zonas sísmicas y en que alguna medida contribuya a la reducción de costos.

Tabla 1. Sismos importantes en el Perú

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1974	Arequipa 2001	Pisco 2007
Magnitud Ms	8,1	8,2	7,9	8,2	7,9
Intensidad Máxima (MM)	X-XI	XI	VIII - IX	VIII	VII
Altura de la ola Tsunami (m)	15-20	20	1,6	-	-

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

1.3. Formulación del problema

La problemática en la presente tesis está dividida en dos partes, problema general y problemas secundarios.

a) Problema general

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales?

b) Problemas secundarios

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales?

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales?

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales?

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales?

¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales?

1.4. Objetivos

El objetivo en la presente tesis se divide en dos partes, objetivo general y objetivos secundarios

a) Objetivos generales

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales.

b) Objetivos secundarios

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales.

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales.

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales.

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales.

Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales.

1.5. Justificación

La mayor parte de la población en el Perú no cuenta con una vivienda segura, puesto que el mercado de vivienda popular, y en general el rubro de la construcción, durante años ha sido atendido, principalmente por el sector informal, esto conlleva a la incógnita de qué tan segura está la población en sus viviendas, teniendo en cuenta que en la actualidad las edificaciones multifamiliares son con sistema de muros estructurales, los que son solo una masificación cuya resistencia está a prueba en la actualidad. Por ese motivo, cobra importancia el análisis del efecto de la interacción suelo – estructura, ya con los resultados se conocerá el comportamiento de la edificación más acorde con la realidad.

Por lo antes mencionado, el presente trabajo se centra en la aplicación de la interacción suelo – estructura a una edificación con muros estructurales sobre platea de cimentación, con la finalidad de investigar el comportamiento de la estructura juntamente con el suelo de fundación y los parámetros que intervienen en dicha interacción ante un evento sísmico.

El artículo 4.7.2 de la norma E.030 - 2016 de diseño sismorresistente solo contempla que de ser pertinente se puede considerar la flexibilidad del suelo, mas no indica los procedimientos para el análisis. Por ello se considera la importancia de aplicar los modelos dinámicos más representativos respecto al tema y comparar los resultados.

La falta de investigaciones aplicativas respecto al tema conduce a que, en la mayoría de los casos, se analice por el modelo convencional. Debido a que al considerar la interacción suelo – estructura se ven reducidos los esfuerzos por lo que su no aplicación conlleva a un proyecto menos conservador.

La interacción suelo – estructura sigue siendo un tema abierto a la investigación, debido a la gran cantidad de variables que se pueden tomar respecto a los parámetros del suelo o al movimiento de la acción sísmica, lo cual se ve reflejado en los modelos de los distintos autores en donde cada uno de ellos tiene su propio modo de calcular los coeficientes de rigidez.

1.6. Limitaciones

Son limitaciones de este proyecto, la gran variedad de los sistemas estructurales, y la envergadura que actualmente se tiene, esto hará imposible la generalización de los resultados a obtener; por ende, esta investigación se enfoca en el condominio Los Girasoles – 1ra etapa – Torre 2 – con sistema de muros estructurales de 16 pisos, sobre una platea de cimentación.

Asimismo, se considera otra limitación, el escaso conocimiento de los diferentes métodos de análisis flexibles-rígidos en plateas de cimentación, por lo que se recomienda su estudio en la malla curricular de la carrera de ingeniería civil.

1.7. Viabilidad

Este proyecto es viable y oportuno debido a que da a conocer el comportamiento más acorde a la realidad de las edificaciones con sistema de muros estructurales, los cuales vienen siendo usados en grandes proyectos multifamiliares de gran altura en todo el país.

Asimismo, el proyecto se considera viable por la existencia de información importante publicada en libros, tesis cuyos títulos se relacionan con el tema y artículos publicados en internet, a fin de poder estructurar los cuadros comparativos y los análisis de procedimientos en base a los antecedentes.

Por ser una investigación descriptiva y no experimental, las facilidades de recursos económicos para realizar esta tesis no significan mayor desembolso, por lo que las herramientas son programas, planos e información bibliográfica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel Nacional se realizaron las siguientes investigaciones:

- a) Villarreal, C. G. (2017). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones con plateas de cimentación. Lima, Perú.

La publicación difunde los diferentes modelos dinámicos de interacción suelo – platea – superestructura, que consideran la flexibilidad del suelo de fundación y que poseen una amplia aplicación y adaptación a los programas informáticos para el cálculo sísmico de edificaciones, muestra con claridad el efecto de la flexibilidad de la base de fundación en el análisis sísmico de la edificación, recomienda mejorar la Norma Técnica E.030 - 2016 “Diseño Sismorresistente”, incluyendo la incorporación de dicho tipo de análisis, el cual describe perfectamente el comportamiento real de la edificación ante un evento sísmico.

- b) Carhuapoma, M. & Parodi, C. (2015). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones aporticadas en el barrio de pueblo nuevo en la ciudad de Lircay (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

En esta publicación aplica la interacción suelo - estructura a una edificación de 5 pisos con sistema de pórticos en la ciudad de Lircay, utilizando 4 diferentes modelos de interacción y llegando a la conclusión que sus esfuerzos son reducidos debidos a que parte de la energía generada por el sismo es absorbida por el suelo de fundación llevando a la estructura a un mejor comportamiento. El mayor efecto de flexibilidad de la base de fundación se dio con el modelo dinámico de Sharsian y el menor efecto con el modelo dinámico de Barkan.

- c) Vega, A. & Zárate, S. (2012). Análisis y Diseño Estructural con Interacción Suelo - Estructura (ISE) Mediante una Comparación entre el Modelo Sísmico Normativo y un Modelo Integrado de un Edificio Multifamiliar de 9 Pisos del Proyecto “Condominio Parque Los Olivos”, con carácter social, con sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) en la ciudad de Lima (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Se aplica la interacción suelo – estructura a un proyecto de vivienda social con 9 pisos, llegando a las conclusiones de que los periodos y desplazamientos tienen un aumento y los esfuerzos se reducen, principalmente estos tienden a reducirse en un 25 % generando un impacto en el diseño de los muros de ductilidad limitada que conlleva a un ahorro del 2% del presupuesto de estructuras del proyecto.

- d) Cerna, M. & Espinoza, C. (2008). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Aplica la interacción sísmica suelo - estructura a una edificación de 5 pisos con muros de ductilidad limitada sobre platea de cimentación en la provincia de Cajamarca, y llegan a indicar que, si se usa el modelo espectral sin interacción, se obtienen valores mayores de esfuerzos que al analizar un modelamiento espectral con interacción. Esto evidencia, la afirmación que el suelo de fundación tiene un gran propósito en la absorción de los esfuerzos.

A nivel internacional se realizaron las siguientes investigaciones:

- a) Zúñiga, M. (2017). Revisión de la respuesta sísmica con y sin efecto de interacción suelo - estructura de un edificio a base de muros de concreto reforzado para el almacenamiento de archivos (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
Realizó un análisis en una edificación de 5 niveles y concluyó que la interacción suelo - estructura puede ayudar a economizar el diseño de estructuras de concreto reforzado, puesto que los elementos de diseño suelen ser menores cuando se toman en cuenta las características del suelo, en el caso de su proyecto, sus elementos disminuyeron alrededor de 30 %.

- b) 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.
Comparan los resultados del análisis estructural de una edificación de hormigón armado de 5 pisos con un sótano en la ciudad de Quito, considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo estructura y aplicando la normativa vigente NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Se llega a la conclusión de que los desplazamientos producto de la interacción aumentan, debido a que la base también se desplaza, así como las derivas aumentan, los periodos de vibración de la estructura también aumentan debido a que se considera la masa de la cimentación y se presenta una disminución en las fuerzas internas en la columna analizada.

- c) Borda, J. & Rodríguez, J. (2012). Análisis de los efectos de interacción sísmica suelo - estructura en una edificación de hormigón armado ubicada en Cochabamba - Bolivia. V Congreso Internacional de Ingeniería Estructural Sísmica y Puentes, Lima, Perú.

Aplican la interacción a una edificación ubicada en la intersección de la Av. Blanco Galindo con la Av. Octava, manzano 89, zona Capacachi, en la provincia Quillacollo. El edificio consta de un sistema de pórticos de Hormigón Armado compuesto por: un sótano, una planta baja y 10 pisos. Llegando entre otras a la siguiente conclusión: que la consideración de interacción suelo estructura produce una disminución de los periodos y el incremento de las frecuencias con relación al modelo matemático de fundación simplemente apoyado.

d) García, A. (2006). Interacción suelo - estructura en el análisis y diseño sísmico de estructuras de mampostería no reforzada. XV Congreso nacional de ingeniería estructural, Jalisco, México.

Realizó el análisis en una edificación de 2 pisos con un sótano de mampostería no reforzada, considerando el efecto de interacción suelo - estructura, donde se determinó que influye el comportamiento dinámico, debido a que existe un incremento en el periodo de vibración y en el amortiguamiento del sistema en comparación con el modelo de base rígida, que no considera el aporte del suelo de cimentación.

2.2. Bases teóricas

Se definió la interacción suelo – estructura como también los cuatro modelos dinámicos de interacción que se utilizarán en la presente investigación.

2.2.1. Interacción suelo – estructura

El análisis de interacción suelo – cimentación – superestructura puede ser resumida como la interacción dinámica entre el suelo y la cimentación, transfiriendo este último el movimiento al edificio, considerando este análisis como el real, que ocurre frente a un evento sísmico.

La amplificación de las vibraciones, esfuerzos dinámicos que ocurren en la base de la estructura, se determinan como resultado de la solución de los problemas de contacto dinámico. Es

por ello, por lo que la cimentación se debe analizar como un cuerpo sólido indeformable o infinitamente rígido.

En la solución a los parámetros de vibración de una estructura rígida con 6 grados de libertad, usualmente se usa el modelo dinámico de la base en forma de un semi espacio isotrópico homogéneo linealmente deformable. Para lo cual, se tiene un modelo físico de la base con los 6 desplazamientos (3 lineales en las direcciones de los ejes coordenados y 3 rotacionales alrededor de los ejes coordenados), lo cual se muestra en forma de resortes y amortiguadores en la siguiente figura 1; en este caso, el resorte caracteriza la rigidez cuasi estática de la base y el amortiguador la rigidez acústica de la base y describe la emisión de ondas planas, las cuales surgen como resultado de la interacción del cuerpo rígido con el medio elástico.

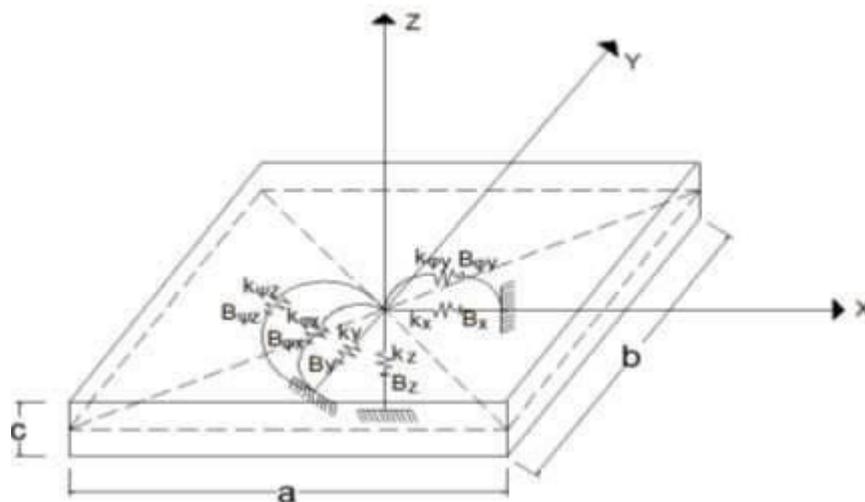


Figura 1. Esquema físico de la interacción suelo – estructura

Fuente: Libro de interacción suelo – estructura en edificaciones con plateas de cimentación (Villareal, 2017, p. 26)

Para poder considerar la flexibilidad de la base de fundación se tiene que determinar los coeficientes de rigidez de la figura 1.

K_x, K_y = Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme

K_z = Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme

$K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$ = Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme

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

Al mismo tiempo en la figura 1 se puede considerar la posibilidad de analizar el amortiguamiento, dado por las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\varphi x}$, $B_{\varphi y}$, $B_{\psi z}$

De las cuales, las vibraciones son descritas de la manera siguiente.

- Vibraciones verticales
- Vibraciones horizontales
- Vibraciones horizontales – rotacionales
- Vibraciones rotacionales alrededor del eje vertical

La cimentación tiene que ser analizada como un cuerpo absolutamente rígido, para ello se debe de asignar las siguientes características.

- Módulo de elasticidad $E_{\text{cimentación}} = 9 \cdot 10^8 \text{ Ton/m}^2$
- Coeficiente de Poisson $\mu_{\text{cimentación}} = 0.05$
- Coeficiente de expansión térmica $\alpha_{\text{cimentación}} = 1.17 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$

En el sistema dinámico suelo – estructura, la cimentación debe ser descrita como una masa puntual en el centro de gravedad de la platea.

Las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo – platea X', Y', Z', se calculan por las fórmulas 2.1 al 2.4 como una

lámina rectangular y tomando como referencia las dimensiones de la figura 1.

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{\text{plata}}}{g} = \frac{\gamma * a * b * c}{g} \quad (2.1)$$

$$M_{\varphi x'} = M_t * d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t * b^2}{12} \quad (2.2)$$

$$M_{\varphi y'} = M_t * d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t * a^2}{12} \quad (2.3)$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t(a^2 + b^2)}{12} \quad (2.4)$$

Siendo:

- $P_{\text{plata}} =$ Peso de la plata
- $\gamma =$ Peso específico del concreto, como material de la plata
- $d =$ Distancia desde el centro de gravedad de la masa de la plata hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación
- $I_{mx}, I_{my}, I_{mz} =$ Momentos de inercia de masa respecto a X, Y, Z

2.2.2. Modelo dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov

El científico ruso D. D. Barkan producto de las investigaciones en el año 1948, propuso utilizar las siguientes fórmulas:

$$K_x = K_y = C_x * A \quad (2.5)$$

$$K_z = C_z * A \quad (2.6)$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} * I_x \quad (2.7)$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} * I_y \quad (2.8)$$

Siendo:

- $C_x =$ Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

- $C_z, C_{\varphi_x}, C_{\varphi_y}$ = Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme
- A = Área de la base de la platea de cimentación
- I_x, I_y = Momento de inercia de la base de la cimentación respecto a los ejes principales X e Y, pero perpendicular al plano de vibración

Los coeficientes de desplazamiento y compresión de la base en el modelo D. D. Barkan - O. A. Savinov se determinan por las fórmulas 2.9 al 2.12.

$$C_x = D_0 * \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.9)$$

$$C_z = C_0 * \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.10)$$

$$C_{\varphi_x} = C_0 * \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.11)$$

$$C_{\varphi_y} = C_0 * \left[1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.12)$$

Siendo:

- C_0 = Coeficiente determinado a través de ensayos experimentales para $\rho_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ o por la tabla 2
- a, b = Dimensiones de la cimentación en los ejes X e Y, respectivamente
- Δ = Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$
- A = Área de la platea de cimentación
- ρ = Presión estática, que se determina por la fórmula 2.13

$$\rho = \frac{P_{\text{edificio}} + P_{\text{platea}}}{A_{\text{platea}}} \quad (2.13)$$

Siendo:

- P_{edificio} = Peso del edificio
- P_{platea} = Peso de la platea de cimentación
- A_{platea} = Área de la platea de cimentación

Para el coeficiente, se puede utilizar la dependencia empírica 2.14

$$D_0 = \frac{1-\mu}{1-0.5\mu} * C_0 \quad (2.14)$$

Siendo:

- μ = Coeficiente de Poisson del suelo

El modelo dinámico D. D. Barkan - O. A. Savinov es teórico - experimental, basado en la interacción de la cimentación con la base de fundación en forma de proceso establecido de vibraciones forzadas, como un proceso ondulatorio no estacionario.

Tabla 2. Coeficiente C_0 determinado a través de ensayos experimentales

1	Características de la base de fundación	suelo	C_0 (kg/cm ³)
S ₀	Roca dura	Roca sana con velocidad de ondas de corte $V_s > 1500$ m/s	4.0
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3.0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2.2
		Cascajo, grava arenosa densa, canto rodado, arena muy densa	2.6
S ₂	Suelos intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2.0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1.6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1.4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1.8
S ₃	Suelos blandos	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0.8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1.0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1.2
S ₄	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,75$)	0.6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0.6

Fuente: Libro de interacción suelo – estructura en edificaciones con plateas de cimentación (Villareal, 2017, p. 29)

2.2.3. Modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Los coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme K_x, K_y (T/m); compresión elástica uniforme K_z (T/m); compresión elástica no uniforme $K_{\varphi x}, K_{\varphi y}$ (T.m) y

desplazamiento elástico no uniforme $K_{\psi z}$ (T.m); se calculan por las fórmulas 2.15 al 2.19.

$$K_x = K_y = C_x * A \quad (2.15)$$

$$K_z = C_z * A \quad (2.16)$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} * I_x \quad (2.17)$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} * I_y \quad (2.18)$$

$$K_{\psi y} = C_{\psi y} * I_z \quad (2.19)$$

Siendo:

- A = Área de la platea de cimentación
- I_x, I_y = Momento de inercia de la base de la cimentación respecto a los ejes principales X e Y
- I_z = Momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia)

La principal característica elástica de la cimentación, es decir, el coeficiente de compresión elástica uniforme C_z (T/m³), se determina por medio de ensayos experimentales. En caso de que no exista dicha información se puede determinar por la fórmula 2.20.

$$C_z = b_0 * E * \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) \quad (2.20)$$

Siendo:

- b_0 = Coeficiente de corrección de unidad de medida (m⁻¹), asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1,2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas y muy densas igual a 1,5

- E = Módulo de elasticidad del suelo de fundación
- $A_{10} = 10\text{m}^2$
- A = Área de la platea de cimentación

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme C_x (T/m^3); compresión elástica no uniforme $C_{\varphi x}, C_{\varphi y}$ (T/m^3) y desplazamiento elástico no uniforme $C_{\psi z}$ (T/m^3); se determinan por las fórmulas 2.21 al 2.23.

$$C_x = 0.7 * C_z \quad (2.21)$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 * C_z \quad (2.22)$$

$$C_{\psi z} = C_z \quad (2.23)$$

En las propiedades de amortiguación de la base de la cimentación, se deben de considerar las amortiguaciones relativas β , determinadas por ensayos de laboratorio.

En el caso que no existan datos experimentales, la amortiguación relativa para las vibraciones verticales β_z se puede determinar por la fórmula 2.24.

$$\beta_z = 2 * \sqrt{\frac{E}{C_z * \rho_m}} \quad (2.24)$$

Siendo:

- E = Módulo de elasticidad del suelo de fundación
- C_z = Coeficiente de compresión elástica uniforme
- ρ_m = presión estática media en la base de la cimentación, se determina por la fórmula 2.25

$$\rho_m \leq \gamma_{ts} * R \quad (2.25)$$

Siendo:

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

Las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales respecto a sus ejes horizontal y vertical se pueden determinar por las fórmulas 2.26 al 2.28.

$$\beta_x = 0.6 * \beta_z \quad (2.26)$$

$$\beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0.5 * \beta_z \quad (2.27)$$

$$\beta_{\psi z} = 0.3 * \beta_z \quad (2.28)$$

Las características de amortiguamiento del suelo de fundación se determinan por las fórmulas 2.29 al 2.33.

$$B_x = B_y = 2\beta_x * \sqrt{K_x * M_x} \quad (2.29)$$

$$B_z = 2\beta_z * \sqrt{K_z * M_z} \quad (2.30)$$

$$B_{\varphi x} = 2\beta_{\varphi x} * \sqrt{K_{\varphi x} * M_{\varphi x}'} \quad (2.31)$$

$$B_{\varphi y} = 2\beta_{\varphi y} * \sqrt{K_{\varphi y} * M_{\varphi y}'} \quad (2.32)$$

$$B_{\psi z} = 2\beta_{\psi z} * \sqrt{K_{\psi z} * M_{\psi z}'} \quad (2.33)$$

Siendo:

- β = Amortiguación relativa
- K = Coeficientes de rigidez
- M = Masa de la platea de cimentación

2.2.4. Modelo dinámico A. E. Sargsian

El modelo dinámico A. E. Sargsian, considera al medio como inercial elástico homogéneo isotrópico, obteniendo los coeficientes de rigidez, expresados en las fórmulas 2.34 al 2.38

$$K_x = K_y = \frac{28.8 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (7 - 8\mu)} * \sqrt{A} \quad (2.34)$$

$$K_z = \frac{4 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \sqrt{A} \quad (2.35)$$

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_x}{\sqrt{A}} \quad (2.36)$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_y}{\sqrt{A}} \quad (2.37)$$

$$K_{\psi x} = \frac{4 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_z}{\sqrt{A}} \quad (2.38)$$

Las características de amortiguamiento del suelo de fundación se determinan por las fórmulas 2.39 al 2.43

$$B_x = B_y = \frac{18.24 * (1 - \mu) * \rho * C_2}{\pi * (7 - 8\mu)} * A \quad (2.39)$$

$$B_z = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * A \quad (2.40)$$

$$B_{\varphi x} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_x \quad (2.41)$$

$$B_{\varphi y} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_y \quad (2.42)$$

$$B_{\psi x} = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_z \quad (2.43)$$

Siendo:

- ρ = Densidad del suelo de fundación
- μ = Coeficiente de Poisson del suelo de fundación
- C_1 = Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación
- C_2 = Velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación
- A = Área de la platea de cimentación
- I_x, I_y = Momentos de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes X e Y
- I_z = Momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia)

De acuerdo con la concepción de semiespacio elástico, las velocidades de propagación de las ondas longitudinal y transversal se pueden calcular por las fórmulas 2.44 y 2.45

$$C_1 = \sqrt{\frac{(1-\mu)*E}{(1+\mu)(1-2\mu)*\rho}} \quad (2.44)$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{E}{2(1+\mu)*\rho}} \quad (2.45)$$

Siendo:

- E = módulo de elasticidad del suelo de fundación

2.2.5. Modelo dinámico N.G. Shariya

Basado en el contacto dinámico de modelos inerciales de interacción suelo - platea de cimentación, y en la determinación de expresiones aproximadas, se obtuvieron los coeficientes de rigidez, expresados en las fórmulas 2.46 al 2.50

$$K_x = K_y = \frac{\rho * C_2^2}{\lambda * (1-\mu)^2} * \sqrt{A} \quad (2.46)$$

$$K_z = \frac{(1-2\mu)*\rho * C_1^2}{\lambda * (1-\mu)^2} * \sqrt{A} \quad (2.47)$$

$$K_{\varphi x} = \frac{(1-2\mu)*\rho * C_1^2}{\chi * (1-\mu)^2} * \frac{I_x}{\sqrt{A}} \quad (2.48)$$

$$K_{\varphi y} = \frac{(1-2\mu)*\rho * C_1^2}{\chi * (1-\mu)^2} * \frac{I_y}{\sqrt{A}} \quad (2.49)$$

$$K_{\psi z} = \frac{(1-2\mu)*\rho * C_1^2}{\chi * (1-\mu)^2} * \frac{I_z}{\sqrt{A}} \quad (2.50)$$

Las características de amortiguamiento del suelo de fundación se determinan por las fórmulas 2.51 al 2.55.

$$B_x = B_y = \rho * C_2 * A \quad (2.51)$$

$$B_z = \rho * C_1 * A \quad (2.52)$$

$$B_{\varphi x} = \rho * C_1 * I_x \quad (2.53)$$

$$B_{\varphi y} = \rho * C_1 * I_y \quad (2.54)$$

$$K_{\psi z} = \rho * C_1 * I_z \quad (2.55)$$

Siendo:

- λ, χ = Coeficientes determinados por la tabla 3 y dependientes de los lados de la platea
- ρ = Densidad del suelo de fundación
- μ = Coeficiente de Poisson del suelo de fundación
- C_1 = Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación
- C_2 = Velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación
- A = Área de la platea de cimentación

- I_x, I_y = Momentos de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes X e Y
- I_y = Momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia)

Tabla 3. Coeficientes dependientes de los lados de la platea

Relación Lado mayor / lado menor	λ	χ
1	0.88	0.35
3	0.84	0.24
5	0.77	0.18
10	0.67	0.13

Fuente: Libro de interacción suelo – estructura en edificaciones con plateas de cimentación (Villareal, 2017, p. 34)

2.3. Definición de términos básicos

Se definieron los términos más importantes para la presente investigación.

a) Análisis sísmico espectral

Para describir el análisis sísmico aplicado en edificaciones, es importante analizar los conceptos físicos como normativos. En el modelo físico, la edificación vibra en conjunto con el suelo de fundación, es ahí donde sucede el límite entre el modelo y el medio externo, y será mayor la influencia cuando el suelo sea blando y la edificación sea rígida; en un inicio es elástico, no - lineal, luego es elastoplástico como consecuencia de la acumulación de los daños en el proceso de cambio hasta los estados límites.

El modelo de cálculo normativo no incorpora el suelo de fundación, solamente está orientado a describir el trabajo de la edificación. La base se toma como un medio externo absolutamente rígido, en la cual la cimentación está empotrada en la base; se realiza el análisis de la edificación como linealmente elástica, no se considera el cambio de los parámetros del modelo en el proceso de acumulación de daños, y se orienta al cálculo solamente de las reacciones sísmicas, por la adición de las formas de vibración libre de su modelo linealmente elástico.

Existen tres errores conceptuales en la norma de diseño sismorresistente por el método espectral, los cuales traen consigo el peligro en la aplicación de dicha norma en el análisis y diseño de edificaciones o construcciones especiales. El primero, es el uso del modelo lineal invariable desde un inicio hasta el final de la acción sísmica; el segundo, es la aplicación de la aceleración sísmica del suelo, como una medida normativa de la intensidad del sismo; la tercera, es la falta de comprobación práctica e insuficiente fundamento de los coeficientes empíricos normativos, utilizados para medir la fuerza sísmica. (Villareal, 200, p. 11)

b) Comportamiento sísmico

Las estructuras de concreto armado son las que predominan en el Perú, debido a su versatilidad y economía. Su rigidez puede ser utilizada para minimizar las deformaciones sísmicas y, por lo tanto, reducir el daño en los elementos estructurales y no estructurales; no obstante, para que estas puedan tener un comportamiento adecuado ante acciones sísmicas, es necesario que posean cierta ductilidad.

En líneas generales, el comportamiento sísmico de una edificación tiende a mejorar cuando se observan los siguientes aspectos:

- Simetría, tanto en la distribución de masas como rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.

- Resistencia adecuada frente a las cargas laterales.
- Continuidad estructural, tanto en planta como elevación.
- Ductilidad, es la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
- Deformación lateral definida.
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

c) Plateas de cimentación

Se define como una placa de concreto reforzada recostada sobre el terreno, como en los otros casos de cimentaciones superficiales, se encarga principalmente de distribuir uniformemente las cargas provenientes de la edificación al suelo. Esta losa de apoyo contiene vigas en todo el perímetro, y debajo de los muros que transmiten las cargas. Debido a que la platea de cimentación tiene una gran área de apoyo en el terreno, se recomienda su uso en suelos blandos.

También desarrollan un comportamiento bueno en suelos de poca homogeneidad, ya que en estos se podrían generar asentamientos diferenciales si es que se decide usar otro tipo de cimentación, o como recomendación general, cuando el área de contacto con cimentaciones diferentes a la platea de cimentación excede el 75% del área total del terreno, se debería analizar la posibilidad de usar la losa de cimentación.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

La hipótesis en la presente tesis está dividida en dos partes, hipótesis general e hipótesis específicas.

a) Hipótesis general

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento del comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales

b) Hipótesis específicas

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales

3.2. Variables

Las variables en la presente tesis están divididas en dos partes, variables independientes y variables dependientes.

a) Variables independientes

- Método de D.D Barkan – O.A Savinov
- Método de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87
- Método de A.E Sargsian
- Método de N.G Shariya

b) Variable dependiente

- Comportamiento sísmico de la edificación

Tabla 4. Matriz de operacionalización de las variables

Variablen	Indicadores	Medición
Independiente:		
Método de D.D. Barkan – O.A. Savinov	Coeficiente de rigidez	Kx, Ky, Kz (Ton/m) Kφx, Kφy, Kφz (Ton.m)
Método de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87	Coeficiente de amortiguamiento	Bx, By, Bz (Ton.s/m)
Método de A.E. Sargsian Método de N.G. Shariya		Bφx, Bφy, Bφz (Ton.s.m)
Dependiente:		
Comportamiento sísmico de la edificación	Análisis dinámico (interacción suelo-estructura)	Desplazamientos (m) Derivas de entresijos (Adim) Periodos (seg) Fuerzas cortantes (Ton) Momento flector (Ton x m)

Elaborado por los autores

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

Con la finalidad de cumplir los objetivos planteados es necesario tener una metodología clara y sencilla, por lo cual el proyecto se basa en las siguientes etapas:

La primera etapa está enfocada en el análisis dinámico de la edificación, considera el sistema de base rígida aplicando la Norma Técnica E.030 – 2016 “Diseño Sismorresistente”, y se realiza mediante el uso del programa ETABS 2016.

La segunda etapa corresponde al análisis dinámico de la edificación, considera el efecto de la interacción suelo – estructura con platea de cimentación, aplicando la normativa indicada y el uso del mismo programa.

En la primera y segunda etapa, se realizó un estudio del análisis dinámico modal espectral, con el cual se obtuvieron los resultados de las formas de vibración de la edificación, desplazamientos y fuerzas internas en los elementos estructurales entre el sistema de base rígida y la interacción suelo - estructura.

En la tercera etapa, se procedió al análisis comparativo de los resultados obtenidos de los desplazamientos, formas de vibración, fuerzas

internas y otros parámetros en la edificación para cada tipo de consideración.

a) Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativa porque se utilizan deducciones basadas en teoría existente y las variables son números (datos medibles).

b) Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptiva porque describe los hechos como son observados durante la investigación.

c) Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental porque aplica normas y métodos para el análisis estructural de una edificación a través de un software.

d) Caso de investigación

Para el desarrollo de la tesis se analizó una edificación con sistemas de muros estructurales de 16 pisos sobre platea de cimentación, con categoría de tipo común puesto que es destinada para viviendas ubicadas en el distrito de Comas.

e) Procesamiento de datos

La información obtenida de la investigación se presentará en cuadros y gráficos estadísticos.

f) Presupuesto

Los recursos económicos para realizar esta tesis no significan mayor desembolso, puesto que las herramientas, son programas, planos e información bibliográfica.

g) Contrastación de hipótesis

Se contrastarán en la presente tesis, la hipótesis general tanto como las hipótesis específicas.

g.1) Hipótesis general

Hipótesis Alterna (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento del comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción del comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales

g.2) Hipótesis específica

Hipótesis Alterna 1 (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula 1 (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Alterna 2 (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula 2 (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Alterna 3 (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula 3 (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Alterna 4 (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula 4 (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Alterna 5 (Ha)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales

Hipótesis Nula 5 (Ho)

La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL PROYECTO

5.1. Descripción del proyecto

El proyecto corresponde al condominio Los Girasoles - 1ra etapa - Torre 2, ubicado en el distrito de Comas, provincia de Lima.

El edificio está estructurado con el sistema de muros portantes de concreto armado, de espesor delgado y losas macizas. Los muros tienen espesores de 20 cm, 15 cm y 10 cm, que es el espesor mínimo especificado por la Norma E.060 para muros de concreto armado. Las losas son de 10 cm. de espesor, generoso para las luces que se tienen y con la intención de evitar problemas de servicio como las excesivas vibraciones o el ruido entre departamentos. Para la cimentación del edificio se utilizó platea de cimentación, realizada con una capacidad portante de 4.00 kg/m². El espesor de la platea de cimentación es de 70 cm.

El área techada consta de 459.40 m² con una altura típica de entrepiso de 2.41 m., cada piso tiene 08 departamentos, con 02 dormitorios, 01 sala – comedor, 01 servicio higiénico, 01 cocina y 01 cuarto de usos diversos.

5.2. Consideraciones de cargas

Para el cálculo se consideraron las siguientes cargas:

Tabla 5. Consideraciones para carga muerta

	Carga Muerta
Piso terminado	100kgf/m ²
Tabiquería Drywall	25kgf/m ²
Elaborado por los autores	

Tabla 6. Consideraciones para carga viva

	Carga Viva
Vivienda	200kgf/m ²
Azotea	100kgf/m ²
Elaborado por los autores	

5.3. Materiales

Acero de refuerzo

- Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero de refuerzo $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

Concreto

- Resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 15000\sqrt{f'_c}$
- Módulo de poisson $\mu = 0.2$
- Módulo de corte del concreto $G_c = E_c/2(1+\mu)$

5.4. Metrados de cargas

Con la finalidad de obtener los pesos que soporta la edificación se realizaron los metrados por pisos, que se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 7. Metrado de cargas del piso 1

Elemento	N	Peso	Uni	Área (m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Peso (ton)
Losa Maciza	1	2.400	(ton/m ³)	466.450	-	0.100	-	111.948
Muros	1	2.400	(ton/m ³)	-	19.290	0.100	2.310	10.694
	1	2.400	(ton/m ³)	-	171.499	0.150	2.310	142.618
	1	2.400	(ton/m ³)	-	80.661	0.200	2.310	89.437
PESO PROPIO								354.698
Parapetos 1 m	1	2.400	(ton/m ³)	-	37.350	0.100	1.000	8.964
	1	2.400	(ton/m ³)	-	4.200	0.150	1.000	1.512
	1	2.400	(ton/m ³)	-	19.149	0.200	1.000	9.192
Tabiquería Drywall	1	0.025	(ton/m ²)	45.972	-	-	-	1.149
Piso Terminado	1	0.100	(ton/m ²)	466.450	-	-	-	46.645
CARGA MUERTA								67.462
Vivienda		0.200	(ton/m ²)	466.450	CARGA VIVA			93.290

Elaborado por los autores

Tabla 8. Metrado de cargas del piso 2 al 15

Elemento	N°	Peso	Uni	Área (m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Peso (ton)
Losa Maciza	1	2.400	(ton/m ³)	465.553	-	0.100	-	111.733
Muros	1	2.400	(ton/m ³)	-	20.190	0.100	2.310	11.193
	1	2.400	(ton/m ³)	-	172.300	0.150	2.310	143.284
	1	2.400	(ton/m ³)	-	80.661	0.200	2.310	89.437
PESO PROPIO								355.648
Parapetos 1 m	1	2.400	(ton/m ³)	-	37.350	0.100	1.000	8.964

	1	2.400 (ton/m3)	-	4.200	0.150	1.000	1.512
	1	2.400 (ton/m3)	-	19.149	0.200	1.000	9.192
Parapetos 1.10 m	1	2.400 (ton/m3)	-	1.800	0.150	1.100	0.713
Tabiquería Drywall	1	0.025 (ton/m2)	51.054	-	-	-	1.276
Piso Terminado	1	0.100 (ton/m2)	465.553	-	-	-	46.555
				CARGA MUERTA			68.212
Vivienda		0.200 (ton/m2)	465.553	CARGA VIVA			93.111

Elaborado por los autores

Tabla 9. Metrado de cargas del piso 16

Elemento	N°	Peso	Uni	Área (m2)	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Peso (ton)
Losa Maciza	1	2.400 (ton/m3)		465.553	-	0.100	-	111.733
Muros	1	2.400 (ton/m3)		-	20.190	0.100	2.310	11.193
	1	2.400 (ton/m3)		-	172.300	0.150	2.310	143.284
	1	2.400 (ton/m3)		-	80.661	0.200	2.310	89.437
					PESO PROPIO			355.648
Parapetos 1 m	1	2.400 (ton/m3)		-	37.350	0.100	1.000	8.964
	1	2.400 (ton/m3)		-	4.200	0.150	1.000	1.512
	1	2.400 (ton/m3)		-	19.149	0.200	1.000	9.192
Parapetos 1.10 m	1	2.400 (ton/m3)		-	1.800	0.150	1.100	0.713
Tabiquería Drywall	1	0.025 (ton/m2)	51.054	-	-	-	-	1.276
Piso Terminado	1	0.100 (ton/m2)	465.553	-	-	-	-	46.555
					CARGA MUERTA			68.212
Vivienda		0.100 (ton/m2)	465.553		CARGA VIVA			46.555

Elaborado por los autores

5.5. Modelamiento de la estructura

A continuación, se describen una secuencia de pasos que se siguieron para la modelación de la edificación en el programa ETABS.

- a) Primero se eligió las unidades métricas en las que se trabajó que es el sistema internacional (SI), luego se armó las grillas según las medidas que manda los planos de estructuras del proyecto, posterior a esto se definió las características del material de concreto a utilizar en el proyecto.

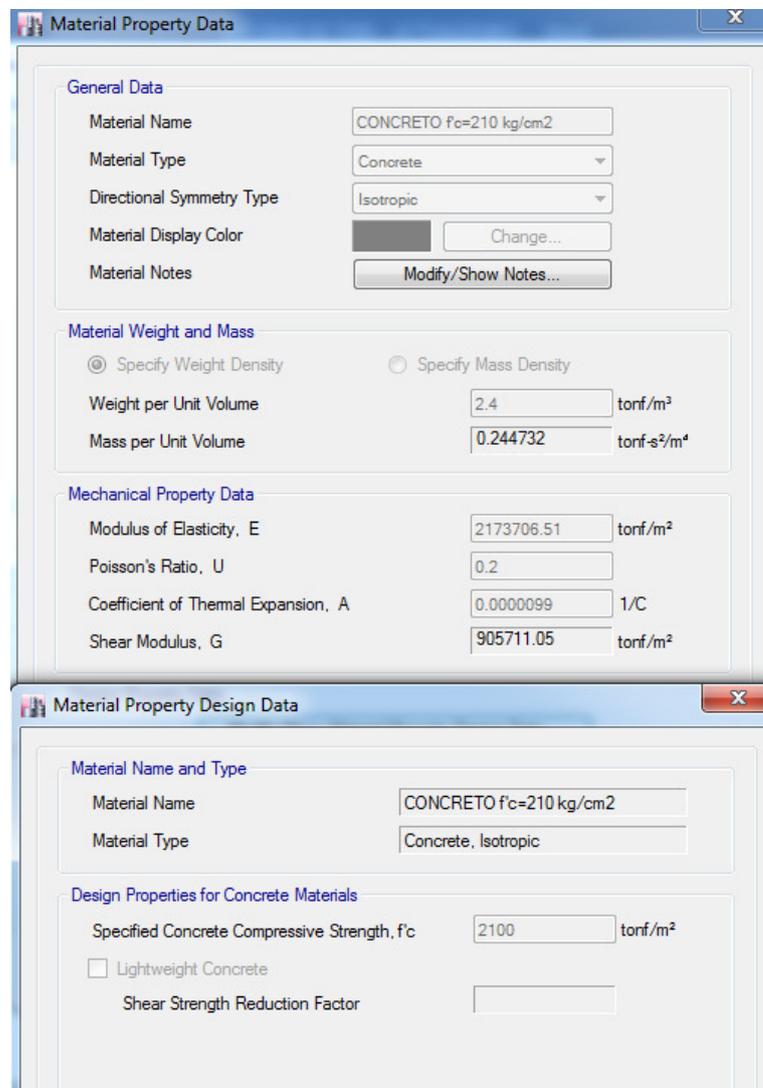


Figura 2. Propiedades del concreto

Fuente: Programa ETABS 2016

b) En segundo lugar, se definió las secciones de los elementos del proyecto como muros de concreto de 10, 15, 20 centímetros y losas macizas de espesor de 10 centímetros.

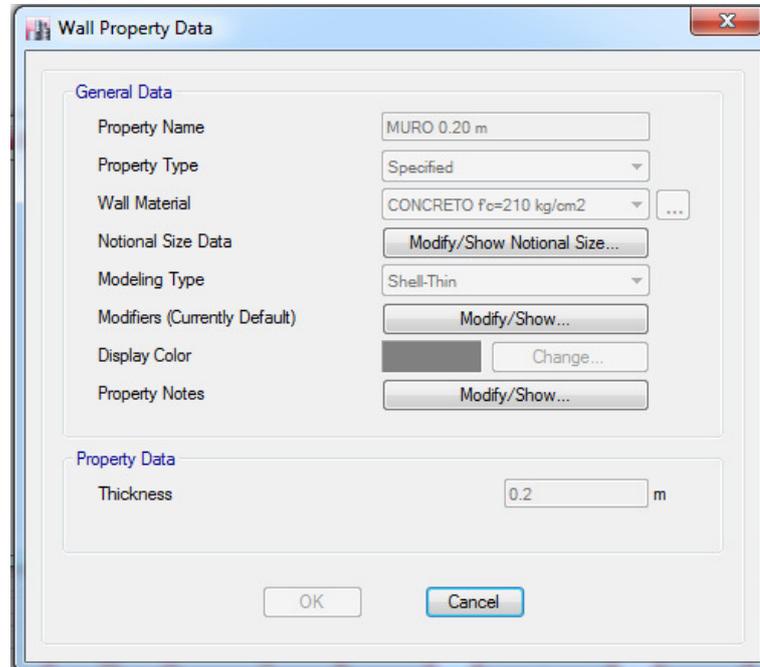


Figura 3. Espesores de muros
Fuente: Programa ETABS 2016

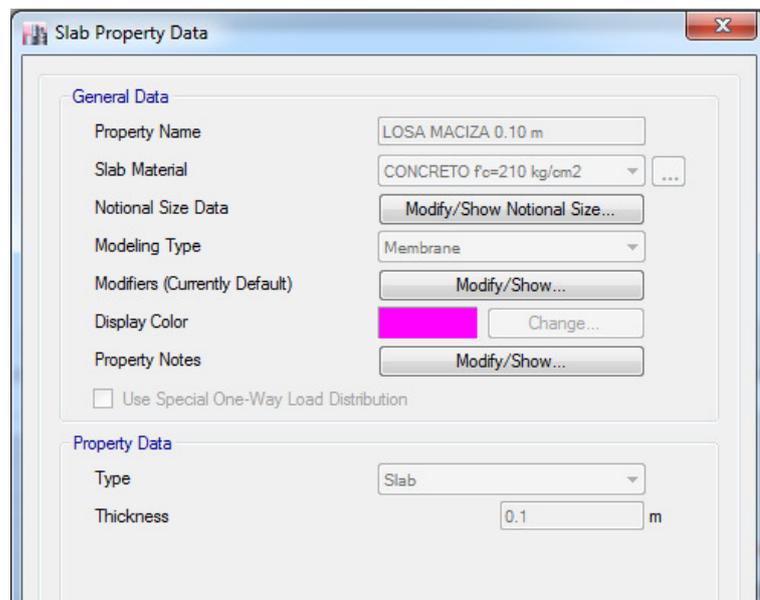


Figura 4, Espesor de losas macizas
Fuente: Programa ETABS 2016

- c) Se modeló la edificación según las medidas que indican los planos de estructuras del proyecto.

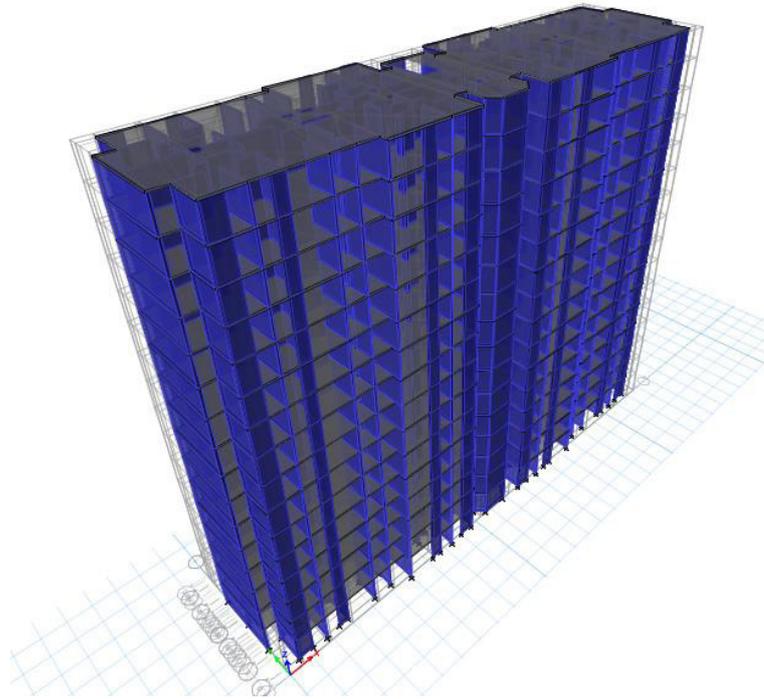


Figura 5. Modelo del edificio en 3D

Fuente: Programa ETABS 2016

- d) Se restringieron los desplazamientos en la base del edificio para poder hacer los análisis con base empotrada.

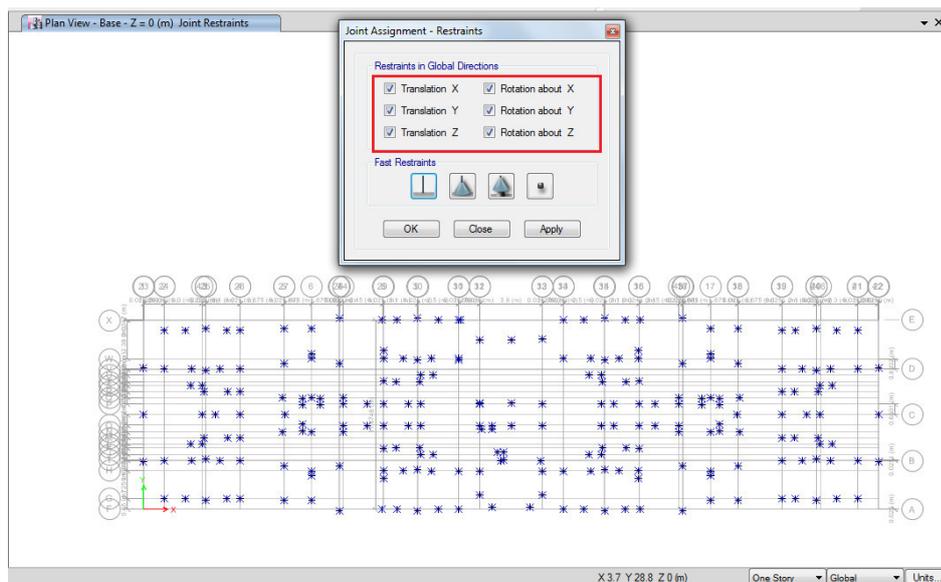


Figura 6. Empotramiento en la base

Fuente: Programa ETABS 2016

- e) Se crearon los diafragmas rígidos para cada piso y se le asigno a todos los entrepisos de la edificación.

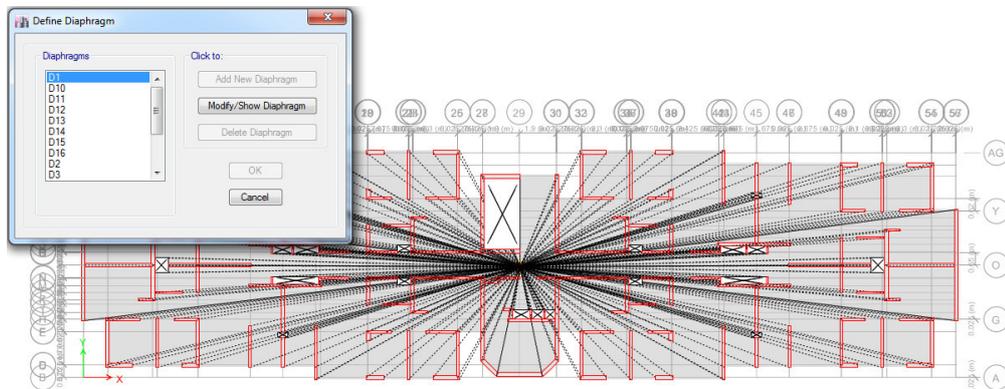


Figura 7. Asignación de diafragmas rígidos

Fuente: Programa ETABS 2016

- f) Se definió los estados de carga muerta y carga viva de la estructura para posterior asignarle su valor correspondiente.

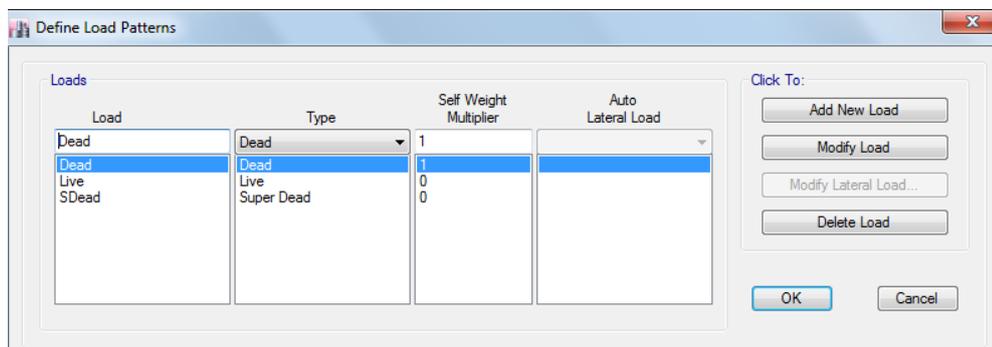


Figura 8. Estados de carga muerta y carga viva

Fuente: Programa ETABS 2016

- g) Se agregó en cada piso las cargas muertas y vivas correspondientes a la edificación y luego se le asignó las masas automáticas a la edificación para que el programa calcule su peso propio.

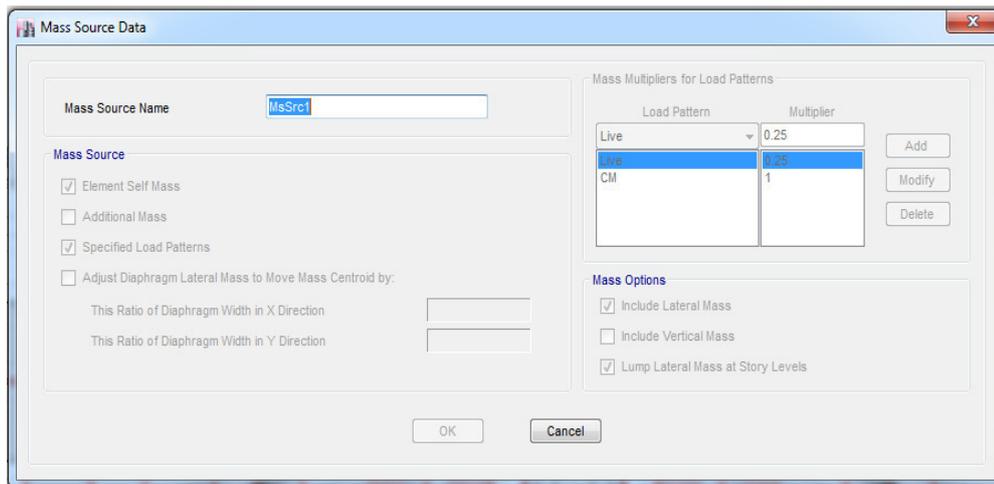


Figura 9. Asignación de las masas automáticas
Fuente. Programa ETABS 2016

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS SÍSMICO

6.1. Análisis sísmico estático

El análisis estático representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

De acuerdo con la norma técnica peruana E0.30 - 2016 “Diseño Sismorresistente”, podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares con no más de 30 m de altura, y las estructuras de muros portantes, concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares.

El artículo 4.6.4 de la norma E0.30 indica que el cortante dinámico mínimo para estructuras irregulares debe ser mayor o igual que el 90% de la cortante estática, de lo contrario, se debe escalar dicha fuerza; por lo que se procedió a calcular el cortante basal para dicho análisis.

6.1.1. Parámetros de sitio y de configuración de la estructura

La cortante estática basal se determina mediante la fórmula 6.1 que indica la norma peruana E.030 en su artículo 4.5.2.

$$V = \frac{Z*U*C*S}{R} * P \quad (6.1)$$

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

a) Factor de zona (Z)

Consideraciones de zona de la edificación:

- Región: Lima
- Provincia: Lima
- Distrito: Comas

Tabla 10. Factor de zona

Zona	Factor Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

Por estar en una zona 4 al proyecto de corresponder un factor de “Z” igual a 0.45

b) Factor de uso (U)

Tabla 11. Categoría de la edificación

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

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

El edificio está considerado para viviendas multifamiliar por lo que le corresponde una categoría tipo “C” de uso común con un factor “U” igual a 1.0

c) Factor de suelo (S)

Tabla 12. Factor de suelo de la edificación

Factor de suelo				
Zona	Suelo			
	S₀	S₁	S₂	S₃
Z4	0.8	1.0	1.05	1.10
Z3	0.8	1.0	1.15	1.20
Z2	0.8	1.0	1.20	1.40
Z1	0.8	1.0	1.60	2.00

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

Si la edificación se encuentra en la zona 4 y tiene un suelo tipo S1 entonces le corresponde un factor de suelo “S” igual a 1.0

d) Factor de amplificación sísmica (C)

El coeficiente se calcula mediante tres estimaciones

$$T < T_P \quad C = 2.5 \quad (6.2)$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right) \quad (6.3)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right) \quad (6.4)$$

Si el proyecto tiene un perfil de suelo S1 entonces:

Tabla 13. Tabla de periodos T_P Y T_L

Periodos T_P Y T_L				
	Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

- T_P : Periodo fundamental del suelo = 0.4 seg
- T_L : Periodo límite de comportamiento inelástico = 2.5 seg

Luego:

- T: Periodo de vibración de la estructura

$$T = \frac{h_n}{C_t} \quad (6.5)$$

- h_n = Altura total de la edificación = 38,56 m
- C_t = 60 (para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada).

$$T_X = T_Y = \frac{38.56}{60} = 0.64 \text{ seg}$$

Como:

$$T_P = 0.4 < 0.64 < T_L = 2.5$$

$$\therefore C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right) = 2.5 * \left(\frac{0.4}{0.64}\right) = 1.56$$

e) Coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R)

Verificando la estructura, se obtiene que en la dirección X-X como en la dirección Y-Y se tienen sistemas estructurales en ambas direcciones de concreto armado de muros estructurales, sistema en que la resistencia sísmica actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base, lo cual se verificará posteriormente.

Tabla 14. Coeficiente de reducción sísmica de la edificación

Sistemas estructurales	
Sistema estructural	Coeficiente básico de reducción R₀
Concreto armado de muros estructurales	6

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

Se asume una irregularidad torsional con un factor de 0.75, que posteriormente se evaluará con datos obtenidos del programa.

f) Estimación del peso (P)

El peso (P), se calcula adicionando permanentemente a la carga total de la edificación, un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera.

Como la estructura en estudio está dentro de la categoría de edificaciones comunes (C), se tomará el 100 % de la carga muerta más el 25 % de la carga viva.

Tabla 15. Datos de carga muerta y viva

Casos de carga	Peso (ton)
CM	6780.06
CV	1443.39

Elaborado por los autores

$$P = 6780.06 + (0.25 * 1443.39) = 7140.91 \text{ (ton)}$$

6.1.2. Cortante estático en la base

Por la fórmula 6.1 y los coeficientes obtenidos, se determinó la cortante estática en la base.

Datos obtenidos:

- $Z_4 = 0.45$
- $U = 1.00$
- $S_1 = 1.00$
- $C = 1.56$
- $R_x = R_y = R_o * I_a * I_p = 6 * 1 * 0.75 = 4.5$

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P = \frac{0.45 * 1.0 * 1.56 * 1.0}{4.5} * 7140.91$$

$$V = 1113.98 \text{ (ton)}$$

Se halló la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 - 2016

Tabla 16. Distribución de fuerzas y cortantes

N° Piso	Mi	pi	hi	pi(hi) ^k	ai	Fi (ton)	Vi (ton)
PISO 16	44.393	435.499	38.56	21790.547	0.1188	131.975	131.975
PISO 15	45.580	447.137	36.15	20878.259	0.1138	126.450	258.424
PISO 14	45.580	447.137	33.74	19390.709	0.1057	117.440	375.865
PISO 13	45.580	447.137	31.33	17910.725	0.0976	108.477	484.341
PISO 12	45.580	447.137	28.92	16438.847	0.0896	99.562	583.903
PISO 11	45.580	447.137	26.51	14975.703	0.0816	90.701	674.604
PISO 10	45.580	447.137	24.10	13522.028	0.0737	81.896	756.500
PISO 9	45.580	447.137	21.69	12078.704	0.0658	73.155	829.655
PISO 8	45.580	447.137	19.28	10646.796	0.0580	64.483	894.138
PISO 7	45.580	447.137	16.87	9227.631	0.0503	55.887	950.025
PISO 6	45.580	447.137	14.46	7822.902	0.0426	47.380	997.405
PISO 5	45.580	447.137	12.05	6434.849	0.0351	38.973	1036.377
PISO 4	45.580	447.137	9.64	5066.586	0.0276	30.686	1067.063
PISO 3	45.580	447.137	7.23	3722.755	0.0203	22.547	1089.610
PISO 2	45.580	447.137	4.82	2411.082	0.0131	14.603	1104.213
PISO 1	45.411	445.482	2.41	1143.137	0.0062	6.923	1111.136
TOTAL		7140.903		183461.259		1111.136	¡OK!

Elaborado por los autores

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

6.2. Análisis dinámico modal – espectral

El análisis del edificio se realizó por el método de combinación modal espectral; por lo cual, se calculará la fuerza en la base de la edificación en función a la masa que tiene cada nivel, con este análisis, se podrá verificar el comportamiento de la estructura bajo consideraciones sísmicas, para corroborar si existen irregularidades, así como también que las derivas máximas cumplan de acuerdo con lo estipulado en la Norma Técnica E.030 - 2016 “Diseño Sismorresistente”.

6.2.1. 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 48 modos de vibración.

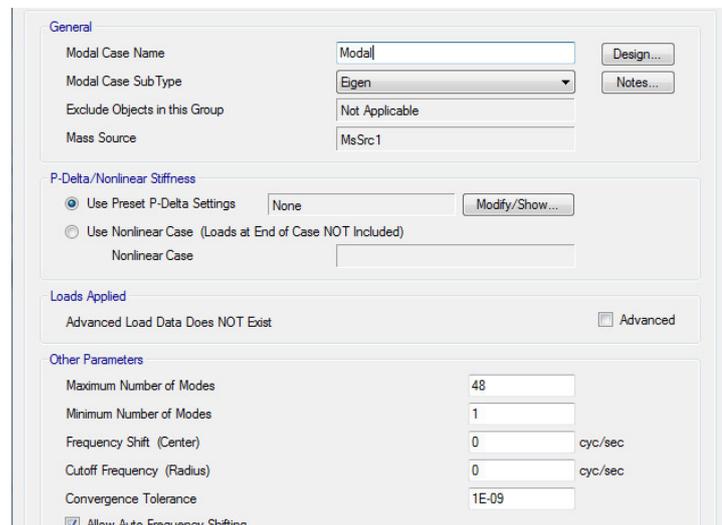


Figura 10. Asignación de los modos de vibración

Fuente: Programa ETABS 2016

6.2.2. Aceleración espectral

Se elaboró el espectro que indica la norma en su artículo 4.6.2, con periodos desde 0 a 10 segundos.

$$S_a = \frac{Z*U*C*S}{R} * g \quad (6.6)$$

Donde:

- Z: Factor de zona Z4 = 0,45
- U: Factor de uso e importancia U = 1,00
- C: Factor de amplificación sísmica C = según fórmulas del 6.2 al 6.4
- S: Factor de suelo S1 = 1.00
- R: Coeficiente de reducción sísmica. Rx = Ry = 4.5
- g: gravedad g = 9.81 m/s²

Tabla 17. Espectro para el análisis dinámico

T	Sa	T	Sa
0.00	2.4515	1.70	0.5768
0.05	2.4515	1.75	0.5603
0.10	2.4515	1.80	0.5448
0.15	2.4515	1.85	0.5301
0.20	2.4515	1.90	0.5161
0.25	2.4515	1.95	0.5029
0.30	2.4515	2.00	0.4903
0.35	2.4515	2.05	0.4783
0.40	2.4515	2.10	0.4670
0.45	2.1791	2.15	0.4561
0.50	1.9612	2.20	0.4457
0.55	1.7829	2.25	0.4358
0.60	1.6343	2.30	0.4263
0.65	1.5086	2.35	0.4173
0.70	1.4009	2.40	0.4086
0.75	1.3075	2.45	0.4002
0.80	1.2258	2.50	0.3922
0.85	1.1536	2.55	0.3770
0.90	1.0896	2.60	0.3626
0.95	1.0322	2.65	0.3491
1.00	0.9806	2.70	0.3363
1.05	0.9339	2.75	0.3242
1.10	0.8915	2.80	0.3127
1.15	0.8527	2.85	0.3018
1.20	0.8172	2.90	0.2915
1.25	0.7845	2.95	0.2817
1.30	0.7543	3.00	0.2724
1.35	0.7264	4.00	0.1532
1.40	0.7004	5.00	0.0981
1.45	0.6763	6.00	0.0681
1.50	0.6537	7.00	0.0500
1.55	0.6326	8.00	0.0383
1.60	0.6129	9.00	0.0303
1.65	0.5943	10.00	0.0245

Elaborado por los autores

El espectro elaborado fue asignado al programa ETABS para efectuar el análisis dinámico modal espectral, luego se le asignó al programa los casos de análisis dinámico donde se configura, para que utilice el espectro en la dirección X-X como también en la dirección Y-Y.

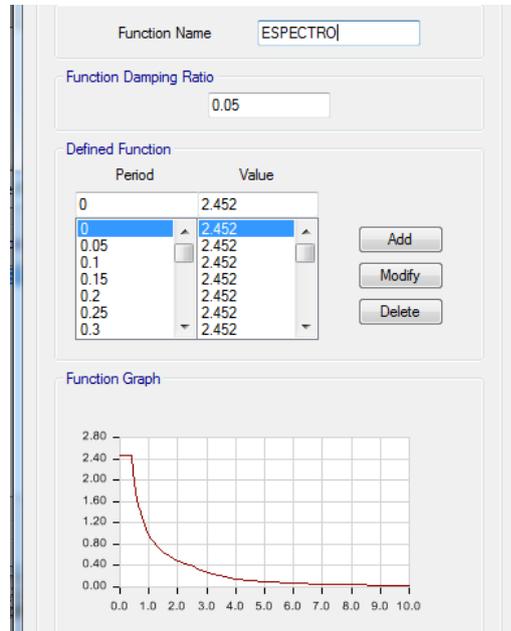


Figura 11. Espectro

Fuente: Programa ETABS 2016

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO	1

Figura 12. Casos de análisis dinámico

Fuente: Programa ETABS 2016

6.3. Evaluación de irregularidades

Son las estructuras que presentan discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales. La estructura puede presentar más de una irregularidad, por lo que se realizó la verificación de cada una de estas y se consideró el valor más crítico, es decir el menor.

6.3.1. Irregularidades en altura

Se evaluó las irregularidades en altura de la edificación, según la Norma Técnica E.030 – 2016.

a) Irregularidad de rigidez – piso blando:

Tabla 18. Verificación de la irregularidad de rigidez sismo “X”

Pisos	Drift	> 1.4	REG/IRREG	> 1.25	REG/IRREG
Piso 16	0.001351				
Piso 15	0.001358	1.01	REGULAR		
Piso 14	0.001361	1.00	REGULAR		
Piso 13	0.001356	1.00	REGULAR	1.00	REGULAR
Piso 12	0.001340	0.99	REGULAR	0.99	REGULAR
Piso 11	0.001311	0.98	REGULAR	0.97	REGULAR
Piso 10	0.001271	0.97	REGULAR	0.95	REGULAR
Piso 9	0.001218	0.96	REGULAR	0.93	REGULAR
Piso 8	0.001152	0.95	REGULAR	0.91	REGULAR
Piso 7	0.001072	0.93	REGULAR	0.88	REGULAR
Piso 6	0.000979	0.91	REGULAR	0.85	REGULAR
Piso 5	0.000868	0.89	REGULAR	0.81	REGULAR
Piso 4	0.000737	0.85	REGULAR	0.76	REGULAR
Piso 3	0.000582	0.79	REGULAR	0.68	REGULAR
Piso 2	0.000397	0.68	REGULAR	0.54	REGULAR
Piso 1	0.000166	0.42	REGULAR	0.29	REGULAR

Elaborado por los autores

Tabla 19. Verificación de la irregularidad de rigidez sismo “Y”

Pisos	Drift	> 1.4	REG/IRREG	> 1.25	REG/IRREG
Piso 16	0.001688				
Piso 15	0.001690	1.00	REGULAR		
Piso 14	0.001685	1.00	REGULAR		
Piso 13	0.001671	0.99	REGULAR	0.99	REGULAR
Piso 12	0.001645	0.98	REGULAR	0.98	REGULAR
Piso 11	0.001605	0.98	REGULAR	0.96	REGULAR
Piso 10	0.001549	0.97	REGULAR	0.94	REGULAR
Piso 9	0.001478	0.95	REGULAR	0.92	REGULAR
Piso 8	0.001388	0.94	REGULAR	0.90	REGULAR
Piso 7	0.001281	0.92	REGULAR	0.87	REGULAR
Piso 6	0.001154	0.90	REGULAR	0.83	REGULAR
Piso 5	0.001006	0.87	REGULAR	0.79	REGULAR
Piso 4	0.000836	0.83	REGULAR	0.73	REGULAR
Piso 3	0.000641	0.77	REGULAR	0.64	REGULAR
Piso 2	0.000418	0.65	REGULAR	0.51	REGULAR
Piso 1	0.000163	0.39	REGULAR	0.26	REGULAR

Elaborado por los autores

De las verificaciones anteriores se determinó que la estructura no presenta irregularidad por piso blando lo que le corresponde por norma, un valor de:

$$I_a = 1$$

b) Irregularidad de resistencia – piso débil:

Debido a que la edificación tiene piso típico, el sistema estructural es continuo en todos los pisos de la edificación, se deduce que no presenta irregularidad por piso débil, lo que le corresponde por norma, un valor de:

$$I_a = 1$$

c) Irregularidad de masa o peso:

Tabla 20. Verificación de la irregularidad de masa

Sismo X, Y			
Pisos	Masa	> 1.5	REG/IRREG
Piso 16	44.393		
Piso 15	45.580	1.03	REGULAR
Piso 14	45.580	1.00	REGULAR
Piso 13	45.580	1.00	REGULAR
Piso 12	45.580	1.00	REGULAR
Piso 11	45.580	1.00	REGULAR
Piso 10	45.580	1.00	REGULAR
Piso 9	45.580	1.00	REGULAR
Piso 8	45.580	1.00	REGULAR
Piso 7	45.580	1.00	REGULAR
Piso 6	45.580	1.00	REGULAR
Piso 5	45.580	1.00	REGULAR
Piso 4	45.580	1.00	REGULAR
Piso 3	45.580	1.00	REGULAR
Piso 2	45.580	1.00	REGULAR
Piso 1	45.411	1.00	REGULAR

Elaborado por los autores

De lo anterior, se verifica que la edificación no presenta irregularidad por masa o peso, por lo que le corresponde por norma el valor de:

$$I_a = 1$$

d) Irregularidad geométrica vertical:

Como la estructura es continua y presenta pisos típicos en todos los niveles, no existe irregularidad geométrica vertical, por lo tanto, le corresponde por norma, un valor de:

$$I_a = 1$$

e) Discontinuidad de los sistemas resistentes:

Debido a que la estructura es continua en todos los niveles, no existe irregularidad de los sistemas resistentes, por lo que le corresponde por norma, un valor de:

$$I_a = 1$$

6.3.2. Irregularidades en planta

Se evaluó las irregularidades en planta de la edificación según la Norma Técnica E.030 – 2016.

a) Irregularidad torsional

Tabla 21. Verificación de la irregularidad torsional sismo “X”

Piso	Desplas. Max	Des. Cent. Mas	> 1.2	REG/IRREG
Piso 16	0.039097	0.034109	1.15	REGULAR
Piso 15	0.035894	0.031363	1.14	REGULAR
Piso 14	0.032687	0.028613	1.14	REGULAR
Piso 13	0.029482	0.025859	1.14	REGULAR
Piso 12	0.026296	0.023115	1.14	REGULAR
Piso 11	0.023151	0.020398	1.13	REGULAR
Piso 10	0.020070	0.017729	1.13	REGULAR
Piso 9	0.017080	0.015129	1.13	REGULAR
Piso 8	0.014206	0.012624	1.13	REGULAR
Piso 7	0.011479	0.010236	1.12	REGULAR
Piso 6	0.008930	0.007995	1.12	REGULAR
Piso 5	0.006597	0.005932	1.11	REGULAR
Piso 4	0.004521	0.004087	1.11	REGULAR
Piso 3	0.002754	0.002505	1.10	REGULAR
Piso 2	0.001356	0.001244	1.09	REGULAR
Piso 1	0.000401	0.000372	1.08	REGULAR

Elaborado por los autores

Tabla 22. Verificación de la irregularidad torsional sismo “Y”

Piso	Desplas. Max	Des. Cent. Mas	> 1.2	REG/IRREG
Piso 16	0.047596	0.043650	1.09	REGULAR
Piso 15	0.043558	0.039944	1.09	REGULAR
Piso 14	0.039520	0.036240	1.09	REGULAR
Piso 13	0.035497	0.032550	1.09	REGULAR
Piso 12	0.031511	0.028894	1.09	REGULAR
Piso 11	0.027588	0.025297	1.09	REGULAR
Piso 10	0.023759	0.021787	1.09	REGULAR
Piso 9	0.020061	0.018396	1.09	REGULAR

Piso 8	0.016529	0.015159	1.09	REGULAR
Piso 7	0.013207	0.012114	1.09	REGULAR
Piso 6	0.010137	0.009300	1.09	REGULAR
Piso 5	0.007368	0.006761	1.09	REGULAR
Piso 4	0.004950	0.004545	1.09	REGULAR
Piso 3	0.002941	0.002702	1.09	REGULAR
Piso 2	0.001400	0.001287	1.09	REGULAR
Piso 1	0.000393	0.000362	1.09	REGULAR

Elaborado por los autores

Material Predominante	(Δ_i / h_{ef})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Figura 13. Límites de distorsión de entrepiso

Fuente: Norma Técnica E.030 - 2016

Tabla 23. Verificación de la irregularidad torsional sismo "X"

Piso	Desplas Max	> 0.0035	REG/IRREG
Piso 16	0.039097	0.005981	IRREGULAR
Piso 15	0.035894	0.005988	IRREGULAR
Piso 14	0.032687	0.005984	IRREGULAR
Piso 13	0.029482	0.005949	IRREGULAR
Piso 12	0.026296	0.005872	IRREGULAR
Piso 11	0.023151	0.005753	IRREGULAR
Piso 10	0.020070	0.005583	IRREGULAR
Piso 9	0.017080	0.005366	IRREGULAR
Piso 8	0.014206	0.005092	IRREGULAR
Piso 7	0.011479	0.004760	IRREGULAR
Piso 6	0.008930	0.004356	IRREGULAR
Piso 5	0.006597	0.003876	IRREGULAR
Piso 4	0.004521	0.003299	REGULAR
Piso 3	0.002754	0.002610	REGULAR
Piso 2	0.001356	0.001783	REGULAR
Piso 1	0.000401	0.000749	REGULAR

Elaborado por los autores

Tabla 24. Verificación de la irregularidad torsional sismo “Y”

Piso	Desplas. Max	> 0.0035	REG/IRREG
Piso 16	0.047596	0.007540	IRREGULAR
Piso 15	0.043558	0.007540	IRREGULAR
Piso 14	0.039520	0.007512	IRREGULAR
Piso 13	0.035497	0.007443	IRREGULAR
Piso 12	0.031511	0.007325	IRREGULAR
Piso 11	0.027588	0.007150	IRREGULAR
Piso 10	0.023759	0.006905	IRREGULAR
Piso 9	0.020061	0.006595	IRREGULAR
Piso 8	0.016529	0.006203	IRREGULAR
Piso 7	0.013207	0.005732	IRREGULAR
Piso 6	0.010137	0.005170	IRREGULAR
Piso 5	0.007368	0.004515	IRREGULAR
Piso 4	0.004950	0.003751	IRREGULAR
Piso 3	0.002941	0.002877	REGULAR
Piso 2	0.001400	0.001880	REGULAR
Piso 1	0.000393	0.000734	REGULAR

Elaborado por los autores

De los cuadros anteriores se pudo verificar que la edificación presenta irregularidad torsional, por lo tanto, le corresponde por norma, un valor de:

$$I_p = 0.75$$

b) Irregularidad por esquina entrante:

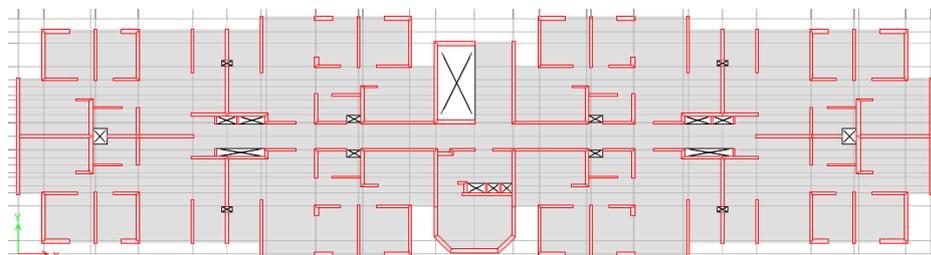


Figura 14. Verificación de la irregularidad esquina entrante

Fuente: Programa ETABS 2016

Por las dimensiones en planta que presenta la edificación, presenta esquinas entrantes que superan el 20 % de la dimensión total en ambas direcciones, por lo que corresponde, por norma, un valor de:

$$I_p = 0.90$$

c) Irregularidad por discontinuidad del diafragma:

En el presente proyecto, las losas no presentan aberturas significativas, y son constantes en todos los pisos, por lo que no presentan irregularidad por discontinuidad del diafragma, por lo tanto, le corresponde por norma, un valor de:

$$I_p = 1$$

d) Irregular por sistemas no paralelos:

Por la geometría que presenta la edificación, no se encuentra irregularidad por sistemas no paralelos, por lo que le corresponde por norma, un valor de:

$$I_p = 1$$

Después de realizada la verificación de las irregularidades estructurales en altura y planta, tanto en sismo dinámico "X" e "Y", se concluye que la estructura es regular en altura e irregular en planta, de los valores obtenidos se escogen los menores y se multiplica al coeficiente de reducción sísmico (R):

$$R = R_0 \times I_a \times I_p = 6 \times 1 \times 0.75 = 4.5$$

6.4. Resultados del análisis dinámico

Luego de realizar el análisis dinámico de la estructura, se obtuvieron los siguientes resultados.

a) Periodos y frecuencias:

Tabla 25. Periodos y frecuencias del análisis dinámico

Modo	Periodo	Frecuencia	Modo	Periodo	Frecuencia
1	1.224	0.817	25	0.043	23.294
2	1.144	0.874	26	0.043	23.294
3	1.012	0.988	27	0.043	23.304
4	0.23	4.349	28	0.042	23.682
5	0.197	5.065	29	0.042	23.682
6	0.185	5.391	30	0.042	23.683
7	0.096	10.433	31	0.042	23.683
8	0.077	12.948	32	0.042	23.683
9	0.072	13.876	33	0.042	23.683
10	0.056	17.778	34	0.042	23.684
11	0.044	22.894	35	0.042	23.684
12	0.043	23.169	36	0.042	23.794
13	0.043	23.169	37	0.042	23.797
14	0.043	23.169	38	0.042	23.797
15	0.043	23.169	39	0.042	23.798
16	0.043	23.169	40	0.042	23.799
17	0.043	23.169	41	0.042	23.800
18	0.043	23.170	42	0.042	23.801
19	0.043	23.170	43	0.042	23.806
20	0.043	23.288	44	0.041	24.671
21	0.043	23.289	45	0.041	24.672
22	0.043	23.289	46	0.041	24.672
23	0.043	23.291	47	0.041	24.673
24	0.043	23.294	48	0.041	24.673
25	0.043	23.294	47	0.041	24.673
26	0.043	23.294	48	0.041	24.673

Elaborado por los autores

En la tabla de periodos se puede apreciar que se está dentro de lo permitido que es $0.1*(N)$ siendo N el número de pisos que sería alrededor de 1.6 segundos.

b) Participación modal de masas, con los principales modos de vibración

Tabla 26. Masa participativa en los modos de vibración

Modo	UX	UY	RZ
1	0.3605	0.0116	0.2644
2	0.0024	0.6185	0.0114
3	0.2851	0.0023	0.3555
4	0.1817	0.0016	0.0121
5	0.001	0.1973	0.0016
6	0.0119	0.001	0.1844
7	0.061	0.0003	0.0012
8	0.0002	0.0677	0.0002
9	0.0008	0.0001	0.0674
10	0.0312	0.0001	0.0003
11	0.0001	0.0329	0.00002789
12	0	0	0

Elaborado por los autores

- Como se aprecia en la tabla 25 en los 12 primeros modos de vibración se llega al 90 % de la masa participativa.
- El primer modo de vibración es de traslación en el eje “X” y tiene un periodo de 1.224 segundos.
- El segundo modo de vibración es traslación en el eje “Y” y tiene un periodo de 1.144 segundos.
- El tercer modo de vibración es de rotación en el eje “Z” y tiene un periodo de 1.012 segundos.
- De los resultados obtenidos se aprecia que cumple con las condiciones de que los dos primeros modos de vibración deben de ser de traslación y el tercero de rotación.

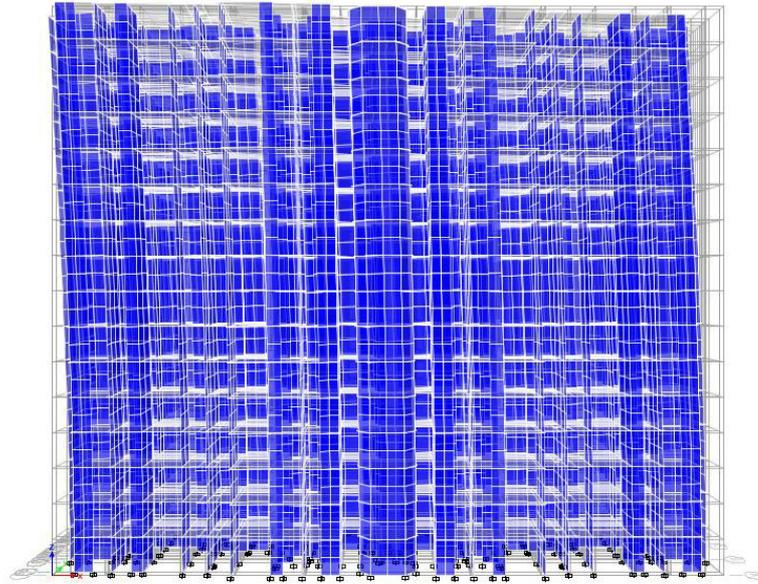


Figura 15. Primer modo traslación en X

Fuente: Programa ETABS 2016

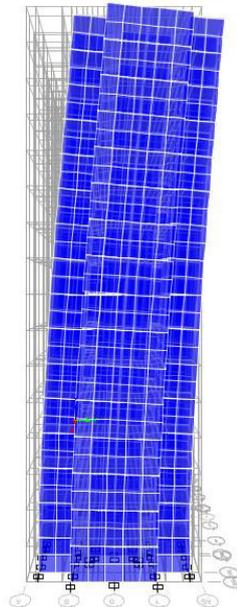


Figura 16. Segundo modo traslación en Y

Fuente: Programa ETABS 2016

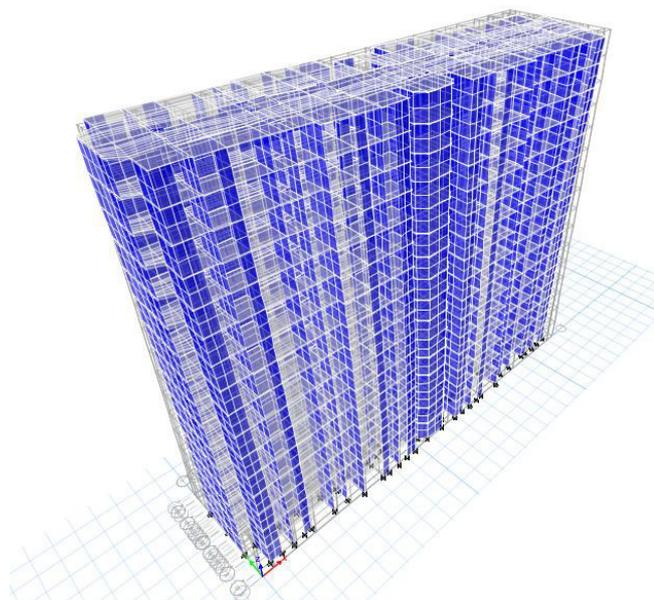


Figura 17. Tercer modo rotación en Z

Fuente: Programa ETABS 2016

c) Desplazamientos laterales máximos:

Tabla 27. Desplazamientos laterales máximos

DIRECCIÓN X-X		DIRECCIÓN Y-Y	
Pisos	Desplazamiento (mm)	Pisos	Desplazamiento (mm)
Piso 16	175.937	Piso 16	214.182
Piso 15	161.523	Piso 15	196.011
Piso 14	147.092	Piso 14	177.840
Piso 13	132.669	Piso 13	159.737
Piso 12	118.332	Piso 12	141.800
Piso 11	104.180	Piso 11	124.146
Piso 10	90.315	Piso 10	106.916
Piso 9	76.860	Piso 9	90.275
Piso 8	63.927	Piso 8	74.381
Piso 7	51.656	Piso 7	59.432
Piso 6	40.185	Piso 6	45.617
Piso 5	29.687	Piso 5	33.156
Piso 4	20.345	Piso 4	22.275
Piso 3	12.393	Piso 3	13.235
Piso 2	6.102	Piso 2	6.300
Piso 1	1.805	Piso 1	1.769

Elaborado por los autores

En la tabla 27 se puede observar un desplazamiento máximo en la dirección X-X de 175.973 milímetros y en la dirección Y-Y de 214.182 milímetros.

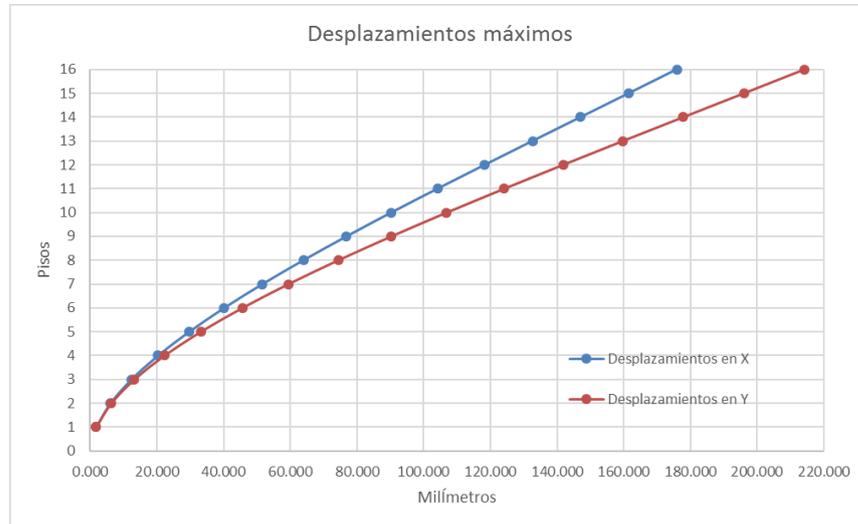


Figura 18. Desplazamientos máximos

Elaborado por los autores

d) Verificación de las distorsiones de entrepisos:

Tabla 28. Distorsión en "X"

DIRECCIÓN X-X				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001351	0.006	0.007	SI
Piso 15	0.001358	0.006	0.007	SI
Piso 14	0.001361	0.006	0.007	SI
Piso 13	0.001356	0.006	0.007	SI
Piso 12	0.001340	0.006	0.007	SI
Piso 11	0.001311	0.006	0.007	SI
Piso 10	0.001271	0.006	0.007	SI
Piso 9	0.001218	0.005	0.007	SI
Piso 8	0.001152	0.005	0.007	SI
Piso 7	0.001072	0.005	0.007	SI
Piso 6	0.000979	0.004	0.007	SI
Piso 5	0.000868	0.004	0.007	SI
Piso 4	0.000737	0.003	0.007	SI

Piso 3	0.000582	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000397	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000166	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Para el sismo en dirección “X” se obtuvo como resultado una distorsión máxima de 0.001361 en el piso 14, donde se puede apreciar que está cumpliendo el control, siendo menor que el máximo permisible indicado en la tabla 11 de la Norma Técnica E.030 – 2016, que se muestra en la figura 13.

Tabla 29. Distorsión en "Y"

DIRECCIÓN Y-Y				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001554	0.007	0.007	SI
Piso 15	0.001556	0.007	0.007	SI
Piso 14	0.001551	0.007	0.007	SI
Piso 13	0.001547	0.007	0.007	SI
Piso 12	0.001521	0.007	0.007	SI
Piso 11	0.001481	0.007	0.007	SI
Piso 10	0.001466	0.007	0.007	SI
Piso 9	0.001461	0.007	0.007	SI
Piso 8	0.001383	0.006	0.007	SI
Piso 7	0.001281	0.006	0.007	SI
Piso 6	0.001154	0.005	0.007	SI
Piso 5	0.001006	0.005	0.007	SI
Piso 4	0.000836	0.004	0.007	SI
Piso 3	0.000641	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000418	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000163	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Para el sismo en dirección “Y” se obtuvo como resultado una distorsión máxima de 0.001556 en el piso 15, donde se puede apreciar que está cumpliendo el control, estando al límite del máximo permisible indicado en la tabla 11 de la Norma Técnica E0.30 - 2016 mostrada en la figura 14.

e) Cortante en la base

Tabla 30. Cortante basal estático y dinámico

	ESTÁTICO	DINÁMICO	FE
X	1113.98	546.88	1.83
Y	1113.98	624.38	1.61

Elaborado por los autores

De acuerdo con el artículo 4.6.4 de la norma E0.30, se debe verificar que para estructuras irregulares el cortante dinámico debe ser mayor o igual que el 90% de la cortante estática, de lo contrario se debe escalar las fuerzas, exceptuando los desplazamientos.

Se concluye del análisis que la estructura sí cumple con los controles máximos establecidos por la normativa vigente, se precisa que la estructura está diseñada con la Norma Técnica E.030 – 2006, y para propósitos de la tesis, se analizó con la Norma Técnica E.030 – 2016, arrojando resultados al límite.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DINÁMICO CON INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA

7.1. Consideraciones para el diseño

Para poder realizar los cálculos de los 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 $f'c = 2100 \text{ Ton/m}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 2173706 \text{ Ton/m}^2$
- Coeficiente de Poisson del concreto $\mu_c = 0,2$
- Losa de techo maciza de espesor $e = 10 \text{ cm}$ (todos los pisos)
- Platea de cimentación de $45.35 \text{ m} \times 11.90 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$

b) Características del suelo de fundación:

- Tipo de suelo grava arenosa medianamente densa
- Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 61205 \text{ kPa}$
- Densidad del suelo $\rho_s = 0.124 \text{ T. s}^2/\text{m}^4 = 1.9172 \text{ kN. s}^2/\text{m}^4$
- Coeficiente de Poisson del suelo $\mu_s = 0.30$
- Capacidad portante del suelo $q = 4.00 \text{ kg/cm}^2$

7.2. Cálculo de las masas en la platea

Las masas traslacionales respecto a los ejes X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo – platea, indicados como X', Y', Z', se calculan por las fórmulas 2.1 al 2.4, como una lámina rectangular delgada y toman como referencia las dimensiones de la figura 1.

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{\text{platea}}}{g} = \frac{2.4 * 479.4066 * 0.70}{9.81} = 82.100 \frac{\text{ton. s}^2}{\text{m}}$$

$$M_{\varphi x'} = M_t * d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{\gamma * c * a * b^3}{12 * g} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{\gamma * c}{g} * I_x$$

$$M_{\varphi x'} = 82.100 * \left(\frac{0.70}{2}\right)^2 + \frac{2.4 * 0.7}{9.81} * 4741.3249 = 822.027 \text{ ton. s}^2. \text{ m}$$

$$M_{\varphi y'} = M_t * d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{\gamma * c * b * a^3}{12 * g} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{\gamma * c}{g} * I_y$$

$$M_{\varphi y'} = 82.100 * \left(\frac{0.70}{2}\right)^2 + \frac{2.4 * 0.7}{9.81} * 77508.3798 = 13283.664 \text{ ton. s}^2. \text{ m}$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t(a^2 + b^2)}{12} = \frac{\gamma * c * b * a^3}{12 * g} + \frac{\gamma * c * a * b^3}{12 * g} = \frac{\gamma * c}{g} * (I_x + I_y)$$

$$M_{\psi z'} = \frac{2.4 * 0.7}{9.81} * (4741.3249 + 77508.3798) = 14085.576 \text{ ton. s}^2. \text{ m}$$

Tabla 31. Masas de la platea

M_x $\frac{\text{ton. s}^2}{\text{m}}$	M_y $\frac{\text{ton. s}^2}{\text{m}}$	M_z $\frac{\text{ton. s}^2}{\text{m}}$	$M_{\varphi x'}$ ton. s ² . m	$M_{\varphi y'}$ ton. s ² . m	$M_{\psi z'}$ ton. s ² . m
82.100	82.100	82.100	822.027	13283.664	14085.576

Elaborado por los autores

7.3. Cálculo de los coeficientes de rigidez

Cálculos de las fórmulas de los modelos dinámicos planteados en las bases teóricas.

a) Modelo dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov

De acuerdo con la tabla 2, se asume $C_0 = 2.6 \text{ kg/cm}^3$ (Grava arenosa medianamente densa)

Presión estática del suelo por la fórmula 2.13

$$\rho = \frac{P_{\text{edificio}} + P_{\text{platea}}}{A_{\text{platea}}} = \frac{7751798.028 \text{ kg} + 805403.088 \text{ kg}}{4794066 \text{ cm}^2} = 1.785 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo del D_0 mediante la fórmula 2.14

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} * C_0 = \frac{1 - 0.3}{1 - 0.5 * 0.3} * 2.6 = 2.141 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Cálculo de los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme mediante la fórmula 2.9

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

$$C_x = 2.141 * \left[1 + \frac{130.3427}{1 * 479.4066} \right] * \sqrt{\frac{1.785}{0.2}} = 8.135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 8135.197 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de los coeficientes de compresión elástico uniforme y no uniforme mediante las fórmulas 2.10 al 2.12

$$C_z = C_0 * \left[1 + \frac{2(a + b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 2.6 * \left[1 + \frac{130.3427}{1 * 479.4066} \right] * \sqrt{\frac{1.785}{0.2}}$$

$$C_z = 9.879 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 9879.268 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x} = C_0 * \left[1 + \frac{2(a + 3b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 2.6 * \left[1 + \frac{2(45.35 + 3 * 11.9)}{1 * 479.4066} \right] * \sqrt{\frac{1.785}{0.2}}$$

$$C_{\varphi x} = 10.394 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 10393.805 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y} = C_0 * \left[1 + \frac{2(b + 3a)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 2.6 * \left[1 + \frac{2(11.9 + 3 * 45.35)}{1 * 479.4066} \right] * \sqrt{\frac{1.785}{0.2}}$$

$$C_{\varphi y} = 12.562 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 12561.657 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de los coeficientes de rigidez mediante las fórmulas 2.5 al 2.8

$$K_x = K_y = C_x * A = 8135.197 * 479.4066 = 3900067.134 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_z = C_z * A = 9879.268 * 479.4066 = 4736186.282 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} * I_x = 10393.805 * 4741.32490 = 49280406.45 \text{ ton.m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} * I_y = 12561.657 * 77508.37977 = 973633681.3 \text{ ton.m}$$

b) Modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Cálculo de coeficiente de compresión elástica uniforme mediante la fórmula 2.20

b_0 = para suelos arenosos igual a 1

$$C_z = b_0 * E * \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) = 1 * 61205 * \left(1 + \sqrt{\frac{10}{479.4066}} \right)$$

$$C_z = 70044.6465 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de coeficiente de desplazamiento elástico uniforme mediante la fórmula 2.21

$$C_x = 0.7 * C_z = 0.7 * 70044.6467 = 49031.253 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de coeficiente de compresión elástico no uniforme mediante la fórmula 2.22

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 * C_z = 2 * 70044.6467 = 140089.293 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de coeficiente de desplazamiento elástico no uniforme mediante la fórmula 2.23

$$C_{\psi z} = C_z = 70044.647 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de los coeficientes de rigidez mediante las fórmulas 2.15 al 2.19

$$K_x = K_y = C_x * A = 49031.25269 * 479.4066 = 23505906.15 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_z = C_z * A = 70044.6467 * 479.4066 = 33579865.92 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} * I_x = 140089.2934 * 4741.32490 = 664208855 \text{ ton.m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} * I_y = 140089.2934 * 77508.3798 = 10858094150 \text{ ton.m}$$

$$K_{\psi z} = C_{\psi z} * I_z = 70044.6467 * 82249.70467 = 5761151505 \text{ ton. m}$$

Se deben calcular también las características de amortiguamiento relativas verticales mediante la fórmula 2.24

$$\beta_z = 2 * \sqrt{\frac{E}{C_z * \rho_m}} = 2 * \sqrt{\frac{61205}{70044.6467 * 40}} = 0.2956$$

Siendo la presión estática

$$\rho_m = 40 \text{ ton/m}^2$$

Cálculo de las características de amortiguamiento relativas horizontales y rotacionales mediante las fórmulas 2.26 al 2.28

$$\beta_x = 0.6 * \beta_z = 0.6 * 0.2956 = 0.17736$$

$$\beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0.5 * \beta_z = 0.5 * 0.2956 = 0.1478$$

$$\beta_{\psi z} = 0.3 * \beta_z = 0.3 * 0.2956 = 0.08868$$

Cálculo de las características de suelo se fundación mediante las fórmulas 2.29 al 2.33

$$B_x = B_y = 2\beta_x * \sqrt{K_x * M_x} = 2 * 0.17736 * \sqrt{23505906.15 * 82.100}$$

$$B_x = B_y = 15582.809 \text{ ton. s/m}$$

$$B_z = 2\beta_z * \sqrt{K_z * M_z} = 2 * 0.2956 * \sqrt{33579865.92 * 82.100}$$

$$B_z = 31041.699 \text{ ton. s/m}$$

$$B_{\varphi x} = 2\beta_{\varphi x} * \sqrt{K_{\varphi x} * M_{\varphi x'}} = 2 * 0.1478 * \sqrt{664208855 * 822.027}$$

$$B_{\varphi x} = 218423.721 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\varphi y} = 2\beta_{\varphi y} * \sqrt{K_{\varphi y} * M_{\varphi y'}} = 2 * 0.1478 * \sqrt{10858094150 * 13283.664}$$

$$B_{\varphi y} = 3550096.613 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\psi z} = 2\beta_{\psi z} * \sqrt{K_{\psi z} * M_{\psi z'}} = 2 * 0.08868 * \sqrt{5761151505 * 14085.576}$$

$$B_{\psi z} = 1597708.824 \text{ ton. s. m}$$

c) Modelo dinámico A. E. Sargsian

Cálculo de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales mediante la fórmula 2.44

$$C_1 = \sqrt{\frac{(1 - \mu) * E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu) * \rho}} = \sqrt{\frac{(1 - 0.30) * 61205}{(1 + 0.30)(1 - 2 * 0.30) * 1.9172}}$$

$$C_1 = 207.304 \text{ m/s}$$

Cálculo de la velocidad de propagación de las ondas transversal mediante la fórmula 2.45

$$C_2 = \sqrt{\frac{E}{2(1 + \mu) * \rho}} = \sqrt{\frac{61205}{2 * (1 + 0.30) * 1.9172}} = 110.808 \text{ m/s}$$

Cálculo de los coeficientes de rigidez mediante las fórmulas 2.34 al 2.38

$$K_x = K_y = \frac{28.8 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (7 - 8\mu)} * \sqrt{A} = \frac{28.8 * 1.9172 * 110.808^2}{\sqrt{\pi} * (7 - 8 * 0.30)} * \sqrt{479.4066}$$

$$K_x = K_y = 1820628.668 \text{ ton/m}$$

$$K_z = \frac{4 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \sqrt{A} = \frac{4 * 1.9172 * 110.808^2}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.30)} * \sqrt{479.4066}$$

$$K_z = 1661684.895 \text{ ton/m}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_x}{\sqrt{A}} = \frac{8.52 * 1.9172 * 110.808^2}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.30)} * \frac{4741.32490}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi x} = 35004508.44 \text{ ton. m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_y}{\sqrt{A}} = \frac{8.52 * 1.9172 * 110.808^2}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.30)} * \frac{77508.37977}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi y} = 572233034.2 \text{ ton. m}$$

$$K_{\varphi z} = \frac{4 * \rho * C_2^2}{\sqrt{\pi} * (1 - \mu)} * \frac{I_z}{\sqrt{A}} = \frac{4 * 1.9172 * 110.808^2}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.30)} * \frac{82249.70467}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi z} = 285088048.2 \text{ ton. m}$$

Cálculo los parámetros de amortiguamiento mediante las fórmulas 2.39 al 2.43

$$B_x = B_y = \frac{18.24 * (1 - \mu) * \rho * C_2}{\pi * (7 - 8\mu)} * A$$

$$B_x = B_y = \frac{18.24 * (1 - 0.3) * 1.9172 * 110.808}{\pi * (7 - 8 * 0.3)} * 479.4066$$

$$B_x = B_y = 89982.430 \text{ ton. s/m}$$

$$B_z = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * A$$

$$B_z = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2 * 0.3} * 1.9172 * 207.304}{\pi * (1 - 0.3) * \sqrt{2(1 - 0.3)}} * 479.4066$$

$$B_z = 157462.120 \text{ ton. s/m}$$

$$B_{\varphi x} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_x$$

$$B_{\varphi x} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2 * 0.3} * 1.9172 * 207.304}{\pi * (1 - 0.3) * \sqrt{2(1 - 0.3)}} * 4741.32490$$

$$B_{\varphi x} = 732846.244 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\varphi y} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_y$$

$$B_{\varphi y} = \frac{1.6 * \sqrt{1 - 2 * 0.3} * 1.9172 * 207.304}{\pi * (1 - 0.3) * \sqrt{2(1 - 0.3)}} * 77508.37977$$

$$B_{\varphi y} = 11980137.67 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\varphi z} = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2\mu} * \rho * C_1}{\pi * (1 - \mu) * \sqrt{2(1 - \mu)}} * I_z$$

$$B_{\varphi z} = \frac{3.4 * \sqrt{1 - 2 * 0.3} * 1.9172 * 207.304}{\pi * (1 - 0.3) * \sqrt{2(1 - 0.3)}} * 82249.70467$$

$$B_{\psi z} = 27015090.81 \text{ ton. s. m}$$

d) Modelo dinámico N.G. Shariya

Por la tabla 3, se determina mediante interpolación, los valores de λ y χ , para la relación de lados.

$$45.35/11.9 = 3.81$$

$$\lambda = 0.812$$

$$\chi = 0.216$$

Cálculo de los coeficientes de rigidez mediante las fórmulas 2.46 al 2.50

$$K_x = K_y = \frac{\rho * C_2^2}{\lambda * (1 - \mu^2)} * \sqrt{A} = \frac{1.9172 * 110.808^2}{0.812 * (1 - 0.3^2)} * \sqrt{479.4066}$$

$$K_x = K_y = 697431.444 \text{ ton/m}$$

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

$$K_z = \frac{(1 - 2 * 0.3) * 1.9172 * 207.304^2}{0.812 * (1 - 0.3)^2} * \sqrt{479.4066} = 1813604.859 \text{ ton/m}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{(1 - 2\mu) * \rho * C_1^2}{\chi * (1 - \mu)^2} * \frac{I_x}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{(1 - 2 * 0.3) * 1.9172 * 207.304^2}{0.216 * (1 - 0.3)^2} * \frac{4741.32490}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi x} = 67428058.76 \text{ ton. m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{(1 - 2\mu) * \rho * C_1^2}{\chi * (1 - \mu)^2} * \frac{I_y}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{(1 - 2 * 0.3) * 1.9172 * 207.304^2}{0.216 * (1 - 0.3)^2} * \frac{77508.37977}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi y} = 1102274089 \text{ ton. m}$$

$$K_{\varphi z} = \frac{(1 - 2\mu) * \rho * C_1^2}{\chi * (1 - \mu)^2} * \frac{I_z}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\varphi z} = \frac{(1 - 2 * 0.3) * 1.9172 * 207.304^2}{0.216 * (1 - 0.3)^2} * \frac{82249.70467}{\sqrt{479.4066}}$$

$$K_{\varphi z} = 1169702148 \text{ ton. m}$$

Cálculo de los parámetros de amortiguamiento mediante las fórmulas 2.51 al 2.55

$$B_x = B_y = \rho * C_2 * A = 1.9172 * 110.808 * 479.4066 = 101845.664 \text{ ton. s/m}$$

$$B_z = \rho * C_1 * A = 1.9172 * 207.304 * 479.4066 = 190536.907 \text{ ton. s/m}$$

$$B_{\varphi x} = \rho * C_1 * I_x = 1.9172 * 207.304 * 4741.32490 = 1884407.477 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\varphi y} = \rho * C_1 * I_y = 1.9172 * 207.304 * 77508.37977$$

$$B_{\varphi y} = 30805180.71 \text{ ton. s. m}$$

$$B_{\varphi z} = \rho * C_1 * I_z = 1.9172 * 207.304 * 82249.70467$$

$$B_{\varphi z} = 32689588.19 \text{ ton. s. m}$$

Tabla 32. Resumen de coeficientes de rigidez

	K_x $\frac{\text{ton}}{\text{m}}$	K_y $\frac{\text{ton}}{\text{m}}$	K_z $\frac{\text{ton}}{\text{m}}$	$K_{\phi x}$ ton. m	$K_{\phi y}$ ton. m	$K_{\psi z}$ ton. m
Barkan	3990778.533	3990778.533	4846344.810	50426617.010	996279382.100	-
Norma Rusa	23505906.150	23505906.150	33579865.920	664208855.000	10858094150.000	5761151505.000
Sargsian	1820628.668	1820628.668	1661684.895	35004508.440	572233034.200	285088048.200
Shariya	697431.444	697431.444	1813604.859	67428058.760	1102274089.000	1169702148.000

Elaborado por los autores

Tabla 33. Resumen de coeficiente de amortiguamiento

	B_x $\frac{\text{ton. s}}{\text{m}}$	B_y $\frac{\text{ton. s}}{\text{m}}$	B_z $\frac{\text{ton. s}}{\text{m}}$	$B_{\phi x}$ ton. s. m	$B_{\phi y}$ ton. s. m	$B_{\psi z}$ ton. s. m
Norma Rusa	15582.809	15582.809	31041.699	218423.721	3550096.613	1597708.824
Sargsian	89982.430	89982.430	157462.120	732846.244	11980137.670	27015090.810
Shariya	101845.664	101845.664	190536.907	1884407.477	30805180.710	32689588.190

Elaborado por los autores

7.4. Asignación en el programa ETABS

La asignación en el programa para el análisis será mediante la aplicación de un punto en el centroide de la platea, donde se colocarán las masas calculadas; luego, la asignación de un resorte con los coeficientes de rigidez que simulan las características elásticas del suelo de fundación, que será repartida en toda el área de la platea.

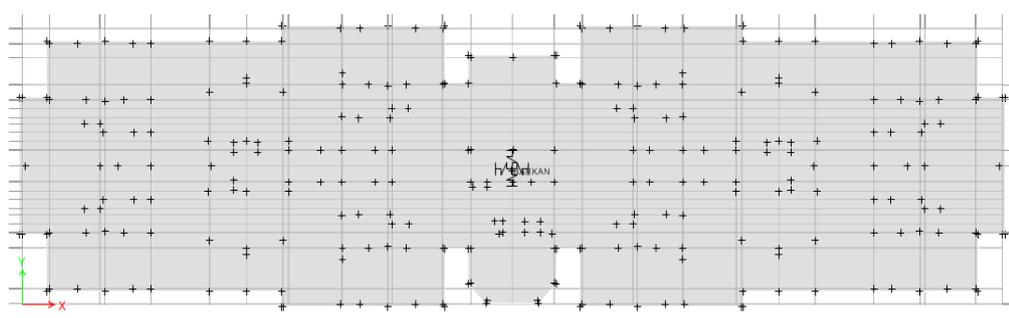


Figura 19. Asignación del resorte en la platea

Fuente: Programa ETABS

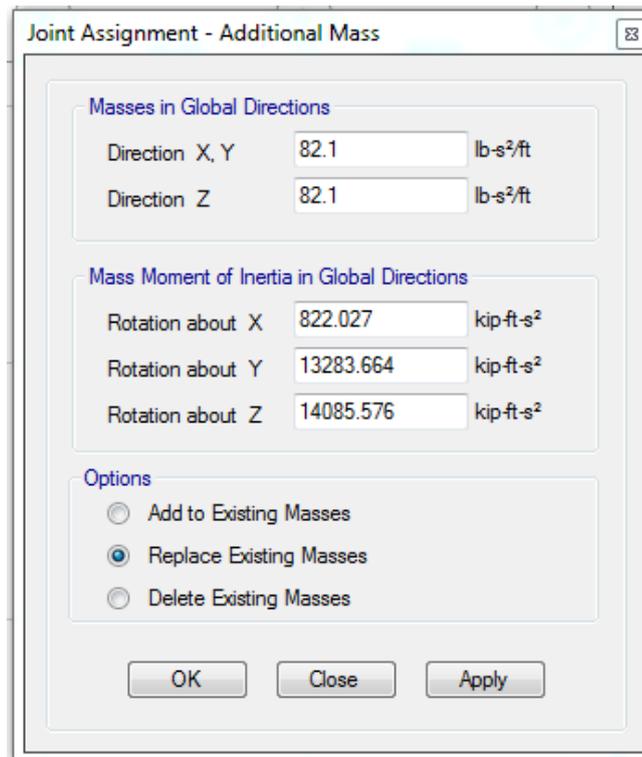


Figura 20. Asignación de masas
Fuente: Programa ETABS

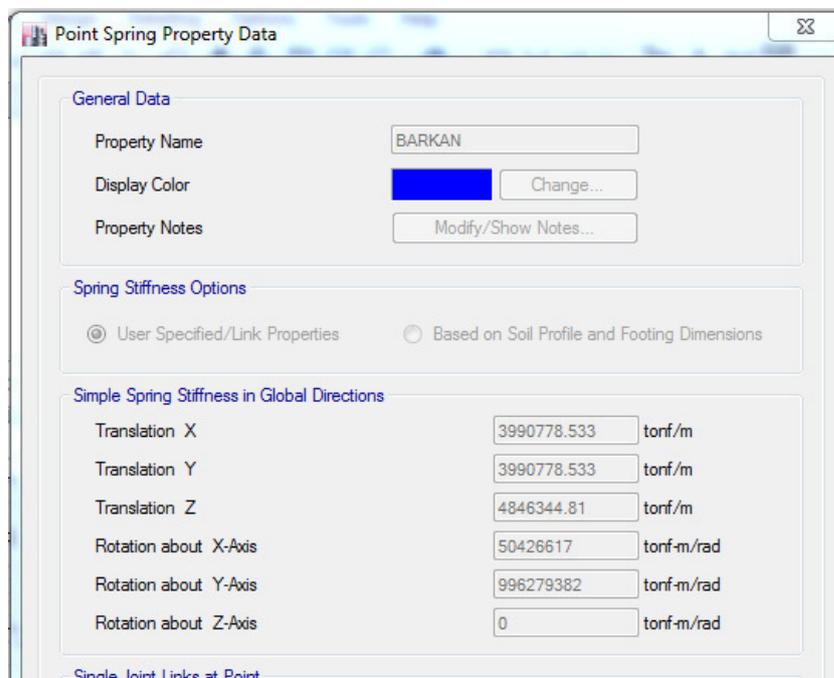


Figura 21. Asignación de los coeficientes de rigidez
Fuente: Programa ETABS

CAPÍTULO VIII

COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Comparación de periodos

Como se aprecia en la tabla 34 y graficada en la figura 22, los periodos se incrementan en los diferentes modelos que consideran la flexibilidad del suelo, siendo los periodos del modo 1 los que tienden a incrementarse notoriamente, llegando a tener el modelo de la Norma Rusa, un periodo de 1.56 segundos; el modelo de Barkan, un periodo de 1.75 segundos; el modelo de Sargsian, un periodo de 1.81 segundos; y el modelo de Shariya, un periodo de 2.12 segundos, por lo que se acepta la hipótesis alterna 1.

Tabla 34. Comparación de periodos de los diferentes métodos

Modo	Comparación de Periodos				
	EMPOTRADO	BARKAN	NORMA RUSA	SARGSIAN	SHARIYA
1	1.223705	1.752386	1.563330	1.810870	2.120550
2	1.144108	1.288851	1.278070	1.293400	1.316820
3	1.011702	1.065061	1.055380	1.068890	1.085360
4	0.229923	0.243987	0.236940	0.249070	0.265400
5	0.197445	0.237790	0.231040	0.242300	0.256680
6	0.185485	0.193124	0.192560	0.193500	0.194460
7	0.095847	0.100325	0.097820	0.103690	0.113560
8	0.077231	0.088419	0.085250	0.091720	0.101310
9	0.072065	0.074346	0.074230	0.074430	0.074760
10	0.056250	0.059280	0.057270	0.062060	0.068040
11	0.043679	0.048649	0.046540	0.051430	0.057760

12	0.043161	0.043162	0.043160	0.043170	0.045740
13	0.043161	0.043161	0.043160	0.043160	0.043160
14	0.043161	0.043161	0.043160	0.043160	0.043160
15	0.043161	0.043161	0.043160	0.043160	0.043160
16	0.043161	0.043161	0.043160	0.043160	0.043160
17	0.043160	0.043160	0.043160	0.043160	0.043160
18	0.043159	0.043159	0.043160	0.043160	0.043160
19	0.043159	0.043159	0.043160	0.043160	0.043160
20	0.042940	0.042943	0.042940	0.042950	0.043160
21	0.042938	0.042938	0.042940	0.042940	0.042940
22	0.042938	0.042938	0.042940	0.042940	0.042940
23	0.042935	0.042936	0.042940	0.042940	0.042940
24	0.042930	0.042930	0.042930	0.042930	0.042940
25	0.042930	0.042930	0.042930	0.042930	0.042930
26	0.042930	0.042930	0.042930	0.042930	0.042930
27	0.042910	0.042927	0.042930	0.042930	0.042930
28	0.042225	0.042226	0.042230	0.042780	0.042930
29	0.042225	0.042225	0.042230	0.042230	0.042230
30	0.042225	0.042225	0.042230	0.042230	0.042230
31	0.042225	0.042225	0.042220	0.042220	0.042220
32	0.042225	0.042225	0.042220	0.042220	0.042220
33	0.042225	0.042225	0.042220	0.042220	0.042220
34	0.042223	0.042223	0.042220	0.042220	0.042220
35	0.042223	0.042223	0.042220	0.042220	0.042220
36	0.042028	0.042038	0.042040	0.042220	0.042220
37	0.042022	0.042022	0.042020	0.042030	0.042040
38	0.042022	0.042022	0.042020	0.042020	0.042020

Elaborado por los autores



Figura 22. Comparación de los periodos con los diferentes modelos

Elaborado por los autores

8.2. Comparación de los desplazamientos

Se obtuvieron los resultados de los desplazamientos de cada modelo dinámico para poder ser comparados en una gráfica junto con el modelo de empotramiento perfecto.

a) Modelo de D. D. Barkan – O. A. Savinov

En la tabla 35 se aprecia un desplazamiento máximo de 187.848 milímetros en la dirección X, y un desplazamiento máximo de 301.775 milímetros en la dirección Y.

Tabla 35. Desplazamientos modelo de Barkan

DIRECCIÓN X-X		DIRECCIÓN Y-Y	
Pisos	Desplazamiento (mm)	Pisos	Desplazamiento (mm)
Piso 16	187.848	Piso 16	301.775
Piso 15	172.800	Piso 15	279.842
Piso 14	157.734	Piso 14	257.922
Piso 13	142.686	Piso 13	236.052
Piso 12	127.728	Piso 12	214.299
Piso 11	112.955	Piso 11	192.740
Piso 10	98.465	Piso 10	171.459
Piso 9	84.375	Piso 9	150.552
Piso 8	70.803	Piso 8	130.136
Piso 7	57.875	Piso 7	110.318
Piso 6	45.725	Piso 6	91.220
Piso 5	34.515	Piso 5	72.981
Piso 4	24.431	Piso 4	55.751
Piso 3	15.692	Piso 3	39.686
Piso 2	8.559	Piso 2	24.966
Piso 1	3.357	Piso 1	11.795

Elaborado por los autores

b) Modelo de Norma Rusa

En la tabla 36 se aprecia un desplazamiento máximo de 181.197 milímetros en la dirección X, y un desplazamiento máximo de 272.444 milímetros en la dirección Y.

Tabla 36. Desplazamientos modelo de Norma Rusa

DIRECCIÓN X-X		DIRECCIÓN Y-Y	
Pisos	Desplazamiento (mm)	Pisos	Desplazamiento (mm)
Piso 16	181.197	Piso 16	272.444
Piso 15	166.604	Piso 15	251.946
Piso 14	151.997	Piso 14	231.462
Piso 13	137.399	Piso 13	211.037
Piso 12	122.891	Piso 12	190.733
Piso 11	108.554	Piso 11	170.640
Piso 10	94.500	Piso 10	150.863
Piso 9	80.834	Piso 9	131.504
Piso 8	67.676	Piso 8	112.694
Piso 7	55.143	Piso 7	94.554
Piso 6	43.376	Piso 6	77.229
Piso 5	32.531	Piso 5	60.876
Piso 4	22.788	Piso 4	45.653
Piso 3	14.378	Piso 3	31.748
Piso 2	7.547	Piso 2	19.355
Piso 1	2.628	Piso 1	8.694

Elaborado por los autores

c) Modelo de Sargsian

En la tabla 37 se aprecia un desplazamiento máximo de 190.958 milímetros en la dirección X, y un desplazamiento máximo de 311.441 milímetros en la dirección Y.

Tabla 37. Desplazamientos modelo de Sargsian

DIRECCIÓN X-X		DIRECCIÓN Y-Y	
Pisos	Desplazamiento (mm)	Pisos	Desplazamiento (mm)
Piso 16	190.958	Piso 16	311.441
Piso 15	175.707	Piso 15	289.017
Piso 14	160.439	Piso 14	266.612
Piso 13	145.193	Piso 13	244.256
Piso 12	130.041	Piso 12	222.017
Piso 11	115.079	Piso 11	199.967
Piso 10	100.413	Piso 10	178.191
Piso 9	86.157	Piso 9	156.780
Piso 8	72.428	Piso 8	135.846

Piso 7	59.351	Piso 7	115.493
Piso 6	47.066	Piso 6	95.837
Piso 5	35.730	Piso 5	77.018
Piso 4	25.524	Piso 4	59.166
Piso 3	16.677	Piso 3	42.449
Piso 2	9.446	Piso 2	27.032
Piso 1	4.172	Piso 1	13.122

Elaborado por los autores

d) Modelo de Shariya

En la tabla 38 se aprecia un desplazamiento máximo de 205.610 milímetros en la dirección X, y un desplazamiento máximo de 361.305 milímetros en la dirección Y.

Tabla 38. Desplazamientos modelo de Shariya

DIRECCIÓN X-X		DIRECCIÓN Y-Y	
Pisos	Desplazamiento (mm)	Pisos	Desplazamiento (mm)
Piso 16	205.610	Piso 16	361.305
Piso 15	189.392	Piso 15	336.254
Piso 14	173.165	Piso 14	311.216
Piso 13	156.965	Piso 13	286.232
Piso 12	140.868	Piso 12	261.351
Piso 11	124.983	Piso 11	236.642
Piso 10	109.413	Piso 10	212.166
Piso 9	94.284	Piso 9	188.019
Piso 8	79.718	Piso 8	164.273
Piso 7	65.844	Piso 7	141.030
Piso 6	52.808	Piso 6	118.391
Piso 5	40.766	Piso 5	96.458
Piso 4	29.907	Piso 4	75.362
Piso 3	20.457	Piso 3	55.229
Piso 2	12.695	Piso 2	36.221
Piso 1	6.980	Piso 1	18.531

Elaborado por los autores

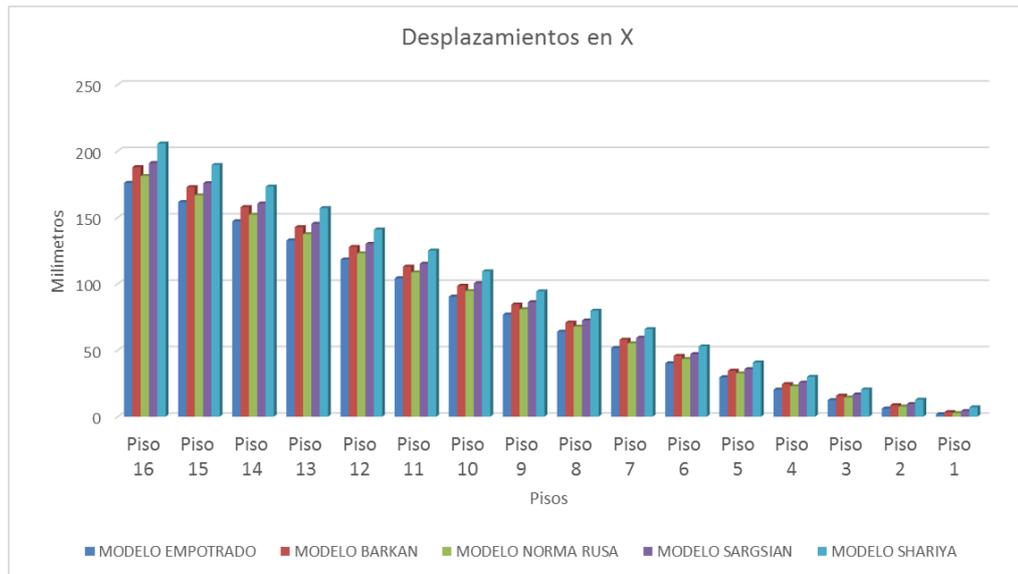


Figura 23. Comparación de desplazamientos en “X”

Elaborado por los autores

En la gráfica 23 se puede apreciar mejor los desplazamientos máximos en la dirección X, obtenidos del modelo empotrado y los diferentes modelos de interacción, siendo el modelo de Shariya el que más se ha desplazado a comparación de los modelos Sargsian y Barkan. El modelo de la Norma Rusa fue el que obtuvo el mínimo aumento.

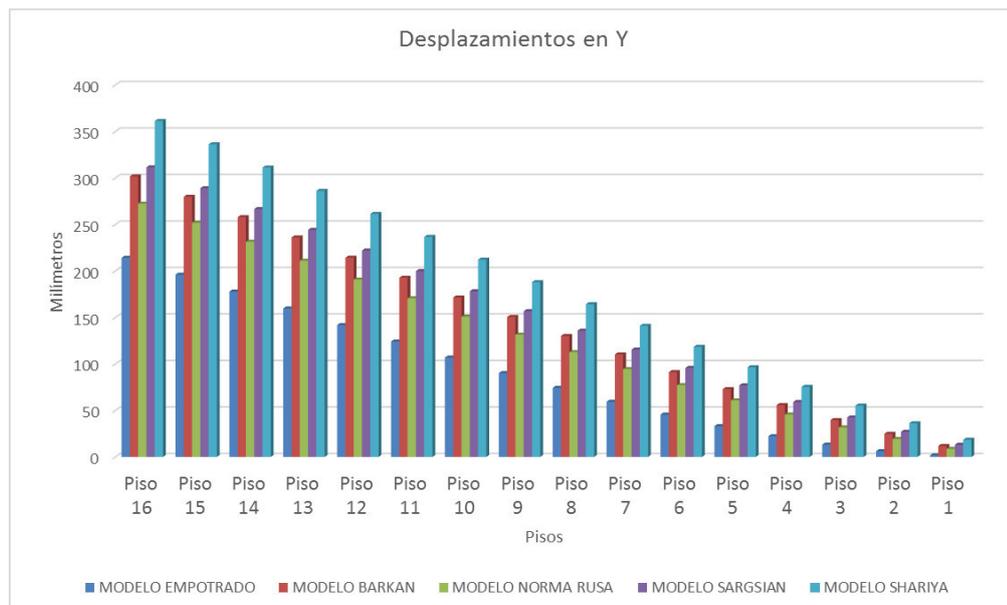


Figura 24. Comparación de desplazamientos en “Y”

Elaborado por los autores

En la gráfica 24 se puede apreciar mejor los desplazamientos máximos en la dirección Y, obtenidos del modelo empotrado y los diferentes modelos de interacción, siendo el modelo de Shariya el que más se ha desplazado a comparación de los modelos de Sargsian y Barkan. El modelo de la Norma Rusa es el que obtuvo el mínimo aumento.

De acuerdo con los resultados obtenidos se aprecia un aumento de los desplazamientos para todos los modelos, por lo que se puede aceptar la hipótesis alterna 2.

8.3. Comparación de las distorsiones

Se obtuvieron los resultados de las distorsiones de cada modelo dinámico para poder ser comparados en una gráfica junto con el modelo de empotramiento perfecto.

a) Modelo de D. D. Barkan – O. A. Savinov

Tabla 39. Distorsiones en “X” modelo de Barkan

DIRECCIÓN X-X				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001410	0.006	0.007	SI
Piso 15	0.001417	0.006	0.007	SI
Piso 14	0.001420	0.006	0.007	SI
Piso 13	0.001415	0.006	0.007	SI
Piso 12	0.001399	0.006	0.007	SI
Piso 11	0.001371	0.006	0.007	SI
Piso 10	0.001332	0.006	0.007	SI
Piso 9	0.001279	0.006	0.007	SI
Piso 8	0.001215	0.005	0.007	SI
Piso 7	0.001137	0.005	0.007	SI
Piso 6	0.001046	0.005	0.007	SI
Piso 5	0.000938	0.004	0.007	SI
Piso 4	0.000811	0.004	0.007	SI

Piso 3	0.000661	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000482	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000259	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 39 el control de distorsiones para la dirección X, todos los pisos cumplen por debajo del máximo permitido por la norma vigente, que es de 0.007.

Tabla 40. Distorsiones en “Y” modelo de Barkan

DIRECCIÓN Y-Y				
Pisos	Drift	Drift *R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.002036	0.009	0.007	NO
Piso 15	0.002037	0.009	0.007	NO
Piso 14	0.002034	0.009	0.007	NO
Piso 13	0.002024	0.009	0.007	NO
Piso 12	0.002007	0.009	0.007	NO
Piso 11	0.001980	0.009	0.007	NO
Piso 10	0.001943	0.009	0.007	NO
Piso 9	0.001896	0.009	0.007	NO
Piso 8	0.001838	0.008	0.007	NO
Piso 7	0.001769	0.008	0.007	NO
Piso 6	0.001687	0.008	0.007	NO
Piso 5	0.001592	0.007	0.007	SI
Piso 4	0.001483	0.007	0.007	SI
Piso 3	0.001358	0.006	0.007	SI
Piso 2	0.001215	0.005	0.007	SI
Piso 1	0.001047	0.005	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 40 que el control de distorsiones para la dirección Y, a partir del piso 6, ya no cumple el máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

b) Modelo de Norma Rusa

Tabla 41. Distorsiones en “X” modelo de Norma Rusa

DIRECCIÓN X-X				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001368	0.006	0.007	SI
Piso 15	0.001374	0.006	0.007	SI
Piso 14	0.001377	0.006	0.007	SI
Piso 13	0.001373	0.006	0.007	SI
Piso 12	0.001357	0.006	0.007	SI
Piso 11	0.001330	0.006	0.007	SI
Piso 10	0.001291	0.006	0.007	SI
Piso 9	0.001240	0.006	0.007	SI
Piso 8	0.001176	0.005	0.007	SI
Piso 7	0.001100	0.005	0.007	SI
Piso 6	0.001011	0.005	0.007	SI
Piso 5	0.000905	0.004	0.007	SI
Piso 4	0.000780	0.004	0.007	SI
Piso 3	0.000631	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000454	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000234	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 41 que el control de distorsiones para la dirección X, en todos los pisos, cumple por debajo del máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

Tabla 42. Distorsiones en “Y” modelo de Norma Rusa

DIRECCIÓN Y-Y				
Pisos	Drift	Drift *R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001902	0.009	0.007	NO
Piso 15	0.001903	0.009	0.007	NO
Piso 14	0.001900	0.009	0.007	NO
Piso 13	0.001890	0.009	0.007	NO
Piso 12	0.001870	0.008	0.007	NO
Piso 11	0.001841	0.008	0.007	NO
Piso 10	0.001800	0.008	0.007	NO
Piso 9	0.001747	0.008	0.007	NO

Piso 8	0.001683	0.008	0.007	NO
Piso 7	0.001605	0.007	0.007	SI
Piso 6	0.001513	0.007	0.007	SI
Piso 5	0.001406	0.006	0.007	SI
Piso 4	0.001284	0.006	0.007	SI
Piso 3	0.001143	0.005	0.007	SI
Piso 2	0.000983	0.004	0.007	SI
Piso 1	0.000794	0.004	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 42 que el control de distorsiones para la dirección Y, a partir del piso 8, ya no cumple el máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

c) Modelo de Sargsian

Tabla 43. Distorsiones en "X" modelo de Sargsian

DIRECCIÓN X-X				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001431	0.006	0.007	SI
Piso 15	0.001438	0.006	0.007	SI
Piso 14	0.001441	0.006	0.007	SI
Piso 13	0.001435	0.006	0.007	SI
Piso 12	0.001419	0.006	0.007	SI
Piso 11	0.001391	0.006	0.007	SI
Piso 10	0.001350	0.006	0.007	SI
Piso 9	0.001297	0.006	0.007	SI
Piso 8	0.001231	0.006	0.007	SI
Piso 7	0.001153	0.005	0.007	SI
Piso 6	0.001060	0.005	0.007	SI
Piso 5	0.000952	0.004	0.007	SI
Piso 4	0.000824	0.004	0.007	SI
Piso 3	0.000673	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000493	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000269	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 43 que el control de distorsiones para la dirección X, en todos los pisos, cumple por debajo del máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

Tabla 44. Distorsiones en “Y” modelo de Sargsian

DIRECCIÓN Y-Y				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.002081	0.009	0.007	NO
Piso 15	0.002082	0.009	0.007	NO
Piso 14	0.002079	0.009	0.007	NO
Piso 13	0.002070	0.009	0.007	NO
Piso 12	0.002053	0.009	0.007	NO
Piso 11	0.002027	0.009	0.007	NO
Piso 10	0.001991	0.009	0.007	NO
Piso 9	0.001945	0.009	0.007	NO
Piso 8	0.001888	0.008	0.007	NO
Piso 7	0.001821	0.008	0.007	NO
Piso 6	0.001742	0.008	0.007	NO
Piso 5	0.001650	0.007	0.007	SI
Piso 4	0.001544	0.007	0.007	SI
Piso 3	0.001423	0.006	0.007	SI
Piso 2	0.001284	0.006	0.007	SI
Piso 1	0.001121	0.005	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 44 que el control de distorsiones para la dirección Y, a partir del piso 6, ya no cumple el máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

d) Modelo de Shariya

Tabla 45. Distorsiones en “X” modelo de Shariya

DIRECCIÓN X-X				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.001523	0.007	0.007	SI
Piso 15	0.001529	0.007	0.007	SI
Piso 14	0.001533	0.007	0.007	SI

Piso 13	0.001527	0.007	0.007	SI
Piso 12	0.001510	0.007	0.007	SI
Piso 11	0.001480	0.007	0.007	SI
Piso 10	0.001438	0.006	0.007	SI
Piso 9	0.001382	0.006	0.007	SI
Piso 8	0.001313	0.006	0.007	SI
Piso 7	0.001231	0.006	0.007	SI
Piso 6	0.001134	0.005	0.007	SI
Piso 5	0.001021	0.005	0.007	SI
Piso 4	0.000889	0.004	0.007	SI
Piso 3	0.000733	0.003	0.007	SI
Piso 2	0.000548	0.002	0.007	SI
Piso 1	0.000318	0.001	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 45 que el control de distorsiones para la dirección X, en todos los pisos, cumple por debajo del máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

Tabla 46. Distorsiones en “Y” modelo de Shariya

DIRECCIÓN Y-Y				
Pisos	Drift	Drift*R	lim 0.007	Cumple
Piso 16	0.002325	0.010	0.007	NO
Piso 15	0.002326	0.010	0.007	NO
Piso 14	0.002323	0.010	0.007	NO
Piso 13	0.002315	0.010	0.007	NO
Piso 12	0.002300	0.010	0.007	NO
Piso 11	0.002277	0.010	0.007	NO
Piso 10	0.002246	0.010	0.007	NO
Piso 9	0.002206	0.010	0.007	NO
Piso 8	0.002157	0.010	0.007	NO
Piso 7	0.002098	0.009	0.007	NO
Piso 6	0.002030	0.009	0.007	NO
Piso 5	0.001951	0.009	0.007	NO
Piso 4	0.001861	0.008	0.007	NO
Piso 3	0.001758	0.008	0.007	NO
Piso 2	0.001639	0.007	0.007	SI
Piso 1	0.001499	0.007	0.007	SI

Elaborado por los autores

Se puede apreciar en la tabla 46 que el control de distorsiones para la dirección Y, a partir del piso 3, ya no cumple el máximo permitido por la norma vigente, que es 0.007.

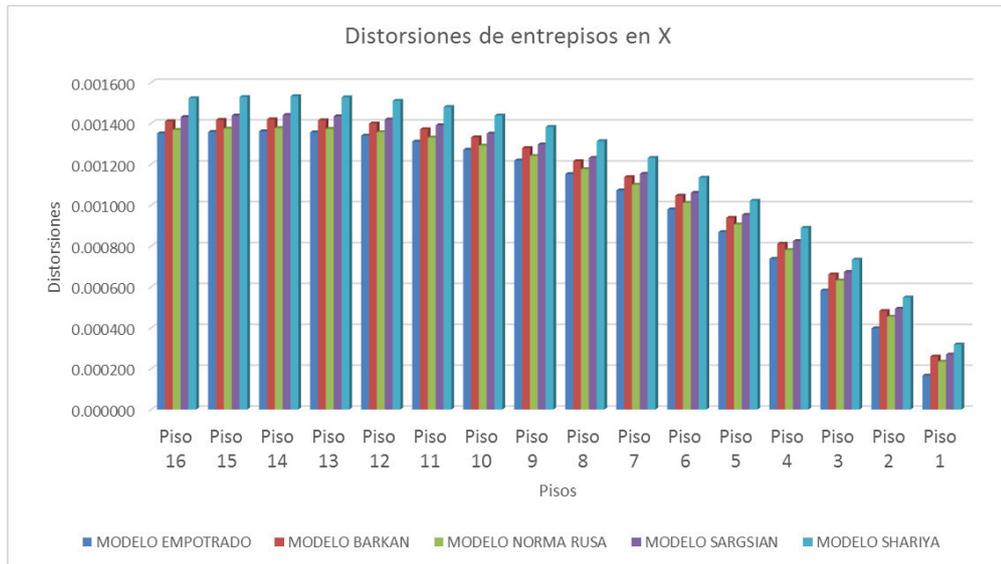


Figura 25. Comparación de distorsiones en “X”

Elaborado por los autores

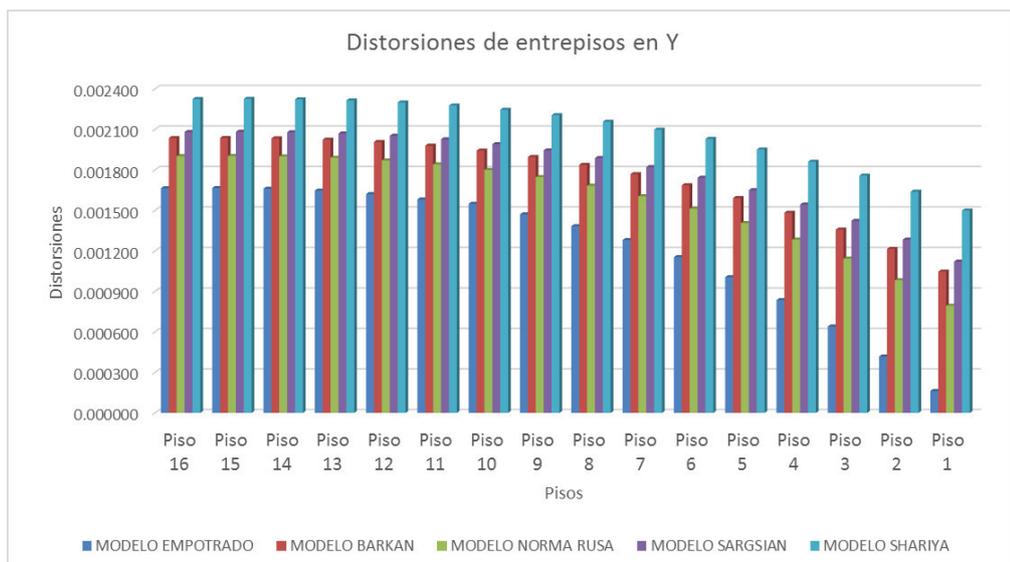


Figura 26. Comparación de distorsiones en “Y”

Elaborado por los autores

En las figuras 25 y 26 se observa que las distorsiones se incrementaron en todos los casos, obteniéndose los mayores resultados en el modelo de Shariya seguido del modelo Sargsian y Barkan, el menor incremento se obtuvo en el modelo de la Norma Rusa. Con estos resultados se puede aceptar la hipótesis alterna 3.

8.4. Comparación de fuerzas cortantes

Se compararon los resultados de las fuerzas cortantes de todos los modelos analizados

Tabla 47. Comparación de los cortantes modelos dinámicos

DIRECCIÓN	MODELO EMPOTRADO	MODELO BARKAN	MODELO NORMA RUSA	MODELO SARGSIAN	MODELO SHARIYA
X	546.88	548.48	536.51	564.52	591.30
Y	624.38	507.43	532.87	509.70	490.33

Elaborado por los autores

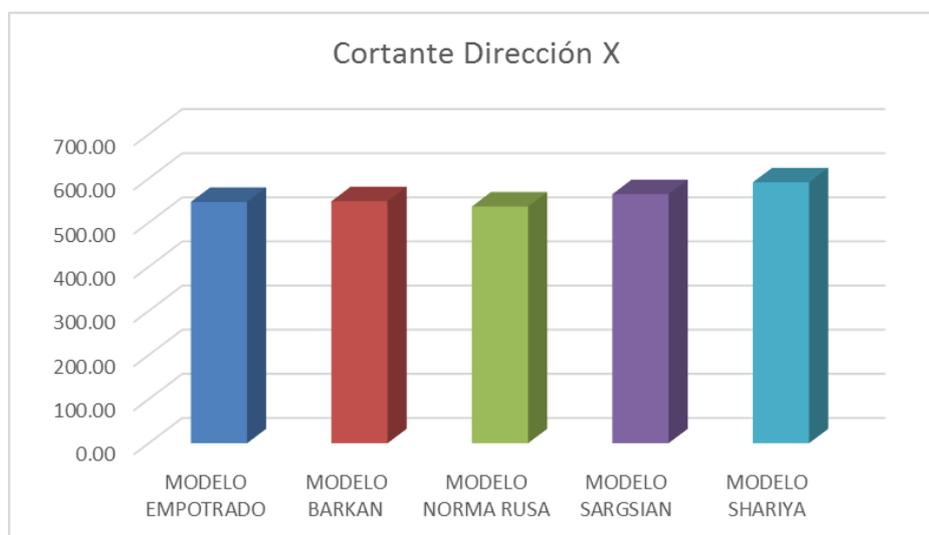


Figura 27. Comparación de las cortantes en "X"

Elaborado por los autores

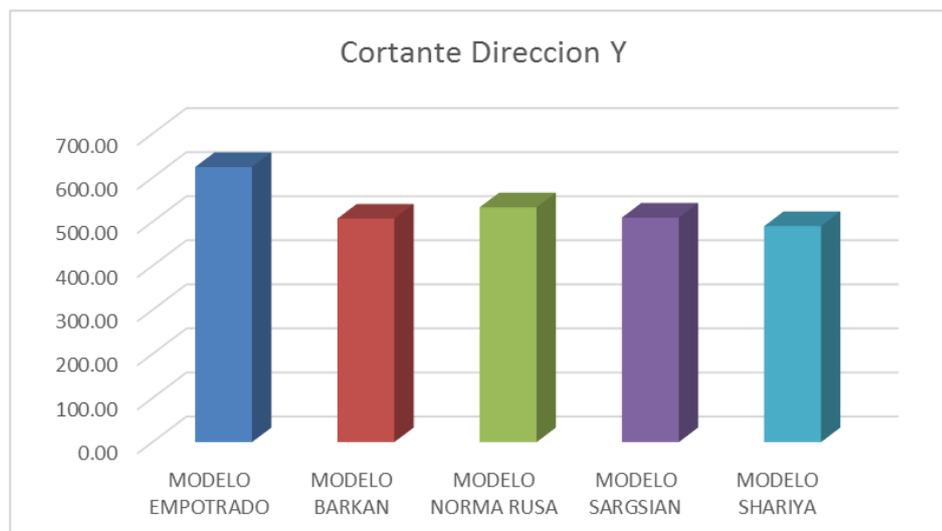


Figura 28. Comparación de las cortantes en “Y”

Elaborado por los autores

En la figura 27 se observa que en la dirección X la fuerza cortante se reduce en 1.90% en el modelo de la Norma Rusa, pero se incrementa en el resto de los casos.

En la figura 28 se aprecia que en la dirección Y, la fuerza cortante se ha reducido en todos los casos.

Debido a los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alterna 4 solamente para el modelo de la Norma Rusa, siendo la única que redujo los esfuerzos cortantes en ambas direcciones.

8.5. Comparación de momentos

Se compararon los resultados de los momentos de todos los modelos analizados

Tabla 48. Comparación de los momentos modelos dinámicos

DIRECCIÓN	MODELO EMPOTRADO	MODELO BARKAN	MODELO NORMA RUSA	MODELO SARGSIAN	MODELO SHARIYA
X	12988.84	8986.3595	9989.32	8729.71	7518.47
Y	10599.07	10141.6749	10231.71	10131.76	10062.33

Elaborado por los autores

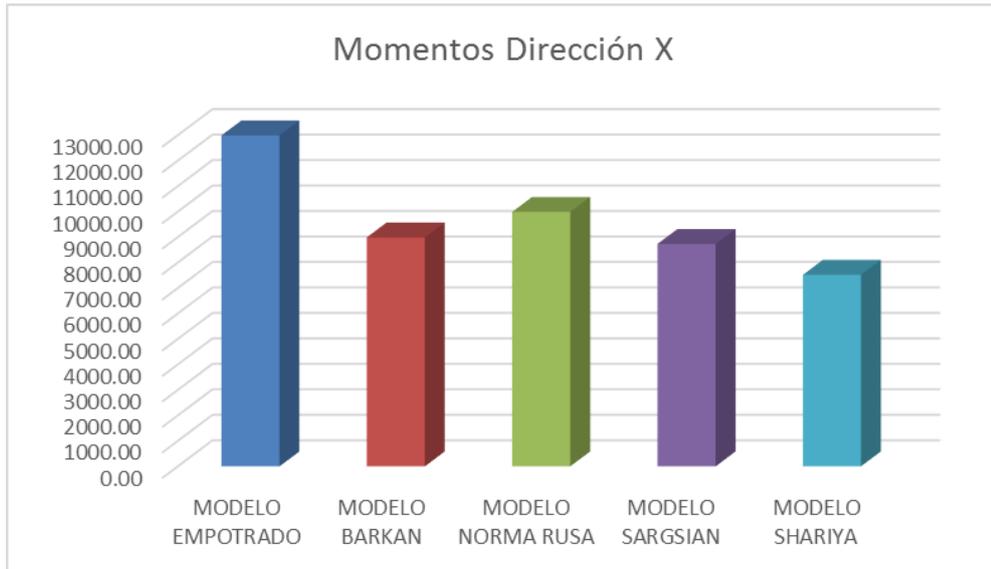


Figura 29. Comparación de los momentos en "X"

Elaborado por los autores

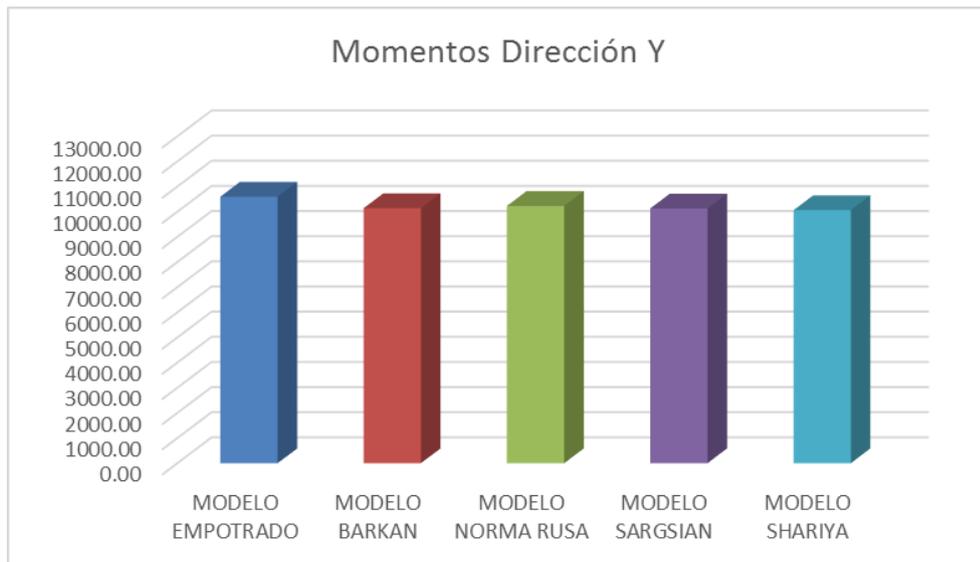


Figura 30. Comparación de los momentos en "Y"

Elaborado por los autores

En la figura 29 y 30 se observa que los momentos en ambas direcciones se reducen en todos los modelos de interacción en comparación con el modelo empotrado, se tiene la mayor reducción con el modelo de Shariya, seguido por los modelos de Sargsian y Barkan; la menor reducción se produjo con el modelo de la Norma Rusa, por lo que se acepta la hipótesis alterna 5.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos demuestran que al considerar los efectos de la interacción suelo – estructura, los periodos tienen incrementos respecto al modelo de empotramiento perfecto; así, el máximo incremento se dio con el modelo Shariya, en que el periodo del modo 1 se incrementó en 73.29%, mientras el mínimo incremento, se dio con el modelo de la Norma Rusa en 27.75%, aceptando la hipótesis alterna 1.
2. Dichos resultados verifican que al considerar los efectos de la interacción suelo – estructura, los desplazamientos tienen incremento respecto al modelo de empotramiento perfecto, ya que el máximo desplazamiento se dio con el modelo Shariya, en la dirección “X”, incrementándose en un 16.87%; en la dirección “Y”, el incremento fue de 68.69%. El mínimo incremento del desplazamiento se dio con el modelo de la Norma Rusa, en la dirección “X” se incrementó en 2.99% y en la dirección “Y” se incrementó en 27.20%, aceptando por tanto la hipótesis alterna 2.
3. Los resultados obtenidos verifican que al considerar los efectos de la interacción suelo – estructura, las distorsiones tienen incremento respecto al modelo de empotramiento perfecto, ya que la máxima distorsión se dio con el modelo Shariya, en la dirección “X”, incrementándose en 12.64%; en la dirección “Y” el incremento fue de

39.62%. El mínimo incremento de las distorsiones se dio con el modelo de la Norma Rusa, en la dirección "X" se incrementó en 1.18% y en la dirección "Y" se incrementó en 14.23%, aceptando la hipótesis alterna 3.

4. Con respecto a las fuerzas cortantes, no se llegó a comprobar la hipótesis en su totalidad, puesto que los resultados arrojan que las fuerzas cortantes se incrementaron en la dirección "X" para tres modelos dinámicos, siendo el máximo el modelo Shariya, que se incrementó en 8.12% a excepción de la Norma Rusa que se redujo en 1.90%. En la dirección "Y" se redujeron las fuerzas cortantes en todos los modelos, en el modelo Shariya se obtuvo la máxima reducción de 21.47%, aceptando la hipótesis alterna 4 solo para el modelo de la Norma Rusa.
5. De los resultados obtenidos se demuestra que, respecto a los momentos flectores, se comprobó la hipótesis alterna 5, ya que en todos los modelos se produjo una reducción, siendo el modelo de Shariya, en la dirección "X", el que produjo una reducción de 42.12%, y en la dirección "Y", se redujo en 5.06%.
6. Se demuestra según los resultados que el modelo de la Norma Rusa es el más adecuado, debido a que presenta resultados más cercanos al modelo de empotramiento perfecto. Los modelos de Barkan y Sargsian no tienen mucha diferencia puesto que ambos arrojan resultados parecidos. El modelo de Shariya es muy riguroso, por lo que no es adecuado, debido a que amplifica las derivas y los esfuerzos de manera excesiva.

RECOMENDACIONES

1. Emplear los modelos dinámicos de interacción suelo – estructura, debido a que el análisis en conjunto proporciona una respuesta denominada “comportamiento real de la edificación”.
2. Realizar el análisis considerando la interacción suelo – estructura, mediante el modelo de la Norma Rusa, debido a que es la que más se acerca a la Norma Técnica E.030 - 2016.
3. Efectuar un análisis incorporando suelos blandos, debido a que la interacción suelo – estructura tiene mayor incidencia en este tipo de suelos, así como hacer un análisis considerando los registros sísmicos de gran magnitud ocurridos.
4. Mejorar la Norma Técnica E.030 - 2016 de Diseño Sismorresistente, incorporando al análisis la flexibilidad del suelo ya que como se presenció en la presente tesis, sirve para analizar si el proyecto necesita reestructurarse. Para ello, tomar como referencia el modelo de la Norma Rusa.
5. Investigar considerando diferentes modelos de interacción suelo – estructura, a los que se plantean en esta investigación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Borda, J. & Rodríguez, J. (2012). Análisis de los efectos de interacción sísmica suelo - estructura en una edificación de hormigón armado ubicada en Cochabamba - Bolivia. V Congreso Internacional de Ingeniería Estructural Sísmica y Puentes, Lima, Perú.

Carhuapoma, M. & Parodi, C. (2015). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones aporticadas en el barrio de Pueblo Nuevo en la ciudad de Lircay (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

Cerna, M. & Espinoza, C. (2008). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

García, A. (2006). Interacción suelo - estructura en el análisis y diseño sísmico de estructuras de mampostería no reforzada. XV Congreso nacional de ingeniería estructural, Jalisco, México.

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.

Vega, A. & Zárate, S. (2012). Análisis y diseño estructural con interacción suelo - estructura (ISE) mediante una comparación entre el modelo sísmico normativo y un modelo integrado de un edificio multifamiliar de 9 pisos del proyecto "Condominio Parque Los Olivos" con carácter social con sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) en la ciudad de Lima (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) (2016) Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, Lima, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) (2016) Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, Lima, Perú.

Samohod, A. (2018). Apuntes y separatas del curso Taller de Tesis.

Villarreal, C. G. (2017). Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones con plateas de cimentación. Lima, Perú.

Zúñiga, M. (2017). Revisión de la respuesta sísmica con y sin efecto de interacción suelo - estructura de un edificio a base de muros de concreto reforzado para el almacenamiento de archivos (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

TÍTULO: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN EDIFICIO CON MUROS ESTRUCTURALES APLICANDO LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA (CONDominio LOS GIRASOLES – COMAS – LIMA)						
PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			METODOLOGÍA
			VARIABLES INDEPENDIENTE:	INDICADORES	MEDICIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento del comportamiento sísmico de un edificio con sistema de muros estructurales	Método de D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV Método de la NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87 Método de A.E. SARGSIAN Método de N.G. SHARIYA	Coefficiente de rigidez Coefficiente de amortiguamiento	Kx, Ky, Kz (Ton/m) Kφx, Kφy, Kψz (Ton.m) Bx, By, Bz (Ton.s/m) Bφx, Bφy, Bψz (Ton.s.m)	Quantitativo Por qué se utiliza deducciones basado en teoría existente y las variables son números (datos medibles)
ESPECÍFICO			DEPENDIENTE: Comportamiento sísmico de la edificación	Análisis dinámico (interacción suelo-estructura)	Fuerzas cortantes (Ton) Momento flector (Ton.m) Derivas de Entrepisos (Adimensional) Desplazamientos máximos (centímetros) Periodos (segundos)	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los periodos de un edificio con sistema de muros estructurales				No experimental Aplicación de normas y métodos para el análisis estructural a través de un software
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de los desplazamientos de un edificio con sistema de muros estructurales				NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptiva Describe los hechos como son observados durante la investigación
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en el aumento de las distorsiones de un edificio con sistema de muros estructurales				CASO DE INVESTIGACIÓN Edificación con sistemas de muros estructurales de 16 pisos sobre platea de cimentación, tipo común destinada para viviendas, en el distrito de Comas.
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de las fuerzas cortantes de un edificio con sistema de muros estructurales				PROCESAMIENTO DE DATOS La información obtenida de la investigación se presentará en cuadros y gráficos estadísticos.
¿De qué manera influye la aplicación de la interacción suelo - estructura en los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales	La aplicación de la interacción suelo – estructura influye en la reducción de los momentos flector de un edificio con sistema de muros estructurales				