



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## **FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Influencia de la interacción suelo – estructura en el  
comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el  
software ETABS, Lima – 2020”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

**AUTORA:**

Olivo Cardenas, Susana Luz ( [0000-0003-3659-3912](tel:0000-0003-3659-3912) )

**ASESOR:**

Mg. Minaya Rosario, Carlos Danilo ( [0000-0002-0655-523X](tel:0000-0002-0655-523X) )

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2020

### **Dedicatoria**

Esta tesis va dedicada a mis padres por estar presente en cada momento de mi vida, apoyándome y guiándome para ser un profesional de bien.

### **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a mis padres, por apoyarme y ayudarme a seguir adelante en el transcurso de la carrera.

A la “Universidad César Vallejo” por las enseñanzas en el transcurso de los años de estudio y a los profesores que estuvieron capacitados para una buena enseñanza.

A mi asesor Mg. Carlos Danilo Minaya Rosario por el asesoramiento, apoyo continuo y bondad al compartir sus conocimientos conmigo, para la realización de mi tesis; y a mis amigos por su apoyo.

## Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenido .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGÍA .....	24
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	25
3.2. Variables y operacionalización.....	26
3.3. Población, muestra y muestreo.....	27
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.5. Procedimientos .....	29
3.6. Método de análisis de datos.....	29
3.7. Aspectos éticos.....	29
IV. RESULTADOS .....	30
V. DISCUSIÓN.....	85
VI. CONCLUSIONES.....	95
VII. RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS.....	104

## Índice de tablas

Tabla N°01: Ecuaciones para los coeficientes de rigidez – FEMA 356.....	15
Tabla N°02: Ecuaciones del factor de Corrección – modelo FEMA 356 .....	15
Tabla N°03: Ecuaciones para los coeficientes de rigidez de las zapatas - ASCE	16
Tabla N°04: Ecuaciones de los factores de desplante – modelo ASCE.....	17
Tabla N°05: Ecuaciones para los factores de rigidez dinámica que toma en cuenta la vibración de la estructura.....	17
Tabla N°06: Factores de zona “Z” .....	19
Tabla N°07: Consideraciones para el factor de suelo (S).....	20
Tabla N°08: Consideraciones para los periodos ( $T_p$ y $T_I$ ).....	20
Tabla N°09: Sistemas estructurales para $R_0$ .....	21
Tabla N°10: Categoría de las Edificaciones y Factor “U” .....	22
Tabla N° 11: Cálculo de la fuerza cortante en “x”– Análisis estático .....	38
Tabla N° 12: Cálculo de la fuerza cortante en “y”– Análisis estático .....	40
Tabla N°13: Fuerzas cortantes por niveles en “x” - Etabs.....	41
Tabla N°14: Fuerzas cortantes por niveles en “y” - Etabs.....	42
Tabla N°15: Desplazamiento por niveles en “x” - Etabs.....	43
Tabla N°16: Desplazamiento por niveles en “y” - Etabs.....	44
Tabla N°17: Derivas por niveles en “x” - Etabs.....	45
Tabla N°18: Derivas por niveles en “y” - Etabs.....	46
Tabla N°19: Cálculo de la aceleración espectral en x.....	48
Tabla N°20: Fuerzas cortantes en x – análisis dinámico.....	49
Tabla N°21: Desplazamientos en x – análisis dinámico .....	50
Tabla N°22: Derivas en x – análisis dinámico .....	51
Tabla N°23: Cálculo de la aceleración espectral en y.....	53
Tabla N°24: Fuerzas cortantes en y – análisis dinámico.....	54

Tabla N°25: <i>Desplazamientos en y – análisis dinámico</i> .....	55
Tabla N°26: <i>Derivas en y – análisis dinámico</i> .....	56
Tabla N°27: <i>Límites de las derivas</i> .....	57
Tabla N°28: <i>Resumen de rigideces totales - FEMA</i> .....	65
Tabla N°29: <i>Resumen de las rigideces de la cimentación en la superficie – ASCE</i> .75	
Tabla N°30: <i>Resumen de los factores de corrección de incrustación – ASCE</i> .....	75
Tabla N°31: <i>Resumen de los factores de rigidez dinámica que consideran la vibración de la estructura - ASCE</i> .....	75
Tabla N°32: <i>Rigideces totales – ASCE</i> .....	75
Tabla N°33: <i>Resumen de periodos de vibración de los modelos de ISE</i> .....	78
Tabla N°34: <i>Resumen de desplazamientos de los modelos de ISE</i> .....	79
Tabla N°35: <i>Resumen de derivas de los modelos de ISE</i> .....	81
Tabla N°36: <i>Resumen de fuerzas cortantes de los modelos de ISE</i> .....	83
Tabla N°37: <i>Desplazamientos dirección x</i> .....	89
Tabla N°38: <i>Desplazamientos dirección y</i> .....	89
Tabla N°39: <i>Resumen de periodos de vibración – Sucasaca y Mamani</i> . .....	91
Tabla N°40: <i>Cortantes máximos – base fija</i> . .....	93
Tabla N°41: <i>Cortantes máximos – Barkan</i> . .....	94
Tabla N°42: <i>Cortantes máximos – ASCE</i> .....	94

## Índice de gráficos y figuras

<i>Figura N°01: Modelo Propuesto por Fema 440</i> .....	14
<i>Figura N°02: consideraciones para el periodo fundamental.</i> .....	19
<i>Figura N°03: Consideraciones para la Ampliación sísmica (C)</i> .....	20
<i>Figura N°04: Gráfico de Espectro de aceleraciones con ISE</i> .....	21
<i>Figura N°05: Factor de escala para la cortante mínima</i> .....	23
<i>Figura N°06: Definición del material del Concreto armado <math>f'c = 280 \text{ kg/cm}^2</math>.</i> .....	31
<i>Figura N°07: Definición del material del Acero <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>.</i> .....	32
<i>Figura N°08: Definición del material de la Columna C-1 (0.90m X 0.90m).</i> .....	32
<i>Figura N°09: Definición del material de la Columna C-2 (0.80m X 0.80m).</i> .....	33
<i>Figura N°10: Definición del material de la Viga (0.35mX0.75m)</i> .....	33
<i>Figura N°11: Definición del material de la Viga (0.40mX0.75m)</i> .....	34
<i>Figura N°12: Definición del material de Losa Aligerada X y Y</i> .....	34
<i>Figura N°13: Definición del material de Losa Maciza</i> .....	35
<i>Figura N°14: Definición de las cargas</i> .....	35
<i>Figura N°15: Modelación del edificio de 10 pisos.</i> .....	36
<i>Figura N°16: Gráfico de la fuerza cortante por piso en “x” – análisis estático</i> .....	39
<i>Figura N°17: Gráfico de distribución de fuerza sísmica en “x” – análisis estático</i> .....	39
<i>Figura N°18: Gráfico de la fuerza cortante por piso en “y” – análisis estático</i> .....	40
<i>Figura N°19: Gráfico de distribución de fuerza sísmica en “y” – análisis estático</i> .....	41
<i>Figura N°20: Gráfico de fuerzas cortantes en “x” – análisis estático (Etabs)</i> .....	42
<i>Figura N°21: Gráfico de fuerzas cortantes en “y” – análisis estático (Etabs)</i> .....	43
<i>Figura N°22: Gráfico de desplazamientos por niveles en “x” – análisis estático (Etabs)</i> .....	44
<i>Figura N°23: Gráfico de desplazamientos por niveles en “y” – análisis estático (Etabs)</i> .....	45

<i>Figura N°24:</i> Gráfico de derivas por niveles en “x” – análisis estático (Etabs) .....	46
<i>Figura N°25:</i> Gráfico de derivas por niveles en “y” – análisis estático (Etabs) .....	47
<i>Figura N°26:</i> Gráfico de espectro de diseño en “x” .....	49
<i>Figura N°27:</i> Gráfico de fuerzas cortantes en “x” – análisis dinámico (Etabs) .....	50
<i>Figura N°28:</i> Gráfico de los desplazamientos en “x” – análisis dinámico (Etabs)	51
<i>Figura N°29:</i> Gráfico de las derivas en “x” – análisis dinámico (Etabs).....	52
<i>Figura N°30:</i> Gráfico de espectro de diseño en “y” .....	54
<i>Figura N°31:</i> Gráfico de fuerzas cortantes en “y” – análisis dinámico (Etabs) .....	55
<i>Figura N°32:</i> Gráfico de los desplazamientos en “y” – análisis dinámico (Etabs)	56
<i>Figura N°33:</i> Gráfico de las derivas en “y” – análisis dinámico (Etabs).....	57
<i>Figura N°34:</i> Dimensiones de la zapata 1 - FEMA .....	59
<i>Figura N°35:</i> Dimensiones de la zapata 2 - FEMA .....	62
<i>Figura N°36:</i> Dimensiones de la zapata 1 - ASCE .....	66
<i>Figura N°37:</i> Dimensiones de la zapata 2 - ASCE .....	70
<i>Figura N°38:</i> Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 1 - FEMA	76
<i>Figura N°39:</i> Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 2 - FEMA	76
<i>Figura N°40:</i> Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 1 – modelo ASCE. ....	77
<i>Figura N°41:</i> Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 2 – modelo ASCE. ....	77
<i>Figura N°42:</i> Periodo de vibración con ISE .....	79
<i>Figura N°43:</i> Desplazamientos en “x” con ISE .....	80
<i>Figura N°44:</i> Desplazamientos en “y” con ISE .....	80
<i>Figura N°45:</i> Derivas en “x” con ISE .....	82
<i>Figura N°46:</i> Derivas en “y” con ISE .....	82
<i>Figura N°47:</i> Fuerzas cortantes en “x” con ISE .....	83
<i>Figura N°48:</i> Fuerzas cortantes en “y” con ISE .....	84



<i>Figura N°49: Desplazamientos dirección x.....</i>	89
<i>Figura N°50: Desplazamientos dirección y.....</i>	90
<i>Figura N°51: Periodos y modos de vibrar.....</i>	92
<i>Figura N°52: Comparación entre cortantes máximos.....</i>	94

## Resumen

En este presente trabajo su objetivo principal fue determinar que tanto influye la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima 2020, sabiendo que hoy en día esto no es aplicado en la Norma Técnica Peruana Sismorresistente, pero esto ayudaría a analizar la estructura en cuanto a la base del edificio con el suelo.

Esta investigación se desarrolló con el único fin de entender la influencia de la ISE en el comportamiento sísmico de la estructura, dando a conocer los efectos que produce en cuanto al desplazamiento, periodo de vibración y fuerzas cortantes de la estructura en comparación del modelo patrón, promoviendo el análisis de la flexibilidad del suelo y también una mejor respuesta de la estructura; teniendo como referencias o guías las diversas investigaciones realizadas por tesisistas.

Esta investigación utilizó una metodología cuasiexperimental donde se desarrolla ciertos cálculos llevados al Software Etabs para la observación de los desplazamientos, periodos de vibración y fuerzas cortantes comparados con el modelo patrón, la cual los cálculos que van conforme a la ISE son los coeficientes de rigidez que son obtenidos por los modelos FEMA y ASCE.

Finalmente, con los cálculos obtenidos para los coeficientes de rigidez que fueron llevados al software Etabs, resultó que en cuanto a indicadores de los objetivos específicos mencionados aumentaron en cada modelo de ISE comparados con el modelo patrón, de esta manera se vio la flexibilidad que tiene la estructura.

**Palabras claves:** Interacción suelo - estructura, comportamiento sísmico, análisis dinámico.

## **Abstract**

In this present work its main objective was to determine how much the soil-structure interaction influences the seismic behavior of a 10-story building applying the ETABS software, Lima 2020, knowing that today this is not applied in the Peruvian Seismic-resistant Technical Standard, but this would help to analyze the structure in terms of the base of the building with the ground.

This research was developed with the sole purpose of understanding the influence of the ISE on the seismic behavior of the structure, showing the effects it produces in terms of displacement, vibration period and shear forces of the structure compared to the standard model. promoting the analysis of soil flexibility and also a better response of the structure; having as references or guides the various investigations carried out by thesis students.

This research used a quasi-experimental methodology where certain calculations taken to the Etabs Software are developed for the observation of the displacements, periods of vibration and shear forces compared with the standard model, which the calculations that go according to the ISE are the stiffness coefficients that They are obtained by the FEMA and ASCE models.

Finally, with the calculations obtained for the stiffness coefficients that were taken to the Etabs software, it turned out that in terms of indicators of the specific objectives mentioned they increased in each ISE model compared to the standard model, in this way the flexibility that it has was seen the structure.

**Keywords:** Soil - structure interaction, seismic behavior, dynamic analysis.

## **I. INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

La presencia de los fenómenos sísmicos a nivel mundial trae problemas en la construcción de edificaciones, así como también en el suelo dando a existir el estudio de la interacción suelo y estructura. Así mismo, los problemas que se genera son debido al alto peligro sísmico por lo que en muchas ocasiones las edificaciones habitadas por abundantes personas están directamente afectados a la inseguridad. Además, otro problema se encuentra la existencia de la mala calidad de los suelos, lo cual para la construcción se realizan estudios correspondientes para la observación de los efectos sísmicos en la estructura.

En diversos países como Ecuador, España y Colombia son zonas que se encuentran en alta peligrosidad sísmica, por ello para su proceso de construcción se realizó estudios correspondientes ya sea en suelo como en la estructura, de las cuales en Ecuador se hizo un estudio al suelo con cimentación de zapatas aisladas referente a la interacción suelo estructura (ISE) de un edificio de seis pisos, obteniéndose como resultado las propiedades y las características mediante el software ETABS y por medio de los diversos métodos de análisis realizados, la cual se llega a determinar que la estructura se manifiesta en un incremento en el periodo y los desplazamientos, la reducción de las fuerzas internas en los elementos estructurales debido a la difracción y refracción de ondas sísmicas en la cimentación. Luego en España, se realizó un estudio a un edificio, lo cual uno de los problemas aparte de las ondas sísmicas esta también las ondas de movimiento ocasionado por los trenes que transitan, por ello para la obtención de los resultados utilizaron los métodos MEC y MEF que con ello se obtuvo que la estructura resultó ser muy rígida la cual no da respuestas satisfactorias, asique con el aumento de la frecuencia generó que la estructura tenga buena flexibilidad. Luego en Colombia, se realizó el análisis de ISE de un edificio de 10 pisos con el análisis de Push Over en el programa ETABS, la cual el suelo fue tipo lacustre para la facilitación del estudio ya que permitió que la estructura tenga menor rigidez.

El Perú está ubicada en una de las zonas altamente sísmica, zona donde se libera más del 85% de energía acumulada; lo cual uno de las consecuencias que trae es la existencia de la mala calidad de los suelos que afectan a las estructuras o edificaciones mediante los movimientos sísmicos generando inseguridad en las

estructuras. Por ello se pudo observar investigaciones realizadas en varios departamentos como en Puno que realizaron un estudio al estadio universitario UNA, lo cual dicho análisis fue modelado en el software ETABS 16 y por diversos modelos propuestos, lo cual el modelo FEMA y BARKAN fueron lo más satisfactorio y notorio en la muestra de los resultados, ya que se observó que hubo menor rigidez en la estructura y aumento de los periodos de vibración, esto beneficia a la flexibilidad de la estructura. Seguidamente en Cajamarca, realizó el estudio de un edificio de 7 pisos, lo cual en la obtención de los resultados en el análisis sísmico del edificio se hizo a través del software SAP 2000 v.18 y algunos modelos dinámicos de científicos propuestos, que están considerados al análisis de la ISE. Así mismo, en Tacna, mediante el sismo de gran magnitud ocurrido en el año 2001 esto llevó a que están expuestas nuestras edificaciones, por ello se realizó un estudio con el programa ETABS 2015, la cual se obtuvo la reducción en la rigidez observando así que hubo aumento en el desplazamiento de la estructura y también mostró una mejor flexibilidad.

Lima, alberga consecuentemente un silencio sísmico desde los años 1746, la cual da a entender que se acumula energía y que en algún momento puede generar algún movimiento sísmico de magnitud muy importante, así mismo según la norma E-030 es altamente sísmico con zona 4. Además, uno de los lugares de Lima a realizar la presente investigación es el distrito de Los Olivos, por la cual mediante un informe del Ministerio de Vivienda anuncia que dicho distrito cuenta con un suelo arenoso de tipo S2 con un riesgo relativamente bajo en la que no es muy recomendable construir. También, para la presente investigación garantiza cálculos sísmicos en la ISE para la determinación del estudio de la influencia de la interacción suelo – estructura de un edificio de 10 pisos, la cual mediante los modelos FEMA y ASCE aplicados en el programa ETABS se observó el comportamiento que tuvo la base (zapatas) de la estructura con el suelo siguiendo las reglamentaciones necesarias como la Norma Técnica Peruana y las normas de los modelos mencionados.

### **Formulación del problema:**

Basándonos en uno de los sismos más destructivos ocurrido en Pisco (2007) los fenómenos sísmicos en Lima, las cuales es una de las ciudades altamente sísmicas

del Perú, han generado diversos problemas en cuanto a la construcción de edificaciones afectando al suelo como la base de la estructura (cimentación), por ello diversos investigadores lo han llevado al análisis de la Interacción suelo – estructura.

### **Problema general**

¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de la estructura de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima - 2020?

### **Problemas específicos**

¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el periodo de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

### **Justificación**

Para toda obra es importante desarrollarlo de la mejor forma, por ello precisando que Lima se encuentra en una zona de tipo 4, la cual es considerada de gran sismicidad según norma E-030 y que los sismos son continuos, ocasionando daños o problemas a la estructura. Por consiguiente, la presente investigación justifica los criterios siguientes:

**Relevancia social:** Con la aplicación de la interacción suelo – estructura en el análisis del edificio de 10 pisos con la consideración de los modelos FEMA y ASCE, la presente investigación servirá como un guía práctico para los futuros investigadores que se especialicen en esta área, además de ello sirva como una alternativa para mejorar la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente.

**Implicaciones practicas:** Esta investigación permite entender la influencia de la ISE, dando a conocer los efectos que produce la estructura en comparación del modelo principal (sin ISE), promoviendo una mejor respuesta antisísmica de la estructura.

**Valor teórico:** Esta investigación da a conocer cuan favorable es aplicar la interacción suelo – estructura en el estudio de la respuesta estructural, para ello es necesario tener conocimiento sobre la NTP.

**Utilidad metodológica:** Esta investigación de basa en la metodología del análisis dinámico y análisis estático, la cual se fundamenta baso normativas nacionales como internacionales.

**Hipótesis general:**

La integración de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos influyó de manera positiva en dar respuestas aproximadas a la realidad, Lima – 2020.

**Hipótesis específicas:**

La interacción suelo – estructura influyó en el aumento del desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

La interacción suelo – estructura influyó en el aumento del periodo de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

La interacción suelo – estructura influyó en la disminución de las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

**Objetivo general:**

Determinar que tanto influye la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima - 2020.

**Objetivos específicos:**

Determinar que tanto influye la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020.

Determinar que tanto influye la interacción suelo – estructura en el periodo de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020.

Determinar que tanto influye la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020.



## **II. MARCO TEÓRICO**

## II.MARCO TEÓRICO

JINES (2017), en su investigación titulada *“Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones de Sistema Dual en la ciudad de Moquegua”* de la Universidad Privada de Tacna. Tuvo como **objetivo** general aplicar y analizar la interacción suelo – estructura a edificaciones a sistema dual con zapata aislada. Fue una **investigación** aplicativa descriptivo correlacional, ya que se realiza los cálculos y el análisis del comportamiento del suelo relacionado a la estructura. La población fue el total de las edificaciones de sistema dual o mixto que existe en la ciudad de Moquegua, lo cual se tomó como **muestra** las edificaciones de sistema dual de 6 pisos. Los **instrumentos** empleados fue el programa ETABS 2015 y los modelos de interacción SE. Lo cual uno de los **resultados** en el caso dinámico las derivas aumentan 38% en dirección x, 18% en la dirección Y, los desplazamientos aumentan en la dirección x un 42% y 34% en dirección Y. En **conclusión**, con la aplicación de la ISE los desplazamientos y las fuerzas internas aumentan, la cual están en función de la rigidez, por lo que los resultados obtenidos nos indica la flexibilidad de la base que proporciona el suelo<sup>1</sup>.

SUCASACA y MAMANÍ (2017). En su tesis *“Evaluación de los efectos de interacción suelo – estructura en el Estadio Universitario UNA – PUNO”* de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Tuvo como **objetivo** evaluar los efectos de Interacción Suelo Estructura en el estadio universitario de la UNA- PUNO. Fue estudiada como una **investigación** de tipo descriptivo, ya que se realiza la descripción del comportamiento del edificio que tiene una base empotrada. La población estudiada fueron los edificios de la Tribuna Occidente, Oriente y Sur. Así mismo, **la muestra** fue el Bloque II de la Tribuna Occidente de 15 pisos. Los **instrumentos** utilizados para el procedimiento de esta investigación fueron el programa ETABS versión 2016 y, los modelos propuestos como el FEMA 440, Winkler, Norma Rusa Snip y Barkan-Savinov. **El resultado** para el análisis del periodo de vibración en el modelo Norma Rusa aumentó en 0.882 seg.; para el modelo Winkler, 0.889 seg.; para el modelo Barkan, 0.893 seg., y para el modelo Fema fue de 0.917 seg. **En conclusión**, con la consideración de la ISE se observó que el periodo de vibración aumentó conforme a los distintos modelos, la cual se

entiende que se acerca al comportamiento real de la estructura frente a un evento sísmico<sup>2</sup>.

GARAY (2017) en su proyecto de investigación ***“Influencia de la Interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 7 niveles del proyecto “Multifamiliar Los Balcones del Valle” barrio Columbo – Cajamarca”*** de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cuyo **objetivo** es determinar la influencia que tiene la interacción SE en el comportamiento sísmico de una edificación, mediante la determinación de esfuerzos, periodos de vibración y desplazamiento. Fue una **investigación** de tipo no experimental descriptivo. La población fueron todas las edificaciones del sector del barrio Columbo. **La muestra** fue el edificio de 7 niveles del proyecto multifamiliar. Así mismo, los **instrumentos** empleados fueron el programa SeismoMatch 2016 y el SAP 2000. En el análisis sísmico de la edificación el **resultado** en los elementos estructurales se redujo las fuerzas internas en 37.18% y hubo un aumento de los desplazamientos laterales de entrepiso en 28.49%, en los periodos de vibración en primera forma aumentó en 23.78%. Se **concluyó** que la ISE influye positivamente en el comportamiento sísmico de la estructura del edificio, generando variación en la determinación de periodos, frecuencias de vibración, y desplazamientos de los elementos estructurales<sup>3</sup>.

MEJÍA (2018). En su tesis ***“Análisis de interacción suelo estructura en conjunto con un análisis Push Over en una edificación de 10 pisos en pórticos de concreto, en zonas lacustres de la microzonificación sísmica de Bogotá”*** en la Universidad Militar Nueva Granada - Bogotá. Cuyo objetivo fue realizar un análisis de interacción SE considerando el comportamiento elástico y plástico del suelo a partir del módulo de elasticidad y rigidez del mismo. La investigación fue correlacional tipo estático no lineal utilizando los ensayos que permiten obtener las propiedades de esfuerzo deformación del suelo. La población fueron todos los edificios de la ciudad de Bogotá. Lo cual la muestra fue los edificios de 10 pisos en concreto reforzado con cimentación profunda en zonas lacustres. Los instrumentos empleados fueron el programa ETABS y el programa Plaxis. Los resultados observados mostraron que, disminuyeron los desplazamientos a medida que pasa de Lacustre 50 a 500, esto es atribuible en reducción de aproximada de 4 g en la

aceleración espectral de dichas zonas, que se vio la cantidad de acero de refuerzo que se requirió en las estructuras. En conclusión, a partir del método de análisis Push Over se encontró el comportamiento estructural más real que conllevó a desarrollar la ductilidad de la estructura en acero de refuerzo, en un controlado desplazamiento de la capacidad estructural<sup>4</sup>.

SANTANA (2015) en su investigación **“Análisis de los efectos de interacción suelo – estructura en la respuesta sísmica de estructuras enterradas”** en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria – España. Cuyo objetivo es desarrollar un modelo numérico riguroso y eficiente desde el punto de vista computacional. La investigación fue realizada por dos métodos: Método de los tres pasos (considerando la estructura perfectamente rígida) y la Metodología directa (considerando la flexibilidad de la estructura). La población fueron todos los edificios de España. La muestra fue un edificio de 30 pisos (100 m) de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Los instrumentos fueron los métodos MEF y MEC. Los resultados obtenidos mediante los métodos mencionados se realizó un modelo numérico, la cual estudia la influencia de las repuestas del edificio mediante ondas P, SV SH y la respuesta de la interacción SE por la cercanía de otra estructura. En conclusión, dicho modelo determinado garantiza una ventaja económica que permite abordar problemas con mucha cantidad de edificios, y también estudiar la interacción suelo – estructura o en qué medida cambia las características del edificio<sup>5</sup>.

PEÑAFIEL (2019) en su proyecto de investigación **“Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo - Estructura”** en la Universidad Estatal del Sur de Manabí – Ecuador. Cuyo objetivo fue Comparar los resultados del análisis estructural de una edificación de mediana altura en la ciudad de Jipijapa con zapatas aisladas en su cimentación; considerando la interacción SE versus el sistema de base rígida. La investigación fue de tipo experimental. La población fueron todos los edificios de Jipijapa. La muestra es un edificio de 6 pisos con una altura de 18 m de la ciudad de parrales y guale. Los instrumentos fueron el software ETABS. Uno de los resultados obtenidos en el desplazamiento aumentó en 86% en el modelo FEMA mas que en la base empotrada, y en la deriva máxima sin

sobrepasar aumentó en 2%. En conclusión, los efectos de interacción suelo – estructura considerados con el suelo tipo D brinda un desplazamiento con periodos prolongados en las deformaciones mínimas de la estructura<sup>6</sup>.

BUITRAGO (2017). En su tesis titulada **“Soil-Structure Interaction Effects on the Seismic Response of Low-Rise Eccentrically Braced Frames”** en la Universidad de Arkansas, Fayetteville – EE.UU. Cuyo objetivo fue presentar y discutir enfoques para incluir efectos de ISE en el análisis sísmico de edificios. Fue una investigación descriptiva, puesto que se realizó un análisis del comportamiento sísmico de pórticos arriostrados excéntricamente (EBF). La población fueron todos los edificios de la ciudad de Fayetteville. La muestra fue un edificio de 3 pisos con Pórticos arriostrados excéntricamente (EBF) sobre cimientos poco profundos con y sin ISE. Los instrumentos fueron el SAP 2000, el análisis estático no lineal y el análisis del historial de respuesta no lineal. Uno de los resultados fue que para los EBF se diseñaron con una base fija y luego se analizaron con base flexible, sin embargo, la ductilidad global,  $\mu$ , es ligeramente mayor para la base flexible con resortes NL en comparación con los otros dos modelos: base fija y base flexible; mientras que el modelo de base fija y base flexible con resortes tienen  $\mu$  similares. En conclusión, tanto el EBF diseñado ignorando ISE como el EBF diseñado considerando que ISE cumplió con los criterios de diseño para derivas entre pisos, derivas residuales, enlace rotaciones y demandas de columnas<sup>7</sup>.

YANG LU (2016). En su investigación **“Seismic Soil - Structure Interaction In Performance - Based Design”** en The University of Nottingham – China. Cuyo objetivo fue mejorar los procedimientos actuales para la interacción suelo estructura en el diseño de edificios basados en el rendimiento de ingeniería sísmica. Fue una investigación de tipo experimental, ya que se realizará el diseño de la estructura de un edificio. La población fueron todos los edificios de la ciudad de Malaysia. La muestra fue los edificios inelásticos de varios pisos en Malaysia. Los instrumentos empleados fueron el programa FLAC3D y los distintos modelos como el tipo dominio, el tipo resorte y el macroelemento. Los resultados fueron dados por un tipo de suelo blando, que se observó la normalización del período equivalente de un sistema SSI Tssi por los períodos predominantes correspondientes dio resultados más racionales para el diseño sísmico, en los espectros de respuesta

elástica (Tssi) normalizada por un período predominante del espectro TP. En conclusión, para cualquier movimiento de tierra, la demanda de ductilidad estructural de base flexible no lineal podría calcularse con una precisión deseable a partir de la demanda de ductilidad global de todo el sistema SSI que se ha demostrado en el software FLAC3D<sup>8</sup>.

TOMEIO (2017). En su tesis **“Soil-structure interaction effects on the seismic behaviour of reinforced concrete structures”** de la Universidad de Naples Federico II – Italia. Cuyo objetivo es establecer en qué casos se pueden realizar análisis simplificados y análisis más refinados en la estructura de un edificio. La investigación fue realizada por el método Push Over. La población fueron todos los edificios de la ciudad de Nápoles. La muestra fueron los edificios regulares e irregulares de la ciudad de Nápoles. Los instrumentos utilizados fueron el Software OpenSees y modelos propuestos como FEM y BNWF. Los resultados principales con respecto a los edificios de 12 pisos en suelos blandos el alargamiento del periodo de la estructura aumenta en 30%, para edificios cortos disminuye que llega a 7% lo cual se vuelve menos importante. En conclusión, el efecto de interacción SE generan un efecto de aumento de la deformabilidad del suelo de cimentación en los periodos de vibración de la estructura<sup>9</sup>.

RIBERA (2019). En su artículo titulada **“Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile”** en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Cuyo objetivo es evaluar el comportamiento sísmico de una edificación de gran altura con sótanos profundos considerando DSSI. La investigación fue metodológica. La población fueron todas las edificaciones de la torre costanera center con altura de más de 200m. La muestra es una edificación de gran altura con sótanos en el contexto chileno con 300m de altura. Los instrumentos dados fueron el modelo directo de elementos finitos de DSSI y el modelo de subestructura de DSSI. Los principales resultados fueron dados por la caracterización de los esfuerzos laterales sísmicos en muros de retención de subterráneos y las distintas diferencias entre el nivel del sello de fundación y la demanda sísmica de campo libre. En conclusión, los efectos relativos a la dependencia del movimiento suelo-estructura son incorporados en la respuesta dinámica del suelo. Estos efectos según las evaluaciones realizadas son

controlados por: la respuesta dinámica de la estructura, el contacto muro-suelo y la flexibilidad de los muros de retención, entre otros aspectos<sup>10</sup>.

AGUIAR y ORTIZ (2017) en su artículo **“Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando Interacción suelo – estructura”** en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Ecuador. Cuyo objetivo es determinar el análisis sísmico de un edificio aplicando el método espectral. La investigación tuvo como metodología de las ASCE – 10 para el estudio de un modelo simplificado considerando la interacción suelo – estructura. La población fue todos los edificios de la ciudad de Manta. La muestra fue un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta. Los instrumentos utilizados fueron el programa desp\_fuer\_NP que determina los desplazamientos y fuerzas de cada pórtico de la estructura; y la guía NEHRP-12. Los resultados principales en la deriva del piso dieron como resultados no mayores a 0.70% en los 10 pisos primeros, y para los dos últimos pisos la deriva del piso excedió dicho valor tanto que en el piso doce en componente E – W llegó a 1.40%. En conclusión, se pudo observar los desplazamientos, las fuerzas en la estructura y la deriva del piso de acuerdo al rango de daños que ocasiona los sismos<sup>11</sup>.

VILLARRAGA, Manuel [et al] (2019) en su artículo **“Estudio paramétrico de los efectos de la Interacción sísmica suelo – estructura”** de la Universidad Nacional de Colombia. Cuyo objetivo es analizar los efectos de interacción sísmica suelo – estructura en estudios paramétricos. La investigación fue utilizada con por el método completo mediante los modelos finitos por medio del programa FLUSH. La población fueron todos los edificios de la ciudad de Medellín. La muestra fueron edificios con alturas entre 5 y 20 pisos. El instrumento utilizado fue el programa FLUSH 2005. Los resultados principales de un edificio de 7 pisos se observaron que superó el valor de 1/6 para que la estructura sea estable, así mismo los valores sobrepasan también en los edificios de 12 pisos, esto da a entender que es causado por mayor rigidez en las estructuras con respecto a los edificios de pórticos. En conclusión, los fenómenos de interacción más notorios no necesariamente ocurren en edificios esbeltos en suelos blandos sino cuando ocurren coincidencias entre el periodo de vibración de la estructura y el suelo<sup>12</sup>.

## **INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA**

Es el análisis dinámico entre el suelo y la cimentación, lo cual la cimentación transfiere movimiento a la estructura del edificio cuando hay un evento sísmico tomando en cuenta las propiedades elásticas que plantea dicha interacción. La ISE plantea propiedades elásticas que puede tener el suelo, esto quiere decir que el suelo no es prácticamente rígido en todas las zonas, así como se ha obtenido en diversos análisis, puesto que el suelo tiene un grado de amortiguación que absorbe parte de la energía que proporciona el sismo<sup>13</sup>.

El análisis dinámico que abarca a lo estructural es una acción sísmica, es decir, estudia los fenómenos sísmicos que afectan directamente a la estructura clasificado en un carácter periódico que señala el movimiento de un sismo durante un tiempo que es circular. Así mismo, “La acción sísmica se considera una acción dinámica, al definir las se incide en su carácter periódico, ya que los terremotos se manifiestan en instantes concretos en el tiempo y de manera aleatoria [...]” [14]. Con ello, los efectos de ISE influyen en la determinación de los desplazamientos, los modos de vibración, y la rigidez de la base.

Por otro lado “existen disposiciones de interacción suelo-estructura en ingeniería estadounidense normas y pautas de diseño como: Evaluación sísmica y modernización de edificios de concreto (ATC - 40, 1996); Análisis sísmico de estructuras nucleares relacionadas con la seguridad (ASCE 4 -98, 1998); disposiciones recomendadas por NEHRP para regulaciones sísmicas para nuevos edificios y otras estructuras (FEMA 450, 2003); Mejora del análisis sísmico estático no lineal (FEMA 440, 2005); Rehabilitación sísmica de edificios existentes (ASCE / SEI 41-06, 2007); [...]” [15].

- **Interacción SE cinemática**

Este tipo de interacción es cuando hay un desplazamiento en la estructura cuando hay un sismo, lo cual aparecen las deformaciones en el edificio que hace que exista rigidez, es decir en una interacción cinemática se calcula la rigidez de la estructura considerando que no tenga masa. Así mismo, “las deformaciones causadas por la interacción cinemática, son calculadas en consideración de que la cimentación



posee rigidez, pero que no tengan masa. De tal manera que la ecuación para el cálculo del movimiento es mostrada a continuación [...] [16].

- **Interacción SE inercial**

En este tipo de interacción tanto la cimentación como la estructura poseen masa y esto hace que tengan una respuesta dinámica (estudio de los elementos estructurales y su respuesta cuando están sometidas a fuerzas sísmicas) y que el movimiento que es transmitido al suelo producirá movimiento a la estructura, lo cual este tipo de interacción solo es aplicada para la estructura. Así mismo, “este tipo de interacción es consecuencia de la estructura que es dada por sí sola, lo cual responde por su masa que genera movimiento en el suelo equivalentes a fuerzas inerciales. De tal manera que la ecuación del movimiento se obtiene por la siguiente ecuación” [17].

### Modelo FEMA

El FEMA 356 contiene ecuaciones para el cálculo de la rigidez, así mismo se puede calcular las propiedades de la cimentación mediante resortes mediados considerando el ATC 40; aplicado ahí el FEMA 440 para el análisis sísmico estático. Así como el FEMA 356 y como el ATC-40 contienen ecuaciones para determinar la rigidez traslacional y rotacional de los cimientos, lo cual se puede observar que en tanto las normas mencionadas se difieren en su formulación para el cálculo de la rigidez<sup>18</sup>.

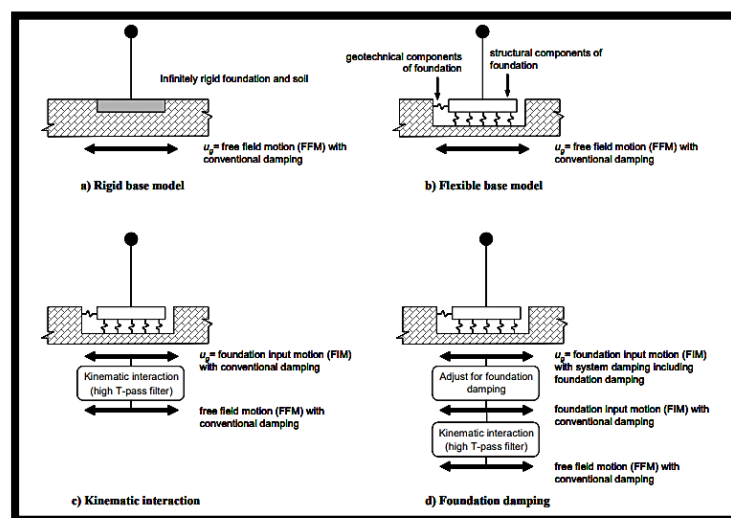
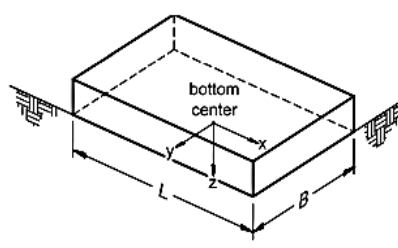


Figura N°01: Modelo Propuesto por Fema 440

Fuente: Fema 440 (2005)

En un pequeño resumen se observa que en la tabla N°1 se encuentran las ecuaciones de modelo interacción para el cálculo de la rigidez de la superficie x, y, z; las cuales se deben llevar como multiplicado al factor de incrustación  $\beta$  que será representada en la tabla n°2<sup>19</sup>.

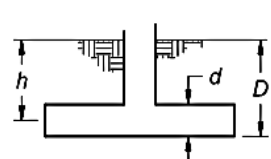
Tabla N°01: Ecuaciones para los coeficientes de rigidez – FEMA 356

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x, sur} = \frac{GB}{2-v} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	 <p>bottom center</p> <p>orient axes such that <math>L \geq B</math></p>
Translation along y-axis	$K_{y, sur} = \frac{GB}{2-v} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z, sur} = \frac{GB}{1-v} \left[ 1.55 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx, sur} = \frac{GB^3}{1-v} \left[ 0.4 \left( \frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy, sur} = \frac{GB^3}{1-v} \left[ 0.47 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz, sur} = GB^3 \left[ 0.53 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	

Fuente: FEMA 356

Donde: G es el Módulo de rigidez a corte (Ton/m<sup>2</sup>); B es la base de la zapata medida desde el punto centro (m); v es el coeficiente de Poisson (adimensional) y L es el largo de la zapata medido desde el punto centro (m).

Tabla N°02: Ecuaciones del factor de Corrección – modelo FEMA 356

Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment	Note
Translation along x-axis	$\beta_x = \left( 1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[ 1 + 1.6 \left( \frac{hd(B+L)}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$	 <p><math>d</math> = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height)</p> <p><math>h</math> = depth to centroid of effective sidewall contact</p> <p>For each degree of freedom, calculate  <math>K_{emb} = \beta K_{sur}</math></p>
Translation along y-axis	$\beta_y = \beta_x$	
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[ 1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left( 2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.32 \left( \frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/3} \right]$	
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[ 1 + \frac{2d}{B} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$	
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left( \frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[ 1.5 + 3.7 \left( \frac{d}{L} \right)^{1.9} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$	
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \left( \frac{d}{B} \right)^{0.9}$	

Fuente: FEMA 356

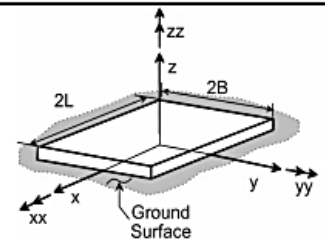
## Modelo ASCE

Este modelo contiene las ecuaciones para el cálculo de los periodos de vibración de la estructura de un edificio, la cual genera una respuesta dinámica ante alguna acción de movimiento sísmico. “En el modelo ASCE 10 utiliza los periodos y el primer modo de vibración que está en función de  $K_{xx}$  que estas son correspondidas al total de sumatorias de matrices de rigidez lateral y  $m$  de matriz de masas de la estructura. Para ello están empleadas en diversas ecuaciones como las que se mostrarán a continuación” [20].

A continuación, se muestra las ecuaciones para el coeficiente de rigidez, la cual para la presente investigación se utilizó las ecuaciones de Gazetas (1991) Mylonakis et al. (2006); ya que presenta la más actualizada.

Tabla N°03: Ecuaciones para los coeficientes de rigidez de las zapatas - ASCE

Degree of Freedom	Pais and Kausel (1988)	Gazetas (1991); Mylonakis et al. (2006)
Translation along z-axis	$K_{z,svr} = \frac{GB}{1-\nu} \left[ 3.1 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right]$	$K_{z,svr} = \frac{2GL}{1-\nu} \left[ 0.73 + 1.54 \left( \frac{B}{L} \right)^{0.75} \right]$
Translation along y-axis	$K_{y,svr} = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 6.8 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 \left( \frac{L}{B} \right) + 1.6 \right]$	$K_{y,svr} = \frac{2GL}{2-\nu} \left[ 2 + 2.5 \left( \frac{B}{L} \right)^{0.85} \right]$
Translation along x-axis	$K_{x,svr} = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 6.8 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$	$K_{x,svr} = K_{y,svr} - \frac{0.2}{0.75-\nu} GL \left( 1 - \frac{B}{L} \right)$
Torsion about z-axis	$K_{z,svr} = GB^3 \left[ 4.25 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right]$	$K_{z,svr} = GJ_i^{0.75} \left[ 4 + 11 \left( 1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right]$
Rocking about y-axis	$K_{yy,svr} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 3.73 \left( \frac{L}{B} \right)^{1.4} + 0.27 \right]$	$K_{yy,svr} = \frac{G}{1-\nu} (I_y)^{0.75} \left[ 3 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.15} \right]$
Rocking about x-axis	$K_{xx,svr} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 3.2 \left( \frac{L}{B} \right) + 0.8 \right]$	$K_{xx,svr} = \frac{G}{1-\nu} (I_x)^{0.75} \left( \frac{L}{B} \right)^{0.25} \left[ 2.4 + 0.5 \left( \frac{B}{L} \right) \right]$
Notes:	<p>Axes should be oriented such that <math>L \geq B</math>.</p> <p><math>I_i</math> = area moment of inertia of soil-foundation contact, <math>i</math> denotes which axis to take the surface around.</p> <p><math>J_i = I_x + I_y</math> polar moment of inertia of soil-foundation contact surface.</p> <p><math>G</math> = shear modulus (reduced for large strain effects, e.g., Table 2-1).</p>	



Fuente: Guía NISTGCR 2012; Gazetas (1991); Mylonakis et al. (2006)

Donde:

- G: Módulo de rigidez o de corte.
- $\nu$ : Coeficiente Poisson
- $I_{x,y}$ : Inercia en el sentido X y Y.

-  $J = I_x + I_y$

Tabla N°04: Ecuaciones de los factores de desplante – modelo ASCE

Degree of Freedom	Pais and Kausel (1988)	Gazetas (1991); Mylonakis et al. (2006)
Translation along z-axis	$\eta_z = \left[ 1.0 + \left( 0.25 + \frac{0.25}{L/B} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$	$\eta_z = \left[ 1 + \frac{D}{21B} \left( 1 + 1.3 \frac{B}{L} \right) \right] \left[ 1 + 0.2 \left( \frac{A_w}{4BL} \right)^{2/3} \right]$
Translation along y-axis	$\eta_y = \left[ 1.0 + \left( 0.33 + \frac{1.34}{1 + L/B} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$	$\eta_y = \left( 1 + 0.15 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \left[ 1 + 0.52 \left( \frac{z_w A_w}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$
Translation along x-axis	$\eta_x \approx \eta_y$	Same equation as for $\eta_y$ , but $A_w$ term changes for $B \neq L$
Torsion about z-axis	$\eta_\omega = \left[ 1 + \left( 1.3 + \frac{1.32}{L/B} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.9} \right]$	$\eta_\omega = 1 + 1.4 \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \left( \frac{d_w}{B} \right)^{0.9}$
Rocking about y-axis	$\eta_{yy} = \left[ 1.0 + \frac{D}{B} + \left( \frac{1.6}{0.35 + (L/B)^4} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^2 \right]$	$\eta_{yy} = 1 + 0.92 \left( \frac{d_w}{B} \right)^{0.6} \left[ 1.5 + \left( \frac{d_w}{D} \right)^{1.9} \left( \frac{B}{L} \right)^{-0.6} \right]$
Rocking about x-axis	$\eta_{xx} = \left[ 1.0 + \frac{D}{B} + \left( \frac{1.6}{0.35 + L/B} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^2 \right]$	$\eta_{xx} = 1 + 1.26 \frac{d_w}{B} \left[ 1 + \frac{d_w}{B} \left( \frac{d_w}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$

<p>Notes:</p> <p><math>d_w</math> = height of effective side wall contact (may be less than total foundation height)</p> <p><math>z_w</math> = depth to centroid of effective sidewall contact</p> <p><math>A_w</math> = sidewall-solid contact area, for constant effective contact height, <math>d_w</math>, along perimeter.</p> <p>For each degree of freedom, calculate <math>K_{amb} = \eta K_{sur}</math></p> <p>Coupling Terms: <math>K_{amb,yz} = \left( \frac{D}{3} \right) K_{amb,x}</math></p> <p><math>K_{amb,xy} = \left( \frac{D}{3} \right) K_{amb,y}</math></p>	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Guía NISTGCR 2012; Gazetas (1991); Mylonakis et al. (2006)

Tabla N°05: Ecuaciones para los factores de rigidez dinámica que toma en cuenta la vibración de la estructura

Degree of Freedom	Surface Stiffness Modifiers
Translation along z-axis	$\alpha_z = 1.0 - \frac{\left( 0.4 + \frac{0.2}{L/B} \right) a_0^2}{\left( \frac{10}{1 + 3(L/B - 1)} \right) + a_0^2}$
Translation along y-axis	$\alpha_y = 1.0$
Translation along x-axis	$\alpha_x = 1.0$
Torsion about z-axis	$\alpha_\omega = 1.0 - \frac{\left( 0.33 - 0.03\sqrt{L/B - 1} \right) a_0^2}{\left( \frac{0.8}{1 + 0.33(L/B - 1)} \right) + a_0^2}$
Rocking about y-axis	$\alpha_{yy} = 1.0 - \frac{0.55 a_0^2}{\left( 0.6 + \frac{1.4}{(L/B)^3} \right) + a_0^2}$
Rocking about x-axis	$\alpha_{xx} = 1.0 - \frac{\left( 0.55 + 0.01\sqrt{L/B - 1} \right) a_0^2}{\left( 2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3} \right) + a_0^2}$

Fuente: Guía NISTGCR 2012 – ASCE.

Donde:

- $Z_w$ : Profundidad al centroide del contacto efectivo con la pared lateral.
- $d_w$ : Altura de contacto efectivo con la pared lateral (puede ser menor que la altura total de la cimentación).
- $A_w$ : Área de contacto sólida de la pared lateral, para altura de contacto efectiva,  $d_w$ , a lo largo del perímetro.
- $\alpha_0$  ( $a_0$ ): frecuencia adimensional.
- $\omega$ : Frecuencia angular de vibración.
- $V_s$ : Velocidad de onda cortante.

## COMPORTAMIENTO SÍSMICO

El comportamiento sísmico da a entender cómo se comporta la estructura de una edificación al momento que ocurre un fenómeno sísmico por medio de sus movimientos, es decir, es el análisis estructural del edificio. Dicho análisis demuestra cómo se encuentra principalmente la estructura, este estudio está compuesto por dos análisis que se llega a conocer a continuación:

### Análisis Sísmico Estático

Este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación, la cual se desarrolló de acuerdo a la Norma E-030 Diseño Sismorresistente<sup>21</sup>.

- **Peso Sísmico**

Es la Suma de la carga muerta de la Estructura (CM) más un porcentaje de la carga viva (CV), la cual se utiliza para calcular la fuerza cortante basal.

$$P_{\text{sismico}} = PCM + \%PCV$$

- **Periodo Fundamental (Art. 4.5.4)**

El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

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

Donde:

<p><math>C_T = 35</math> Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:</p> <p>a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte. b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostamiento.</p> <p><math>C_T = 45</math> Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:</p> <p>a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) Pórticos de acero arriostrados.</p> <p><math>C_T = 60</math> Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura N°02: consideraciones para el periodo fundamental.

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

- **Parámetros de Zonificación (Z) (Art 2.1)**

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, que están vinculadas a las características generales de los movimientos sísmicos.

Tabla N°06: Factores de zona "Z"

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

- **Parámetros de sitio (S, Tp y TI) (Art. 2.4)**

De acuerdo al tipo de suelo, ya que se deberá considerar el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales utilizando los correspondientes valores en las siguientes tablas mostradas:

Tabla N°07: Consideraciones para el factor de suelo (S)

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

Tabla N°08: Consideraciones para los periodos (Tp y Tl)

Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>l</sub> "				
	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>l</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

- **Factor de Amplificación Sísmica (C) (Art. 2.5)**

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica "c" por las siguientes expresiones:

$I \leq T_p \quad C=2,5$ $T_p < I < T_L \quad C=2,5 * \left(\frac{T_p}{I}\right)$ $I \geq T_L \quad C=2,5 * \left(\frac{T_p * T_L}{I^2}\right)$	Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>l</sub> "			
	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>l</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Figura N°03: Consideraciones para la Ampliación sísmica (C)

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

El coeficiente C determina el factor de ampliación de la aceleración estructural y del suelo.

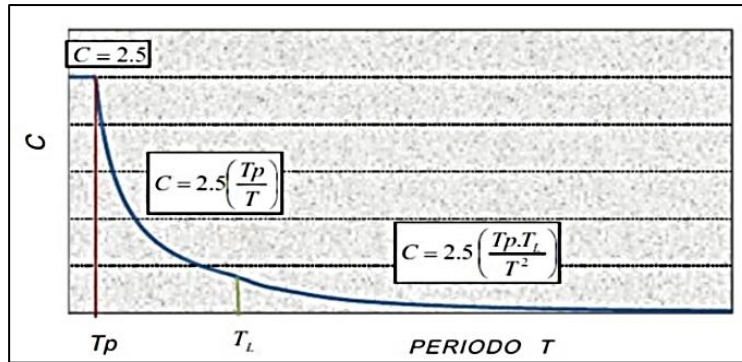


Figura N°04: Gráfico de Espectro de aceleraciones con ISE  
Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

- **Regularidad Estructural (Art. 3.5)**

Estructuras Regulares: son las que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades.

En estos casos, el factor  $I_a$  o  $I_p$  será igual a 1,0.

Estructuras Irregulares: son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en la Tabla de la norma E-30.

- **Coefficiente Básico (R0) Art. 3.4**

Los coeficientes básicos de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R0) se califican según el tipo de material usados y el tipo de sistema estructural.

Tabla N°09: *Sistemas estructurales para R0*

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción $R_0$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De Muros Estructurales	6
Muros de Ductilidad Limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	3
<b>Madera (Por Esfuerzos Admisibles)</b>	7

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)



- **Factor de Uso (U) (Art. 3.1)**

La estructura debe ser calificada de acuerdo a las siguientes categorías indicadas en la siguiente figura según la calificación que se haga.

Tabla N°10: *Categoría de las Edificaciones y Factor “U”*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de Salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.</li> <li>- Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</li> <li>- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</li> </ul> <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</p>	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

- **Coeficiente de reducción (Art. 3.8)**

Es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, la cual se determina como un producto mostrada a continuación:

$$R = R0.Ia.Ip$$

- **Fuerza Cortante en la Base (Art. 4.5.2)**

Se determinará por la siguiente expresión:

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

Considerando que:

$$C/R \geq 0.125$$

### Análisis Sísmico dinámico

“[...] La dinámica estructural, por lo tanto, es un tipo de análisis estructural que cubre el comportamiento de estructuras sometidas a cargas dinámicas (acciones con alta aceleración). Las cargas dinámicas incluyen personas, viento, olas, tráfico, terremotos y explosiones. Cualquier estructura puede ser sometida a cargas dinámicas. El análisis dinámico se puede utilizar para encontrar desplazamientos dinámicos, historial de tiempo y análisis modal [...]” [22]. Así mismo, el análisis dinámico se determina por medio de la combinación modal espectral que lo especifica la norma E-030.

- **Aceleración Espectral (Art. 4.6.2)**

Se utilizará un espectro con la definición siguiente:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g = \left( \frac{Z.U.S.g}{R} \right) C = (FE) \cdot (C)$$

- **Fuerza Cortante Mínima (4.6.4)**

“En el análisis de las fuerzas cortantes para cada dirección, la fuerza cortante en el primer entrepiso no debe ser menor al 80% del valor calculado para estructuras regulares, y no debe ser menor al 90% para estructuras irregulares, en caso que no se cumpla, se deberán escalar proporcionalmente todos los resultados obtenidos, excepto los desplazamientos” [23].

<p><b>Factor de Escala:</b></p> $FE = \left( \frac{Z.U.S.g}{R} \right) \cdot \frac{0.80V_{ESTATICO}}{V_{DINAMICO}} \dots \dots \dots \text{REGULAR}$ $FE = \left( \frac{Z.U.S.g}{R} \right) \cdot \frac{0.90V_{ESTATICO}}{V_{DINAMICO}} \dots \dots \dots \text{IRREGULAR}$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura N°05: Factor de escala para la cortante mínima

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

### **III. METODOLOGÍA**

### **III.METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación de acuerdo al fin:**

Es de tipo aplicada, ya que mediante los diversos estudios adquiridos por medio de teorías o nuevos conocimientos se le aplicaron a la investigación generando soluciones a los problemas. Además, “La investigación aplicada se refiere a encontrar una solución para un problema específico y práctico que enfrenta un individuo, sociedad u organización industrial o empresarial [...]” [24]. Así mismo, “este es un tipo de investigación, conocido como académico o fundacional, generalmente realizado por profesores, universitarios y expertos en laboratorios e instituciones de investigación especializada. [...]” [25].

##### **Tipo de investigación de acuerdo al nivel:**

Es de tipo descriptiva, ya que se describió el estado actual del edificio, es decir, se describió tal como se representa en la realidad sin alterar ningún factor. Así mismo, “los estudios de las investigaciones descriptivas son los que se ocupan de la descripción de las características de ciertos individuos en particular o de un grupo [...]” [26]. Además, “Los análisis descriptivos son fundamentales para casi todos los proyectos de investigación, la cual el objetivo es identificar y describir tendencias y variaciones en las poblaciones. Algunos estudios proporcionan excelentes análisis descriptivos que se centran claramente en aspectos relevantes de un fenómeno [...]” [27].

Es de tipo explicativa, ya que con la determinación de los resultados se pudieron calificar las hipótesis que fue dada desde mi punto de vista. Con ello se puede decir que “la investigación explicativa tiene como objetivo principal de tales estudios en formular un problema para una investigación para desarrollar las hipótesis de trabajo desde un punto de vista operativo [...]” [28].

##### **Tipo de investigación de acuerdo al diseño metodológico:**

Esta investigación es cuasiexperimental, la cual fue descrita como objeto de estudio a un grupo ya existente (los planos de edificio regular) para el análisis del efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente de dicho proyecto de

investigación. También, “la investigación cuasiexperimental son los experimentos en los cuales no han sido escogidos los grupos de estudio al azar, ya que antes de la investigación ya estaban formados” [29]. Así mismo, “Los diseños cuasiexperimentales se utilizan cuando no se puede lograr la selección aleatoria de grupos. [...]” [30].

### **Tipo de investigación de acuerdo al enfoque:**

El enfoque es de tipo cuantitativo, puesto que se describió los hechos que se van a observar durante el proceso de la investigación, la cual es generado cuando se plantea ciertos problemas y preguntas que son concretas para la investigación, surgiendo luego las hipótesis respectivas en el proyecto.

Este tipo de enfoque se planteó en el análisis y la recolección de los datos, para comprobar las hipótesis contestando las preguntas específicas del proyecto de investigación; así mismo este tipo de investigación confió en el conteo, la medición numérica y también el uso de estadística<sup>31</sup>.

### **3.2. Variables y operacionalización**

Se pretendió medir, manipular y poner la operacionalización de las variables de esta investigación, la cual posee de carácter cuantitativo, que van a ser descritos de manera conceptual y operacional en las siguientes variables. “La operacionalización de las variables lo hace el investigador, la cual se expresa a fin de poder realizar las acciones que se descompone de manera deductiva los aspectos o indicadores que constituyen las variables [...]” [32].

#### **Variable independiente: Interacción suelo – estructura**

Definición conceptual:

Es la variación de las propiedades del suelo frente a un movimiento sísmico, provocado por la estructura. Lo cual dicha interacción toma en cuenta flexibilidad o propiedades del suelo, puesto que no es rígido infinitamente<sup>33</sup>.

Definición operacional:

La interacción SE es analizada por dos modelos que tienen su propio modo de calcular los distintos coeficientes de deformación de la estructura, que delimitan las

propiedades elásticas del suelo, las cuales la dimensiones son los modelos: FEMA y ASCE.

Indicadores: Coeficientes de rigidez ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ )

### **Variable dependiente: Comportamiento sísmico**

Definición conceptual:

Es el análisis que se hace a la estructura de una edificación frente a ondas vibratorias como un sismo para determinar su comportamiento, y para su disminución, su rigidez puede ser un factor para minimizar las deformaciones sísmicas<sup>34</sup>.

Definición operacional:

El comportamiento sísmico será estudiado en el análisis dinámico y análisis estático, lo cual se llega a observar las deformaciones sísmicas como desplazamiento, esfuerzos y vibración, las cuales la dimensión es el análisis dinámico.

Indicador:

- Desplazamiento
- Periodo de vibración
- Fuerzas cortantes

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población:**

La población es representada como un gran conjunto de individuos para realizar diversos estudios, es decir, es un colectivo homogéneo que posee o reúne características determinadas<sup>35</sup>. la población de esta investigación fuero:

Todos los edificios regulares de la ciudad de Lima.

#### **Muestra:**

La muestra es el subconjunto de la población, la cual es limitado para realizar las mediciones o el experimento para la obtención de los resultados, es decir, la

muestra es un componente representado por la población<sup>36</sup>. Con lo dicho la muestra de la presente investigación fue:

Un edificio regular de concreto armado de 10 pisos con zapatas aislada en el distrito de Los Olivos.

### **Muestreo:**

El muestreo es un método que se elige a diversos representantes de la muestra que va con respecto a la población total del proyecto de investigación para una clara finalidad.

En este presente trabajo se considera un tipo de muestro no probabilístico, ya que este trabajo sigue otro criterio de selección que no depende de la probabilidad, es decir, con las características propias del investigador que se basa en su toma de decisiones, a su vez se centró en el estudio total de la estructura del edificio regular de 10 niveles por lo que no hubo muestreo.

### **Unidad de análisis**

En la presente investigación se tomó como unidad de análisis un edificio regular de concreto armado de 10 niveles con zapatas aisladas.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La observación estructurada es realizar el trabajo con ayuda de diversos elementos técnico como: cuadros, tablas, fichas, entre otros. Así mismo, este tipo de observación se le denomina también observación sistemática<sup>37</sup>.

La técnica es la observación estructurada para la presente investigación, ya que se realizó la recolección de datos en distintas fichas mediante la obtención de los planos arquitectónicos y estructurales, y el procesamiento de los datos fueron aplicados en los instrumentos programa ETABS 2018 (para la modelación espacial de la edificación que permite el estudio sísmico del edificio), AutoCad 2016 (realización de las mediciones, cálculos de áreas y visualizar el elemento estructural actual), Microsoft Word y Excel. Así mismo, en los instrumentos están vinculadas el análisis de los documentos específicos como las normas vigentes del Perú, reglamentos y tesis realizadas en otros aspectos relacionadas a este tipo de proyecto (E 030 diseño sismorresistente; E 020 cargas; E 031 aislamiento sísmico).

### **3.5. Procedimientos**

El procedimiento de esta investigación consistió primero en estudiar el tema que se ha elegido en la evaluación del edificio de 10 pisos, seguidamente se recurrió a las normas influyentes como la norma peruana – Reglamento Nacional de Edificaciones, luego se recurrió a la obtención de los planos específicos para realizar el estudio, en seguida se realizó el procedimiento de obtención de los coeficientes requeridos en los diversos modelos que se han tomado para su estudio considerando el análisis de la Interacción Suelo – estructura, llevándolo (modelación del edificio) al software ETABS, obteniendo y visualizando así la respuesta estructural en el comportamiento sísmico y así llegar a la discusión de los resultados de los dos modelos FEMA y ASCE.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En el método de análisis de los datos se realizó mediante la observación estructurada, ya que se permitió visualizar las fichas de datos aplicados en el software ETABS y Microsoft Excel cuyos datos fueron analizados y representados en forma gráfica, vinculados al fenómeno de interacción suelo – estructura, conociendo así el comportamiento del suelo a la base de la estructura, en este caso base de zapatas aisladas.

### **3.7. Aspectos éticos**

La ética es el estudio y examen de lo que constituye una buena o mala conducta. También, es la clasificación de comportamientos específicos como correctos o incorrectos dentro de una profesión. Debido a la importancia de la ética, estas pautas son la base del éxito o el fracaso en la vida personal o privada<sup>38</sup>.

En el presente trabajo de proyecto de investigación, como estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Civil, se desarrolló con la total honestidad, honradez, confianza y respeto de que no ha sido copiado de otras tesis o investigaciones, la cual se ha respetado sus aportes y todos los manuales e instrumentos que se han usado en dichos trabajos.



#### **IV. RESULTADOS**

## IV.RESULTADOS

### ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

#### 4.1- Descripción:

El edificio fue un tipo de sistema estructural Dual que está relacionada en la combinación de pórticos con muros estructurales, con zapatas aisladas, la cual el edificio se encuentra en el distrito de Los Olivos que tiene como tipo de suelo S2 (ver anexo N°04), y cuenta con los planos que se encuentran en el anexo N°5 y el anexo N°06.

El edificio cuenta con 10 niveles y un sótano:

- Sótano: altura de 4 m
- Del 1 piso al 10 piso: altura de 3.5 m

#### 4.2- Definición de los Materiales:

Antes de definir las vigas o columnas se realizó la asignación de los materiales que se utilizaron para la estructura del edificio en el software Etabs, las cuales son:

The image shows a screenshot of the 'Material Definition' dialog box in the software Etabs. The dialog is titled 'General Data' and contains several sections for defining material properties. The 'Material Name' is set to 'CONCRETO 280'. The 'Material Type' is 'Concrete', and the 'Directional Symmetry Type' is 'Isotropic'. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with a weight per unit volume of 2400000 tonf/m³ and a mass per unit volume of 244732 tonf-s²/m⁴. The 'Mechanical Property Data' section includes a modulus of elasticity (E) of 250998.01 tonf/m², a Poisson's ratio (U) of 0.2, a coefficient of thermal expansion (A) of 0.0000099 1/C, and a shear modulus (G) of 104582.5 tonf/m². The 'Design Property Data' and 'Advanced Material Property Data' sections contain buttons for further configuration. The dialog has 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	CONCRETO 280	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	[Color Selection]	
Material Weight and Mass	Weight per Unit Volume	2400000	tonf/m³
	Mass per Unit Volume	244732	tonf-s²/m⁴
	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	250998.01	tonf/m²
	Poisson's Ratio, U	0.2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
	Shear Modulus, G	104582.5	tonf/m²

Figura N°06: Definición del material del Concreto armado  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Etabs v.18

**General Data**

Material Name: ACERO fy =4200

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: █ Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

---

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density       Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7.849 tonf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 0.80038 tonf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

---

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 21000000 tonf/m<sup>2</sup>

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

---

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

---

**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data...      Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK      Cancel

Figura N°07: Definición del material del Acero fy = 4200kg/cm2  
Fuente: Etabs v.18

**General Data**

Property Name: C-1 (0.90X0.90)

Material: CONCRETO 280

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

Display Color: █ Change...

Notes: Modify/Show Notes...

---

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

---

**Section Property Source**

Source: User Defined

---

**Section Dimensions**

Depth: 0.9 m

Width: 0.9 m

Show Section Properties...

---

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

OK      Cancel

Figura N°08: Definición del material de la Columna C-1 (0.90m X 0.90m)  
Fuente: Etabs v.18

General Data

Property Name: C-2 (0.80X0.80)

Material: CONCRETO 280

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.8 m

Width: 0.8 m

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

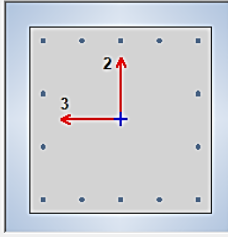


Figura N°09: Definición del material de la Columna C-2 (0.80m X 0.80m)

Fuente: Etabs v.18

General Data

Property Name: VIGA (0.35X0.75)

Material: CONCRETO 280

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.35 m

Width: 0.75 m

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

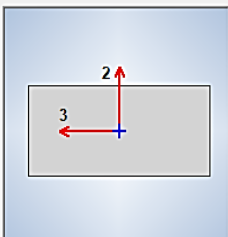


Figura N°10: Definición del material de la Viga (0.35mX0.75m)

Fuente: Etabs v.18

Figura N°11: Definición del material de la Viga (0.40mX075m)

Fuente: Etabs v.18

Figura N°12: Definición del material de Losa Aligerada X y Y

Fuente: Etabs v.18

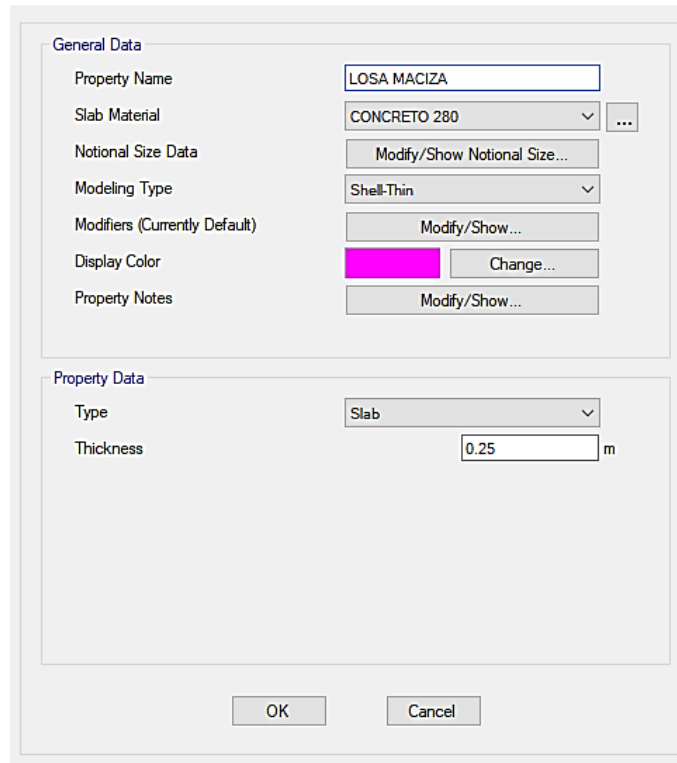


Figura N°13: Definición del material de Losa Maciza

Fuente: Etabs v.18

### 4.3- Asignación de las cargas

En este paso se realizó la asignación de los tipos de cargas que actúan en el edificio, las cuales son:

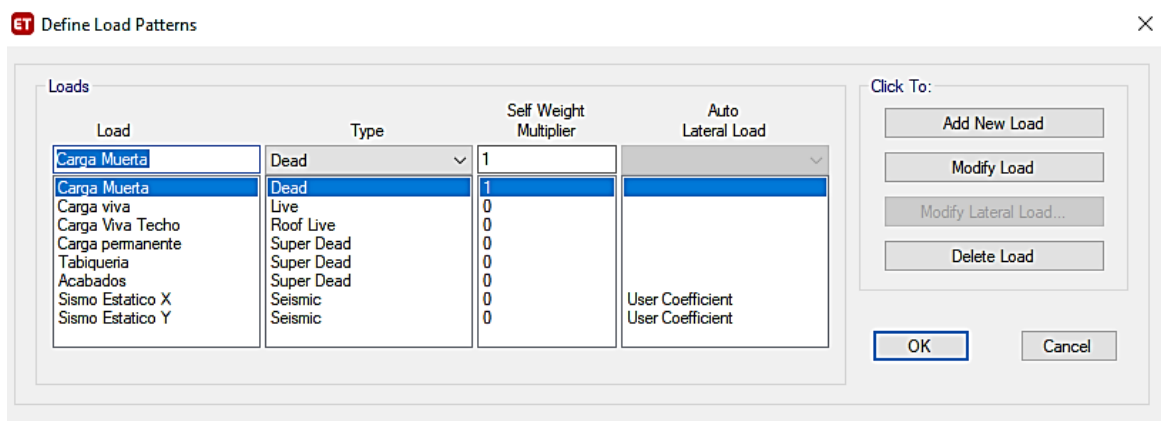


Figura N°14: Definición de las cargas

Fuente: Etabs v.18

#### 4.4- Modelación del edificio de 10 niveles en el Software Etabs-18.

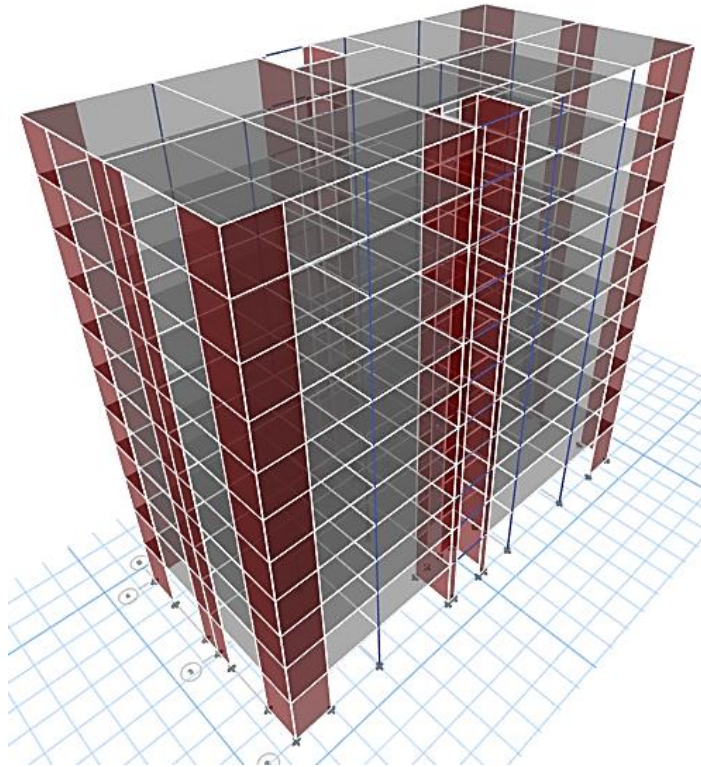


Figura N°15: Modelación del edificio de 10 pisos

Fuente: Etabs v.18

#### 4.5- Análisis Sísmico Estático

Para el proceso de los cálculos del análisis sísmico estático se realizó mediante la Norma Técnica Peruana E-030.

##### 4.5.1- Cálculo del periodo fundamental de vibración

$h_n$ : Altura total de la edificación.

$$\begin{array}{l} h_n = 34.50 \\ CT = 45.00 \\ T = 0.767 \text{ s} \end{array} \quad T = \frac{h_n}{C_T}$$

##### 4.5.2- Cálculo de coeficiente de reducción de la fuerza sísmica (R)

$$\begin{array}{l} R_0 = 7.00 \\ I_a = 1.00 \\ I_p = 1.00 \\ R = 7.00 \end{array}$$

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

#### 4.5.3- Cálculo del ZUCS para el análisis estático en “x”

Zona:	<b>Z 4</b>	Z = 0.45
Categoría:	<b>C</b>	U = 1.00
Suelo:	<b>S 2</b>	S = 1.05
Tp (s):	<b>0.6</b>	C = 1.52
TI (s):	<b>2.0</b>	R = 7.00
T x (s):	<b>0.985</b>	

Peso de la edificación = **8222.3875**

Cálculo de la cortante en X

$$\frac{\text{ZUCS}}{R} = 0.10279$$

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

$$\frac{\text{ZUCS} \cdot P}{R} = 845.19465 = V_x$$

#### 4.5.4- Cálculo del ZUCS para el análisis estático en “y”

Zona:	<b>Z 4</b>	Z = 0.45
Categoría:	<b>C</b>	U = 1.00
Suelo:	<b>S 2</b>	S = 1.05
Tp (s):	<b>0.6</b>	C = 1.57
TI (s):	<b>2.0</b>	R = 7.00
T y (s):	<b>0.958</b>	

Peso de la edificación = **8222.3875**

Cálculo de la cortante en Y

$$\frac{\text{ZUCS}}{R} = 0.10569$$

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

$$\frac{\text{ZUCS} \cdot P}{R} = 869.01538 = V_x$$



#### 4.5.5- Comprobación de C/R

$$C = 1.52$$

$$R = 7.00$$

$$C/R = 0.218 \geq 0.125 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

#### 4.5.6- Distribución de la fuerza sísmica en altura

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{i=1}^n P_i(h_i)^k}$$

$$T = 0.985 \text{ s} > 0.5 \text{ s} \quad \text{OK!} \quad k = 1.243$$

#### Cálculo de la cortante en el eje X:

Cortante basal en X :

$$V_x = 845.195 \text{ Tn}$$

Tabla N° 11: Cálculo de la fuerza cortante en "x"– Análisis estático

Piso	Peso (P)	Altura por piso	Altura (h)	(h <sub>i</sub> ) <sup>k</sup>	P <sub>i</sub> <sup>k</sup> (h <sub>i</sub> ) <sup>k</sup>	α <sub>i</sub>	V	F <sub>i</sub>	V <sub>i</sub> (Acumulado)
10	728.8112	3	34.50	81.422	59,341.055	0.176	845.195	148.613	<b>148.613</b>
9	728.8111	3	31.50	72.719	52,998.776	0.157	845.195	132.730	<b>281.343</b>
8	742.2958	3	28.50	64.216	47,667.430	0.141	845.195	119.378	<b>400.720</b>
7	742.2958	3	25.50	55.928	41,514.822	0.123	845.195	103.969	<b>504.690</b>
6	742.2957	3	22.50	47.873	35,535.606	0.105	845.195	88.995	<b>593.685</b>
5	742.2958	3	19.50	40.074	29,747.126	0.088	845.195	74.498	<b>668.183</b>
4	742.2958	3	16.50	32.563	24,171.344	0.072	845.195	60.534	<b>728.717</b>
3	742.2958	3	13.50	25.377	18,837.216	0.056	845.195	47.176	<b>775.893</b>
2	742.2958	3	10.50	18.571	13,784.935	0.041	845.195	34.523	<b>810.416</b>
1	770.3301	3.5	7.50	12.225	9,417.605	0.028	845.195	23.585	<b>834.001</b>
<b>Sótano</b>	798.3646	4	4.00	5.598	4,469.519	0.013	845.195	11.193	<b>845.195</b>
BASE	<b>8222.3875</b>	0			<b>337,485.434</b>				

Fuente: Elaboración propia

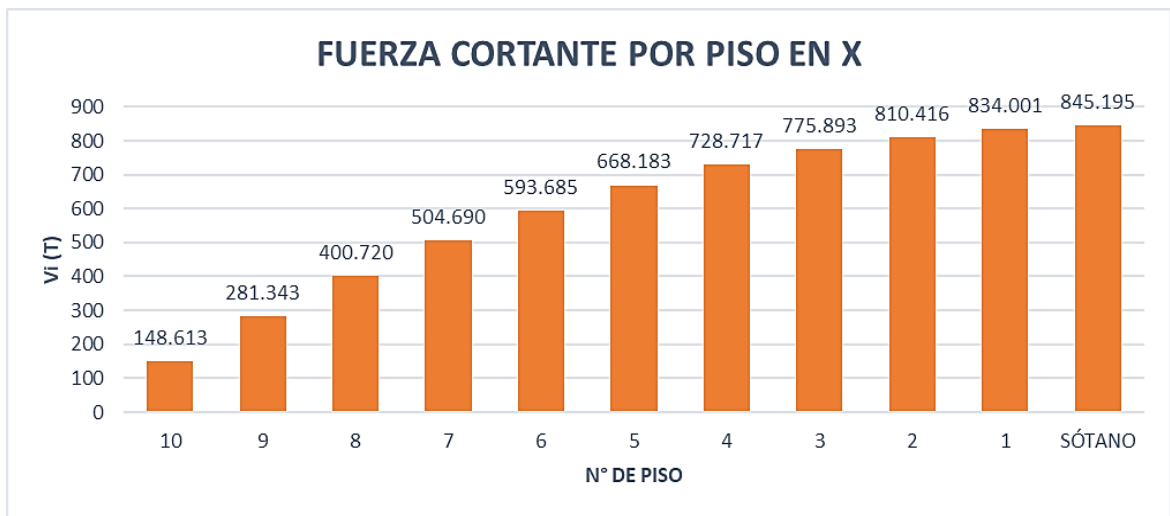


Figura N°16: Gráfico de la fuerza cortante por piso en “x” – análisis estático

Fuente: Elaboración propia

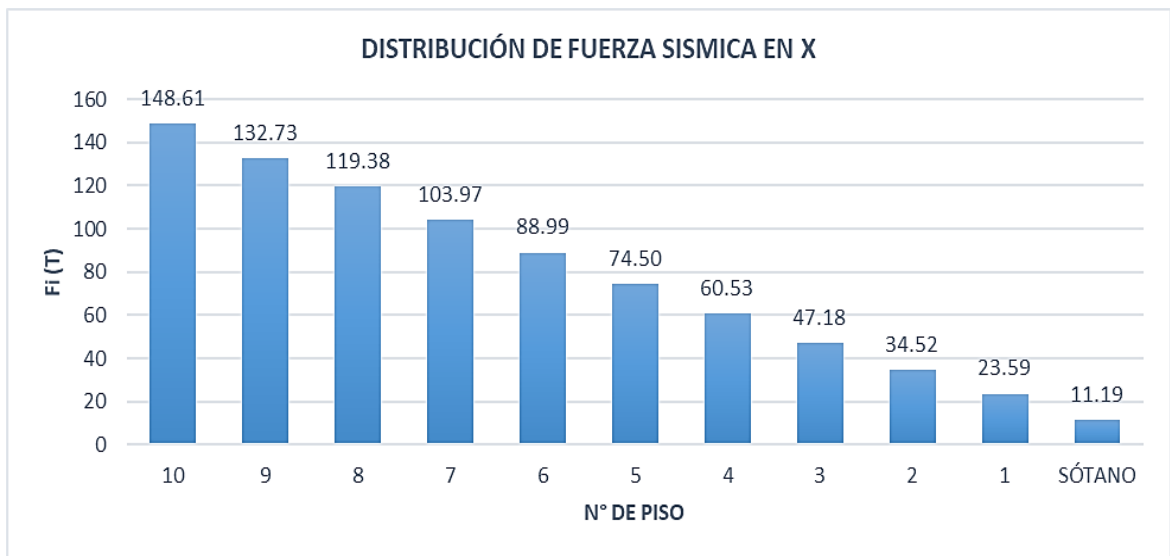


Figura N°17: Gráfico de distribución de fuerza sísmica en “x” – análisis estático

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de la cortante en el eje “y”

Cortante basal en Y :

$$V_y = 869.015$$

Tabla N° 12: Cálculo de la fuerza cortante en “y”– Análisis estático

Piso	Peso (P)	hi	(hi)k	Pi*(hi)k	ai	V	Fi	Vi (Acumulado)
10	728.8112	34.50	81.422	59,341.055	13.277	869.015	11,537.771	<b>11,537.771</b>
9	728.8111	31.50	72.719	52,998.776	11.858	869.015	10,304.632	<b>21,842.403</b>
8	742.2958	28.50	64.216	47,667.430	10.665	869.015	9,268.051	<b>31,110.454</b>
7	742.2958	25.50	55.928	41,514.822	9.288	869.015	8,071.790	<b>39,182.243</b>
6	742.2957	22.50	47.873	35,535.606	7.951	869.015	6,909.242	<b>46,091.485</b>
5	742.2958	19.50	40.074	29,747.126	6.656	869.015	5,783.779	<b>51,875.263</b>
4	742.2958	16.50	32.563	24,171.344	5.408	869.015	4,699.671	<b>56,574.934</b>
3	742.2958	13.50	25.377	18,837.216	4.215	869.015	3,662.548	<b>60,237.483</b>
2	742.2958	10.50	18.571	13,784.935	3.084	869.015	2,680.226	<b>62,917.708</b>
1	770.3301	7.50	12.225	9,417.605	2.107	869.015	1,831.079	<b>64,748.788</b>
Sótano	798.3646	4.00	5.598	4,469.519	1.000	869.015	869.015	<b>65,617.803</b>
BASE	8222.3875	0.00	0.000	<b>337,485.434</b>				

Fuente: Elaboración propia

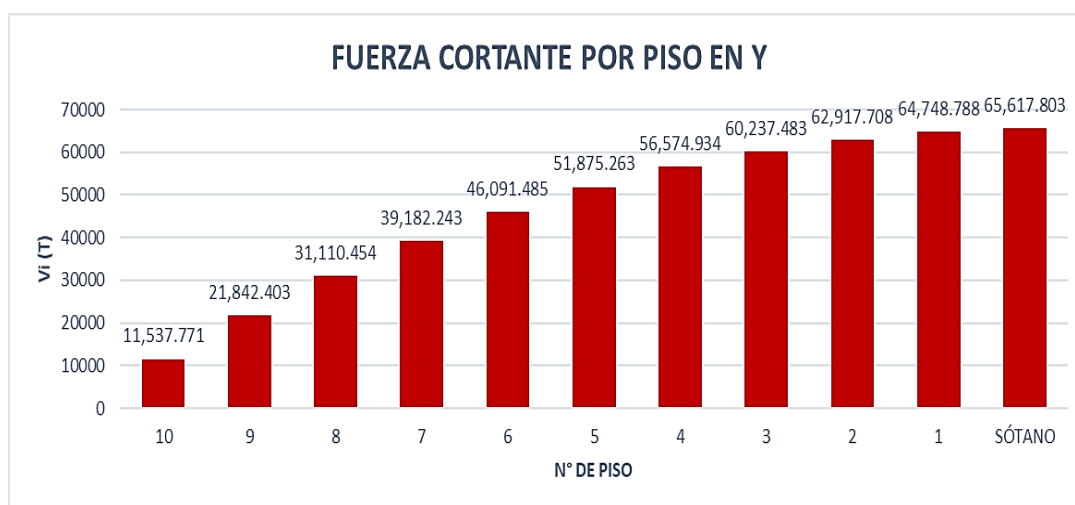


Figura N°18: Gráfico de la fuerza cortante por piso en “y” – análisis estático

Fuente: Elaboración propia

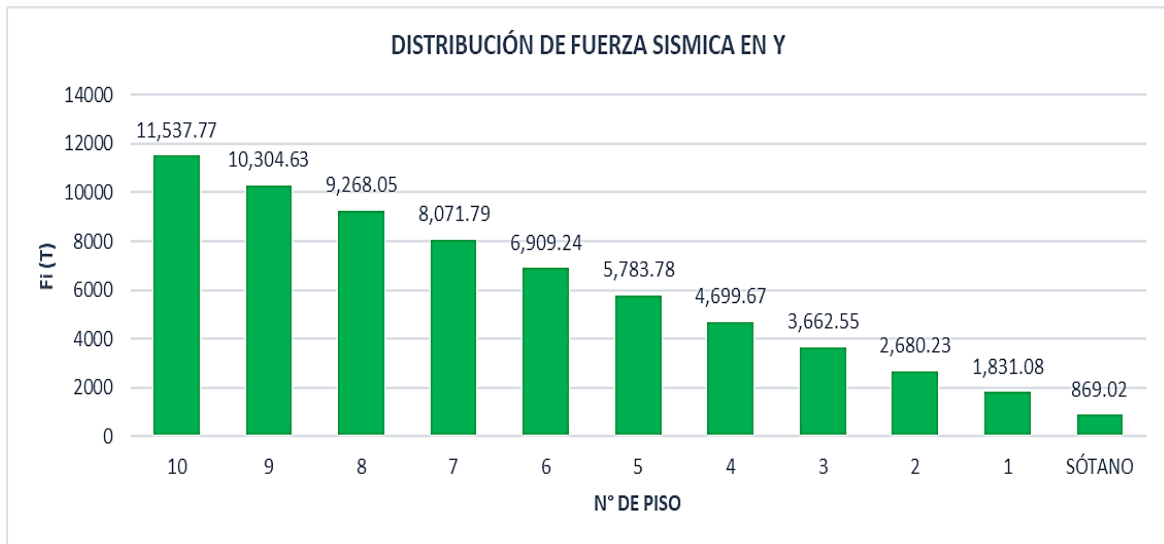


Figura N°19: Gráfico de distribución de fuerza sísmica en “y” – análisis estático

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.7- Respuestas del Software Etabs

##### Cortantes basales en el eje X

Tabla N°13: Fuerzas cortantes por niveles en “x” - Etabs

Story	Load Case/Combo	VX	VY
		tonf	tonf
Story10	Sismo Estatico X	133.7194	0
Story9	Sismo Estatico X	266.6338	0
Story8	Sismo Estatico X	383.9018	0
Story7	Sismo Estatico X	483.5954	0
Story6	Sismo Estatico X	566.3021	0
Story5	Sismo Estatico X	632.6808	0
Story4	Sismo Estatico X	683.4857	0
Story3	Sismo Estatico X	719.6064	0
Story2	Sismo Estatico X	742.1435	0
Story1	Sismo Estatico X	752.7812	0
SÓTANO	Sismo Estatico X	<b>752.7812</b>	0

Fuente: Etabs v.18

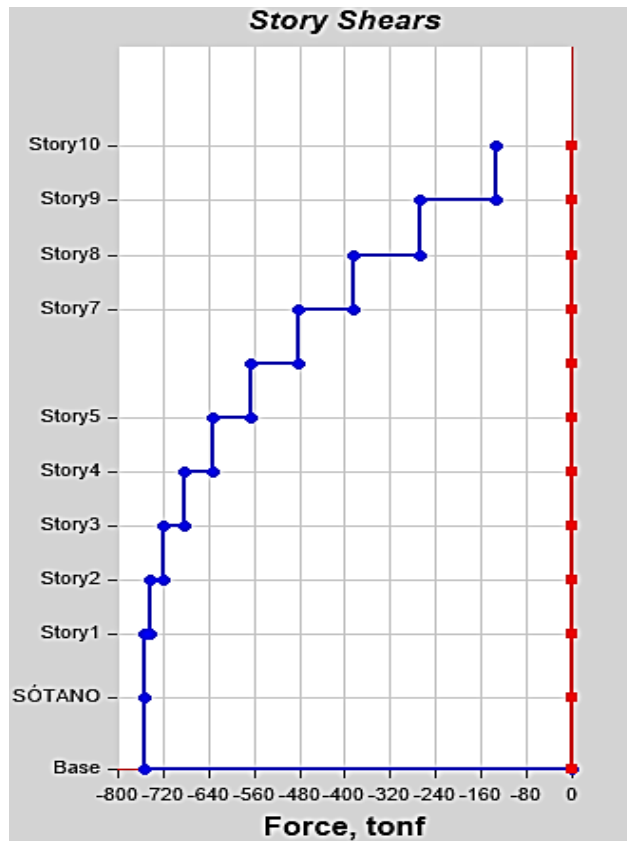


Figura N°20: Gráfico de fuerzas cortantes en "x" – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Cortantes basales en el eje Y

Tabla N°14: Fuerzas cortantes por niveles en "y" - Etabs

Story	Load Case/Combo	VX	VY
		tonf	tonf
Story10	Sismo Estatico Y	0	137.4895
Story9	Sismo Estatico Y	0	274.1513
Story8	Sismo Estatico Y	0	394.7256
Story7	Sismo Estatico Y	0	497.2299
Story6	Sismo Estatico Y	0	582.2685
Story5	Sismo Estatico Y	0	650.5186
Story4	Sismo Estatico Y	0	702.7559
Story3	Sismo Estatico Y	0	739.895
Story2	Sismo Estatico Y	0	763.0675
Story1	Sismo Estatico Y	0	774.0052
SÓTANO	Sismo Estatico Y	0	<b>774.0052</b>

Fuente: Etabs v.18

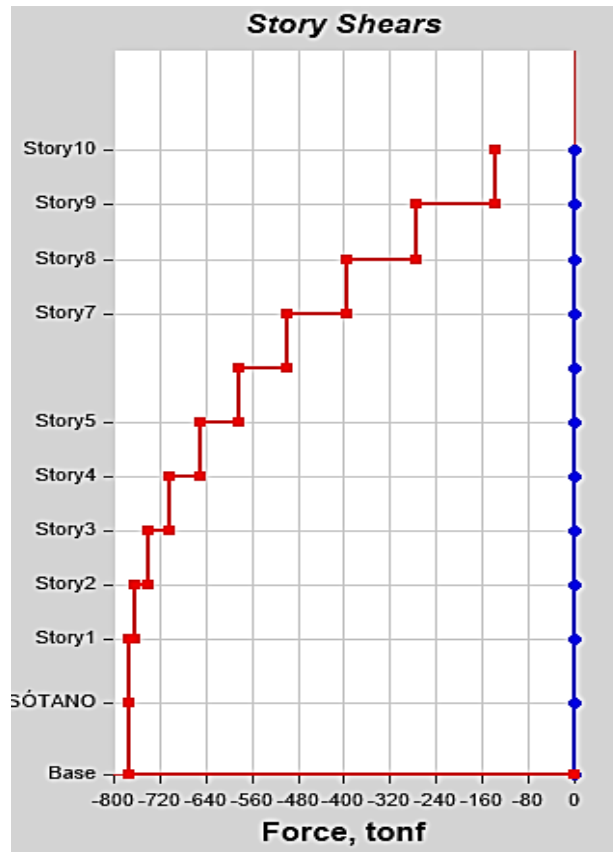


Figura N°21: Gráfico de fuerzas cortantes en “y” – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Desplazamientos en el eje X

Tabla N°15: Desplazamiento por niveles en “x” - Etabs

Elevation	X-Dir	Y-Dir
m	m	m
34.5	0.044921	0.001596
31.5	0.04167	0.001467
28.5	0.038041	0.001328
25.5	0.034017	0.001177
22.5	0.029627	0.001015
19.5	0.024949	0.000845
16.5	0.020101	0.000671
13.5	0.015235	0.000498
10.5	0.010538	0.000336
7.5	0.006244	0.000192
4	0.002169	0.000064
0	0	0

Fuente: Etabs v.18

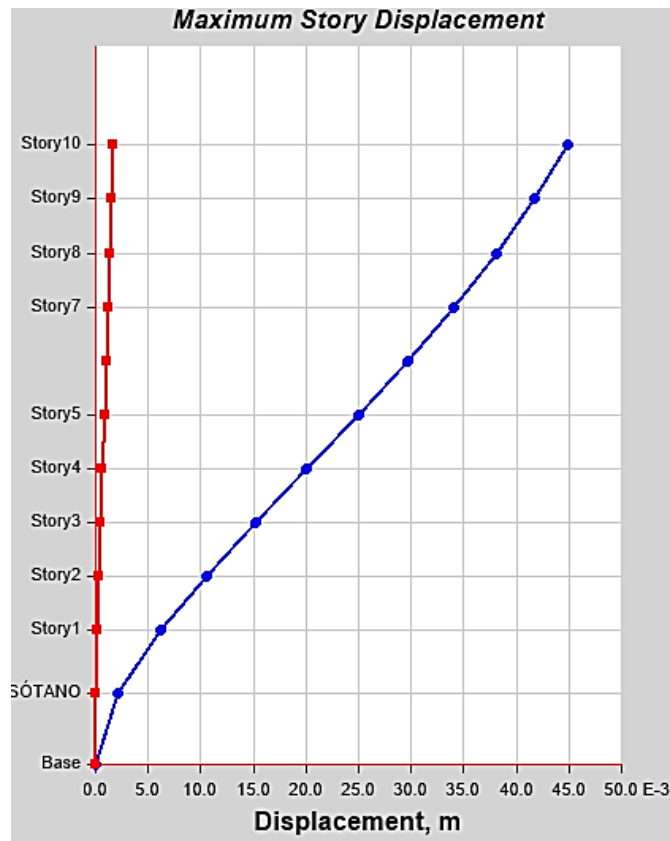


Figura N°22: Gráfico de desplazamientos por niveles en “x” – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Desplazamientos en el eje Y

Tabla N°16: Desplazamiento por niveles en “y” - Etabs

Story	Elevation m	X-Dir m	Y-Dir m
Story10	34.5	0.002952	0.051341
Story9	31.5	0.002708	0.046753
Story8	28.5	0.002446	0.041901
Story7	25.5	0.002164	0.036775
Story6	22.5	0.001862	0.031408
Story5	19.5	0.001547	0.025889
Story4	16.5	0.001226	0.020357
Story3	13.5	0.00091	0.01499
Story2	10.5	0.000613	0.010011
Story1	7.5	0.000351	0.005683
SÓTANO	4	0.000117	0.001879
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

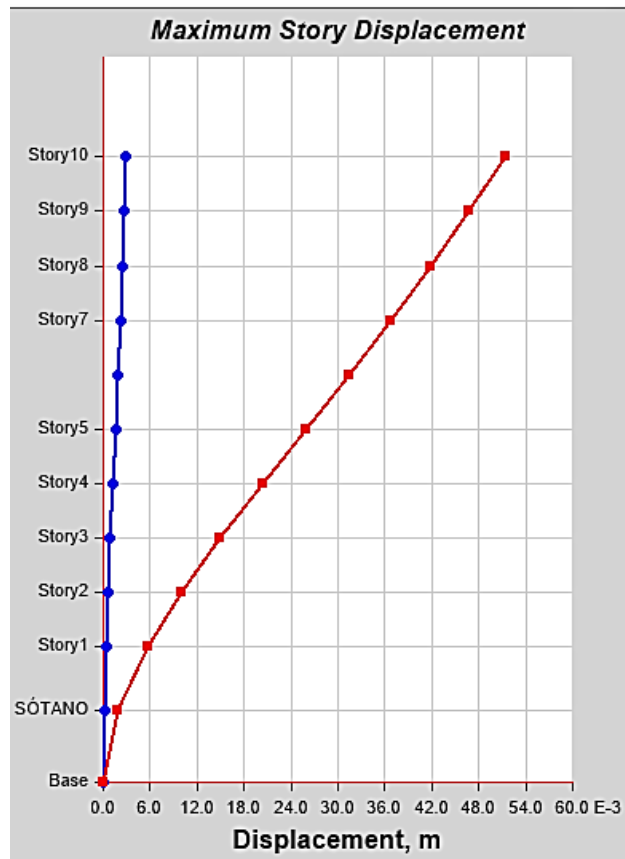


Figura N°23: Gráfico de desplazamientos por niveles en “y” – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Derivas en el eje X

Tabla N°17: Derivas por niveles en “x” - Etabs

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story10	34.5	0.001084	0.000043
Story9	31.5	0.00121	0.000046
Story8	28.5	0.001341	0.00005
Story7	25.5	0.001464	0.000054
Story6	22.5	0.001559	0.000057
Story5	19.5	0.001616	0.000058
Story4	16.5	0.001622	0.000057
Story3	13.5	0.001566	0.000054
Story2	10.5	0.001431	0.000048
Story1	7.5	0.001164	0.000037
SÓTANO	4	0.000542	0.000016
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18



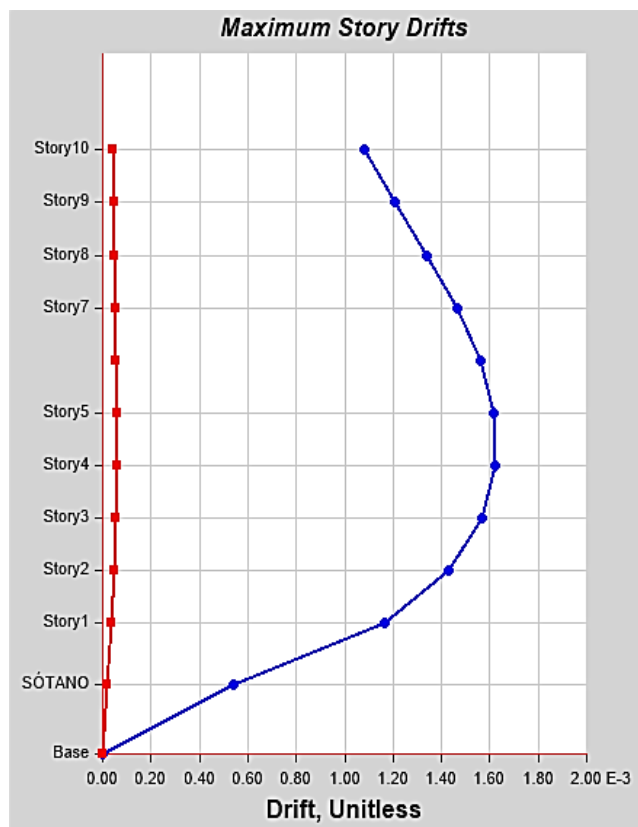


Figura N°24: Gráfico de derivas por niveles en "x" – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Derivas en el eje Y

Tabla N°18: Derivas por niveles en "Y" - Etabs

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story10	34.5	0.000081	0.001529
Story9	31.5	0.000087	0.001617
Story8	28.5	0.000094	0.001709
Story7	25.5	0.0001	0.001789
Story6	22.5	0.000105	0.00184
Story5	19.5	0.000107	0.001844
Story4	16.5	0.000105	0.001789
Story3	13.5	0.000099	0.00166
Story2	10.5	0.000087	0.001443
Story1	7.5	0.000067	0.001087
SÓTANO	4	0.000029	0.00047
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

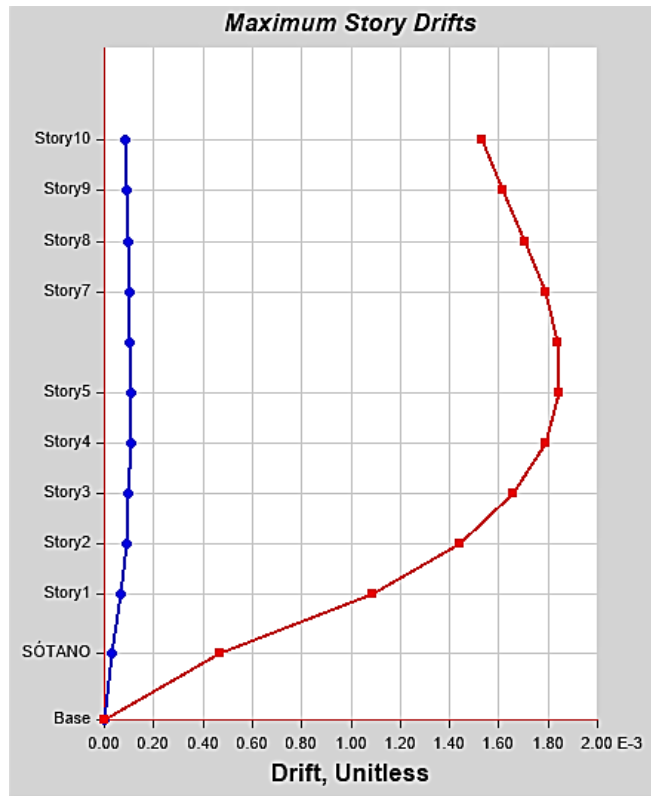


Figura N°25: Gráfico de derivas por niveles en “y” – análisis estático (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

#### 4.6- Análisis Sísmico Dinámico

Se realiza los cálculos del análisis sísmico dinámico según la norma E-030 – 2019.

##### 4.6.1- Análisis Dinámico en X:

Zona :	<b>Z 4</b>	Z = 0.45
Categoría:	<b>C</b>	U = 1.00
Suelo:	<b>S 2</b>	S = 1.05
Tp (s):	0.6	<b>C = 1.52</b>
TI (s):	2.0	R = 7.00
T (s):	<b>0.985</b>	
Ro:	<b>7.000</b>	
Ip:	<b>1.000</b>	
Ia:	<b>1.000</b>	

**C/R ≥ 0.11**    0.22    →    **OK**

**Aceleración de la Gravedad:**9.80665 m/s<sup>2</sup>**Cálculo del espectro en x**Tabla N°19: *Cálculo de la aceleración espectral en x*

<b>T</b>	<b>C</b>	<b>ZUCS/R</b>	<b>Factor</b>	<b>ZUCS*g</b>
0	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.01	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.04	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.07	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.1	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.2	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.3	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.4	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.5	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.6	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.7	2.14	0.145	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.4185
0.8	1.88	0.127	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.2412
0.9	1.67	0.113	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.1032
1	1.50	0.101	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.9929
1.1	1.36	0.092	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.9027
1.2	1.25	0.084	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.8274
1.3	1.15	0.078	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.7638
1.4	1.07	0.072	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.7092
1.5	1.00	0.068	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.6619
1.6	0.94	0.063	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.6206
1.7	0.88	0.060	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5841
1.8	0.83	0.056	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5516
1.9	0.79	0.053	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5226
2	0.75	0.051	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.4965
2.3	0.57	0.038	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.3754
2.6	0.44	0.030	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.2938
2.9	0.36	0.024	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.2361
3.2	0.29	0.020	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1939
3.5	0.24	0.017	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1621
3.8	0.21	0.014	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1375
4.1	0.18	0.012	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1181
4.4	0.15	0.010	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1026
4.7	0.14	0.009	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.0899
5	0.12	0.008	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.0794

Fuente: Elaboración propia

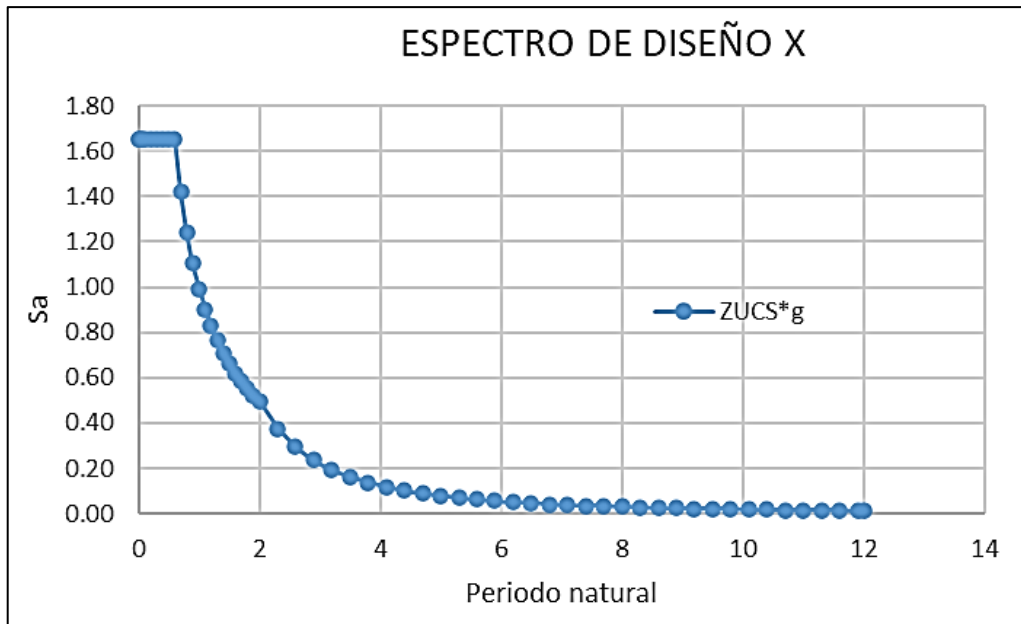


Figura N°26: Gráfico de espectro de diseño en “x”

Fuente: Elaboración propia

### Respuestas según el Software Etabs para el análisis dinámico

#### Cortantes dinámicas en X

Tabla N°20: Fuerzas cortantes en x – análisis dinámico

Story	Load Case/Combo	VX	VY
		tonf	tonf
Story10	Sismo Dinamico X Max	103.1619	1.4389
Story9	Sismo Dinamico X Max	202.3931	2.9146
Story8	Sismo Dinamico X Max	290.4687	4.2575
Story7	Sismo Dinamico X Max	367.4386	5.4336
Story6	Sismo Dinamico X Max	434.3224	6.437
Story5	Sismo Dinamico X Max	491.6656	7.2642
Story4	Sismo Dinamico X Max	539.6883	7.9156
Story3	Sismo Dinamico X Max	578.3399	8.3962
Story2	Sismo Dinamico X Max	607.4043	8.7178
Story1	Sismo Dinamico X Max	627.0647	8.9043
SÓTANO	Sismo Dinamico X Max	<b>635.5044</b>	8.9683

Fuente: Etabs v.18



Figura N°27: Gráfico de fuerzas cortantes en “x” – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Desplazamientos dinámicos en X

Tabla N°21: Desplazamientos en x – análisis dinámico

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	m	m
Story10	34.5	0.344182	0.01884
Story9	31.5	0.319977	0.01724
Story8	28.5	0.292999	0.015579
Story7	25.5	0.263024	0.013795
Story6	22.5	0.230135	0.011893
Story5	19.5	0.194821	0.009903
Story4	16.5	0.157877	0.007871
Story3	13.5	0.120399	0.005864
Story2	10.5	0.083815	0.003967
Story1	7.5	0.049985	0.002286
SÓTANO	4	0.017492	0.000773
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

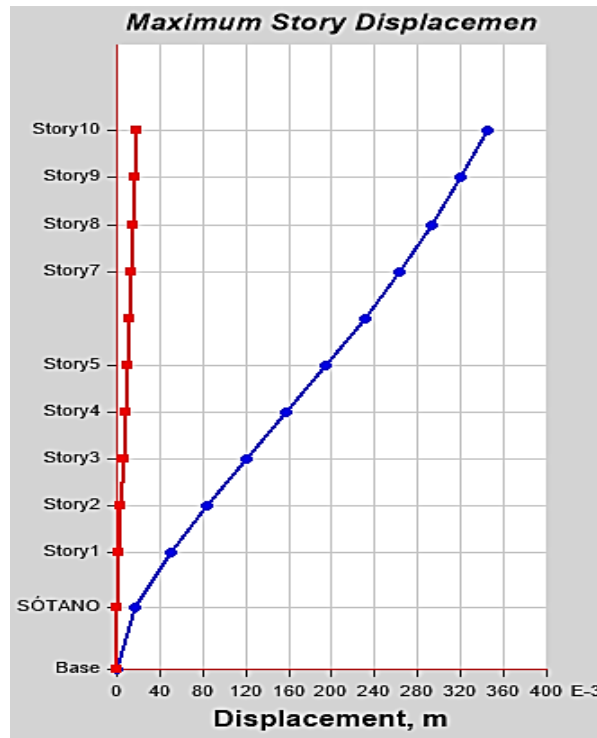


Figura N°28: Gráfico de los desplazamientos en "x" – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Derivas dinámicas en X

Tabla N°22: Derivas en x – análisis dinámico

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story10	34.5	0.008141	0.000544
Story9	31.5	0.009084	0.000577
Story8	28.5	0.01009	0.000612
Story7	25.5	0.011053	0.000645
Story6	22.5	0.011845	0.000668
Story5	19.5	0.012368	0.000677
Story4	16.5	0.012526	0.000669
Story3	13.5	0.012212	0.000632
Story2	10.5	0.011284	0.000561
Story1	7.5	0.009285	0.000432
SÓTANO	4	0.004373	0.000193
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

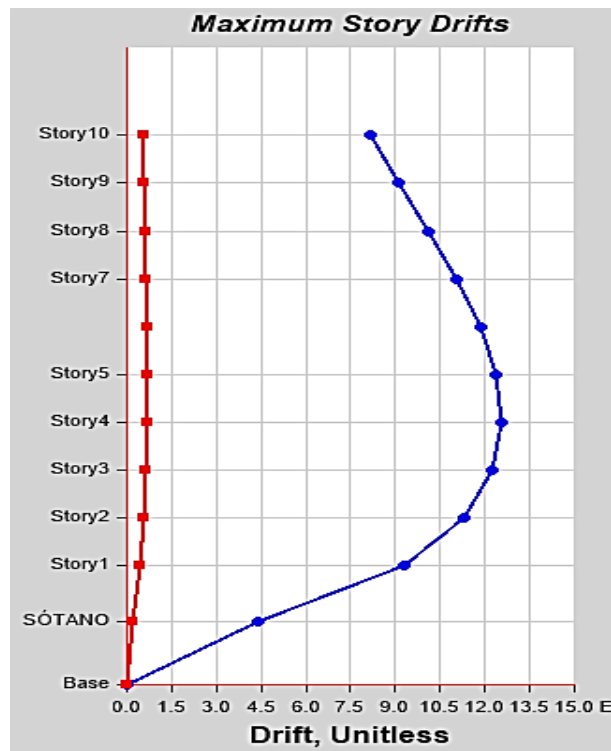


Figura N°29: Gráfico de las derivas en “x” – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

#### 4.6.2- Análisis Dinámico en Y:

Zona:	<b>Z 4</b>	Z = 0.45
Categoría:	<b>C</b>	U = 1.00
Suelo:	<b>S 2</b>	S = 1.05
Tp (s):	0.6	<b>C = 1.57</b>
TI (s):	2.0	R = 7.00
T (s):	<b>0.958</b>	
Ro:	<b>7.000</b>	
Ip:	<b>1.000</b>	
Ia:	<b>1.000</b>	

C/R ≥ 0.11    0.22    →    **OK**

<b>Aceleración de la Gravedad:</b>
9.80665 m/s <sup>2</sup>

## Cálculo del espectro en y

Tabla N°23: Cálculo de la aceleración espectral en y

T	C	ZUCS/R	Factor	ZUCS*g
0	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.01	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.04	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.07	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.1	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.2	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.3	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.4	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.5	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.6	2.50	0.169	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.6549
0.7	2.14	0.145	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.4185
0.8	1.88	0.127	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.2412
0.9	1.67	0.113	9.80665 m/s <sup>2</sup>	1.1032
1	1.50	0.101	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.9929
1.1	1.36	0.092	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.9027
1.2	1.25	0.084	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.8274
1.3	1.15	0.078	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.7638
1.4	1.07	0.072	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.7092
1.5	1.00	0.068	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.6619
1.6	0.94	0.063	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.6206
1.7	0.88	0.060	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5841
1.8	0.83	0.056	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5516
1.9	0.79	0.053	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.5226
2	0.75	0.051	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.4965
2.3	0.57	0.038	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.3754
2.6	0.44	0.030	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.2938
2.9	0.36	0.024	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.2361
3.2	0.29	0.020	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1939
3.5	0.24	0.017	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1621
3.8	0.21	0.014	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1375
4.1	0.18	0.012	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1181
4.4	0.15	0.010	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.1026
4.7	0.14	0.009	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.0899
5	0.12	0.008	9.80665 m/s <sup>2</sup>	0.0794

Fuente: Elaboración propia



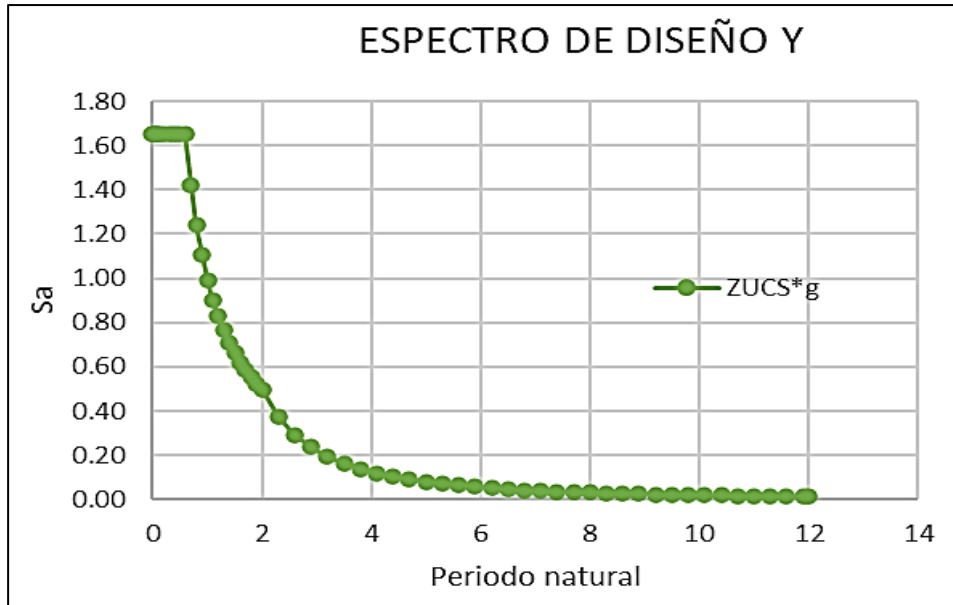


Figura N°30: Gráfico de espectro de diseño en “y”

Fuente: Elaboración propia

### Cortantes dinámicas en Y

Tabla N°24: Fuerzas cortantes en y – análisis dinámico

Story	Load Case/Combo	VX	VY
		tonf	tonf
Story10	Sismo Dinamico Y Max	1.322	106.8077
Story9	Sismo Dinamico Y Max	2.7089	205.7383
Story8	Sismo Dinamico Y Max	4.0013	290.9373
Story7	Sismo Dinamico Y Max	5.1608	363.8401
Story6	Sismo Dinamico Y Max	6.176	426.1824
Story5	Sismo Dinamico Y Max	7.0375	478.8927
Story4	Sismo Dinamico Y Max	7.7386	522.4372
Story3	Sismo Dinamico Y Max	8.2764	557.0063
Story2	Sismo Dinamico Y Max	8.6534	582.664
Story1	Sismo Dinamico Y Max	8.8841	599.8693
SÓTANO	Sismo Dinamico Y Max	8.9683	<b>607.3864</b>

Fuente: Etabs v.18

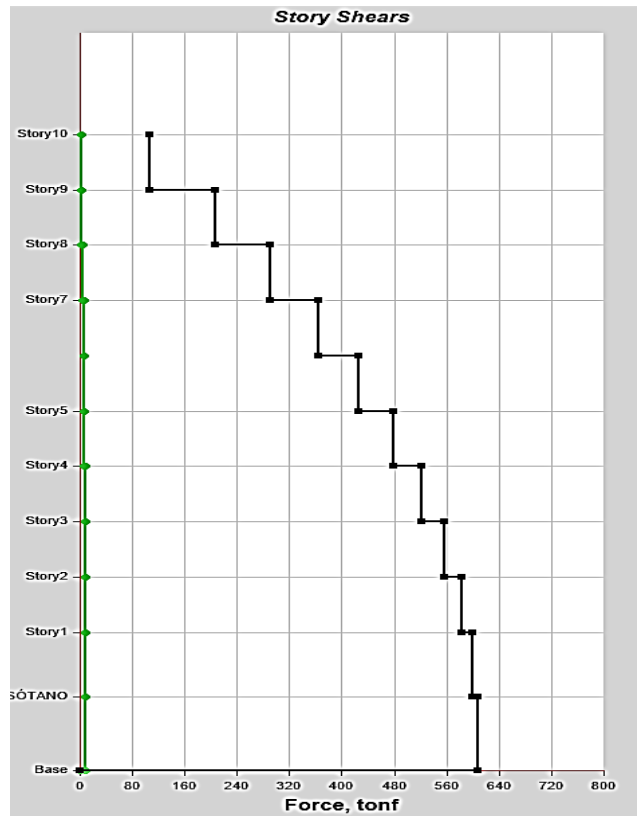


Figura N°31: Gráfico de fuerzas cortantes en “y” – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Desplazamientos dinámicos en Y

Tabla N°25: Desplazamientos en y – análisis dinámico

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	m	m
Story10	34.5	0.034177	0.391174
Story9	31.5	0.031482	0.356797
Story8	28.5	0.028563	0.320423
Story7	25.5	0.025393	0.281919
Story6	22.5	0.021982	0.241476
Story5	19.5	0.018379	0.199716
Story4	16.5	0.014672	0.15763
Story3	13.5	0.010982	0.116563
Story2	10.5	0.007467	0.078206
Story1	7.5	0.004323	0.04462
SÓTANO	4	0.001467	0.014858
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

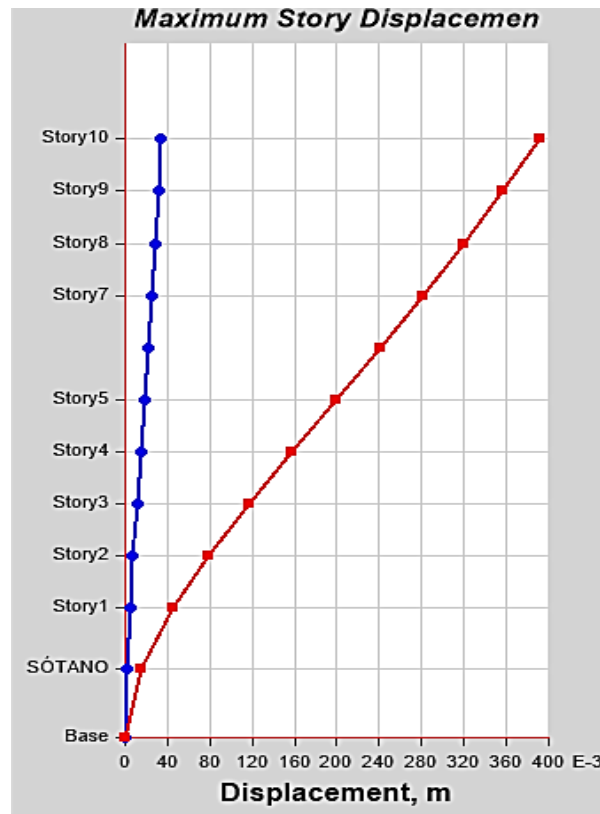


Figura N°32: Gráfico de los desplazamientos en “y” – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

### Derivas dinámicas en Y

Tabla N°26: Derivas en y – análisis dinámico

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story10	34.5	0.000924	0.011519
Story9	31.5	0.000995	0.012195
Story8	28.5	0.001073	0.012907
Story7	25.5	0.001147	0.013545
Story6	22.5	0.001206	0.013971
Story5	19.5	0.00124	0.014065
Story4	16.5	0.001232	0.013712
Story3	13.5	0.001173	0.012798
Story2	10.5	0.001048	0.0112
Story1	7.5	0.000816	0.008505
SÓTANO	4	0.000367	0.003714
Base	0	0	0

Fuente: Etabs v.18

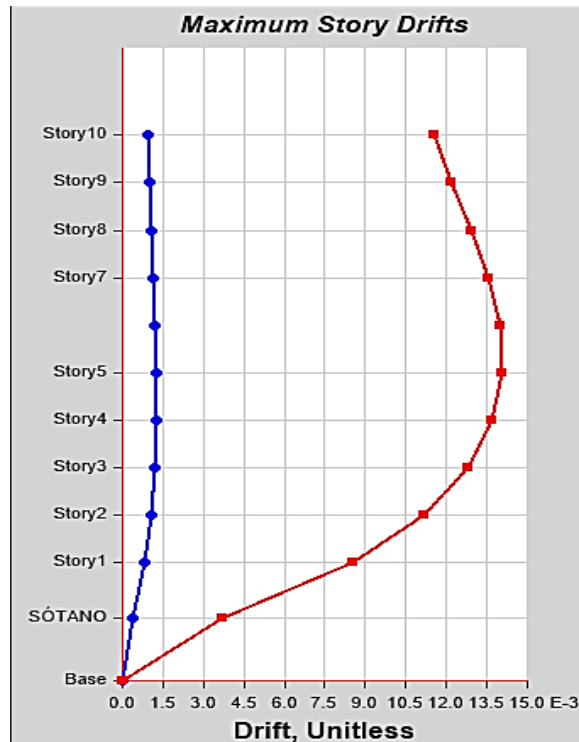


Figura N°33: Gráfico de las derivas en “y” – análisis dinámico (Etabs)

Fuente: Etabs v.18

Como se puede observar que, las derivas en “x” y en “y” no cumplen según la norma E-030 sismorresistente en el artículo 5.2 (mostrada en la siguiente tabla), la cual según la norma el límite de las derivas para concreto armado es de 0.007. Por ello se demuestra que se debe realizar una mejora, lo cual para la presente investigación se realizó interacción suelo – estructura.

Tabla N°27: Límites de las derivas.

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	$(\Delta_j / h_{ei})$
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: RNE - E-030 sismorresistente (2019)

#### 4.7- Condiciones para la Interacción Suelo – Estructura

Para aplicar Interacción suelo – estructura en el edificio, se toma en cuenta las siguientes condiciones de acuerdo a NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología):

- Estructuras rígidas (muros de corte, marcos arriostrados)
- Sistemas duales (especialmente si uno es rígido)

- $$\frac{h}{V_s * T} > 0.1$$

Para la presente investigación del edificio de 10 pisos.

Periodos:

T <sub>x</sub> =	0.985 s
T <sub>y</sub> =	0.958 s
T <sub>z</sub> =	0.716 s

$$\text{Para } T_x: \frac{34.5}{26.717 \times 0.985 \text{ s}} = 1.3109665 \text{ s} > 0.1 \quad \text{aplicar ISE}$$

$$\text{Para } T_y: \frac{34.5}{26.717 \times 0.958 \text{ s}} = 1.3479144 \text{ s} > 0.1 \quad \text{aplicar ISE}$$

$$\text{Para } T_z: \frac{34.5}{26.7172 \times 0.716 \text{ s}} = 1.8034944 \text{ s} > 0.1 \quad \text{aplicar ISE}$$

El edificio de 10 pisos es un sistema dual, la cual con la aplicación de la condición del tercer punto (altura entre la velocidad cortante del suelo con el periodo) resulta que si es necesario aplicar ISE en este caso, ya que en los tres ejes (x, y, z) resulta ser mayor a 0.1.

#### 4.8- Modelo FEMA

Para el procedimiento del cálculo de los coeficientes de rigidez traslacional y rotacional se obtienen por las normas del modelo FEMA que están especificadas y mostradas en el capítulo III de la presente investigación.

Datos del suelo (ver anexo N°04 -pag.21):

Módulo de elasticidad E:	14710 kpa
Tipo de suelo:	S2
Coefficiente de Poisson v:	0.33

Cálculo del Módulo de rigidez o de corte (G)

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$G = \frac{14710 \text{ kpa}}{2(1 + 0.33)} = 56.391 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 14710 \text{ kpa} = 150.042 \text{ kg/cm}^2 = 150 \text{ kg/cm}^2$$

1 kPa a kg/cm<sup>2</sup> = 0.0102 kg/cm<sup>2</sup>

4.8.1- Para la zapata 1

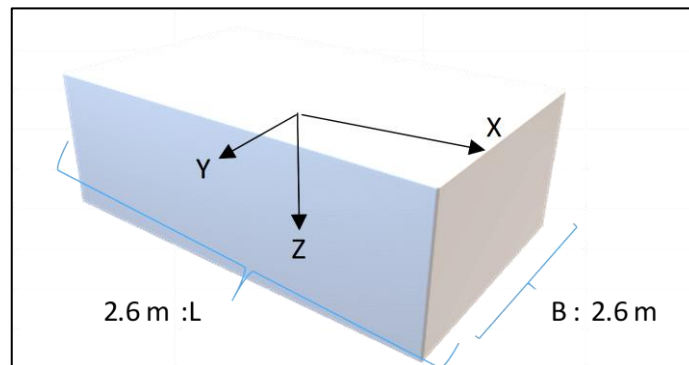


Figura N°34: Dimensiones de la zapata 1 - FEMA

Fuente: Elaboración propia

a) Cálculo de los coeficientes de rigidez del suelo Ksurp

$$G = 56.39 \text{ Kg/cm}^2 \times \frac{2.20462 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{(2.54)^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ pulg}^2} = 802.067 \text{ lb/pulg}^2$$

$$L = B = 2.6 \text{ m} \Leftrightarrow 102.362 \text{ pulg}$$

a.1) Traslación a lo largo del eje x

$$K_x = \frac{802.067 \times 102.362}{2 - 0.33} \left[ 3.4 \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$$

$$K_x = 226,147.047 \text{ lb/pulg}$$

a.2) Traslación a lo largo del eje y

$$K_y = \frac{802.067 \times 102.362}{2 - 0.33} \left( 3.4 \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{0.65} + 0.4 \times \frac{102.362}{102.362} + 0.8 \right)$$

$$K_y = 226,147.047 \text{ lb/pulg}$$

a.3) Traslación a lo largo del eje z

$$K_z = \frac{802.067 \times 102.362}{2 - 0.33} \left( 1.55 \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{0.75} + 0.8 \right)$$

$$K_z = 115,531.644 \text{ lb/pulg}$$

a.4) Rotación sobre el eje x

$$K_{xx} = \frac{802.067 \times 102.362}{1 - 0.33} \left( 0.4 \left( \frac{102.362}{102.362} \right) + 0.1 \right)^3$$

$$K_{xx} = 641,981,167.939 \text{ lb - pulg.}$$

a.5) Rotación sobre el eje y

$$K_{yy} = \frac{802.067 \times 102.362}{1 - 0.33} \left( 0.47 \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{2.4} + 0.034 \right)^3$$

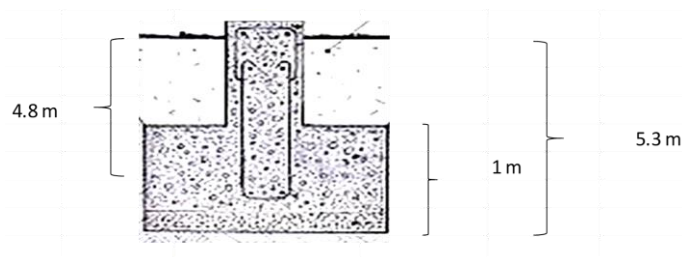
$$K_{yy} = 647,117,017.28 \text{ lb - pulg.}$$

a.6) Rotación o torsión sobre el eje z

$$K_{zz} = 802.067 \times 102.362 \left( 0.53 \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{2.45} + 0.51 \right)^3$$

$$K_{zz} = 894,664,955.64 \text{ lb - pulg.}$$

**b) Factores de corrección por Empotramiento**



$$D = 5.3 \text{ m} = 208.66 \text{ pulg}$$

$$d = 1 \text{ m} = 39.37 \text{ pulg}$$

$$h = 4.8 \text{ m} = 188.98 \text{ pulg}$$

b.1) factor de corrección para la traslación en x e y

$$\beta_x = \beta_y = \left( 1 + 0.21 \left( \frac{208.661}{102.362} \right)^{0.5} \right) \left( 1 + 1.6 \left( \frac{188.976 \times 39.370 \left( \frac{102.362 + 102.362}{102.362 \times 102.362} \right)^{0.4}}{102.362 \times 102.362} \right) \right)$$

$$\beta_x = \beta_y = 3.69$$

b.2) factor de corrección para la traslación en z

$$\beta_z = \left( 1 + \frac{208.661}{21 \times 102.362} \left( 2 + 2.6 \times \frac{102.362}{102.362} \right) \right) \left( 1 + 0.32 \left( \frac{39.370 \left( \frac{102.362 + 102.362}{102.362 \times 102.362} \right)^{0.67}}{102.362 \times 102.362} \right) \right)$$

$$\beta_z = 1.835$$

b.3) factor de corrección para la rotación en x

$$\beta_{xx} = \left( 1 + 2.5 \times \frac{39.370}{102.362} \right) \left( 1 + 2 \times \frac{39.370}{102.362} \left( \frac{39.370}{102.362} \right)^{-0.2} \times \left( \frac{102.362}{102.362} \right)^{0.5} \right)$$

$$\beta_{xx} = 3.788$$

b.4) factor de corrección para la rotación en y

$$\beta_{yy} = \left( 1 + 1.4 \times \left( \frac{39.370}{102.362} \right)^{0.6} \right) \left( 1.5 + 3.7 \times \left( \frac{39.370}{102.362} \right)^{1.9} \left( \frac{39.370}{208.661} \right)^{-0.6} \right)$$

$$\beta_{yy} = 5.614$$

b.5) factor de corrección para la rotación en z

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left( 1 + \frac{102.362}{102.362} \right) \left( \frac{39.370}{102.362} \right)^{0.9}$$

$$\beta_{zz} = 3.201$$

**c) Finalmente hacemos la corrección para la rigidez en la zapata 1**

$$K_x = 226,147.047 \text{ lb/pulg} \times 3.69 = 835,113.74 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \times \frac{1 \text{tn}}{2204.62 \text{lb}} \times \frac{1 \text{pulg}}{0.0254 \text{m}}$$

**» 14,913.45 Tonf/m**



$$K_y = 226,147.047 \text{ lb/pulg} \times 3.69 = 835,113.74 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \times \frac{1 \text{ tn}}{2204.62 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \\ \gg \mathbf{14,913.45 \text{ Tonf/m}}$$

$$K_z = 115,531.644 \text{ lb/pulg} \times 1.835 = 212,015.61 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \times \frac{1 \text{ tn}}{2204.62 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \\ \gg \mathbf{3,786.17 \text{ Tonf/m}}$$

$$K_{xx} = 641,981,167.94 \text{ lb - pulg.} \times 3.788 = 2,431,930,483.6 \text{ lb - pulg.} \times \frac{1 \text{ ton}}{2204.62 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \\ \gg \mathbf{28,018.847 \text{ Tonf - m}}$$

$$K_{yy} = 647,117,017.28 \text{ lb - pulg.} \times 5.614 = 3,633,112,396.6 \text{ lb - pulg.} \times \frac{1 \text{ ton}}{2204.62 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \\ \gg \mathbf{41,857.948 \text{ Tonf - m}}$$

$$K_{zz} = 894,664,955.64 \text{ lb - pulg.} \times 3.201 = 2,863,405,740.8 \text{ lb - pulg.} \times \frac{1 \text{ ton}}{2204.62 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \\ \gg \mathbf{32,989.976 \text{ Tonf - m}}$$

#### 4.8.2- Para la zapata 2

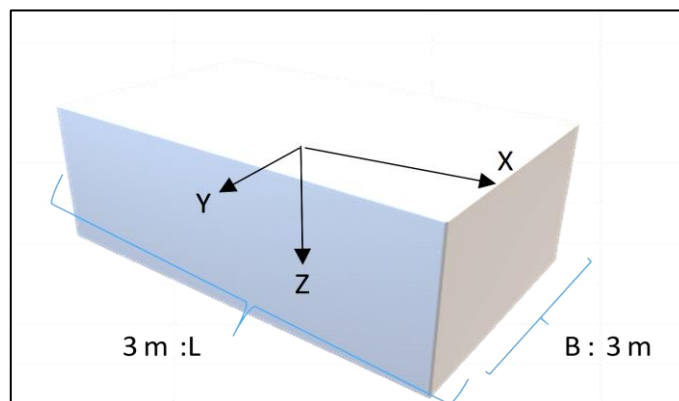


Figura N°35: Dimensiones de la zapata 2 - FEMA

Fuente: Elaboración propia

#### a) Cálculo de los coeficientes de rigidez del suelo $K_{surp}$

a.1) Traslación a lo largo del eje x

$$K_x = \frac{802.067 \times 118.11}{2 - 0.33} \left( 3.4 \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{0.65} + 1.2 \right)$$

$$K_x = 260,938.901 \text{ lb/pulg}$$

a.2) Traslación a lo largo del eje y

$$K_y = \frac{802.067 \times 118.11}{2 - 0.33} \left( 3.4 \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{0.65} + 0.4 \times \frac{118.11}{118.11} + 0.8 \right)$$

$$K_y = 260,938.901 \text{ lb/pulg}$$

a.3) Traslación a lo largo del eje z

$$K_z = \frac{802.067 \times 118.11}{2 - 0.33} \left( 1.55 \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{0.75} + 0.8 \right)$$

$$K_z = 133,305.743 \text{ lb/pulg}$$

a.4) Rotación sobre el eje x

$$K_{xx} = \frac{802.067 \times 118.11}{1 - 0.33} \left( 0.4 \left( \frac{118.11}{118.11} \right) + 0.1 \right)^3$$

$$K_{xx} = 986,202,294.855 \text{ lb - pulg.}$$

a.5) Rotación sobre el eje y

$$K_{yy} = \frac{802.067 \times 118.11}{1 - 0.33} \left( 0.47 \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{2.4} + 0.034 \right)^3$$

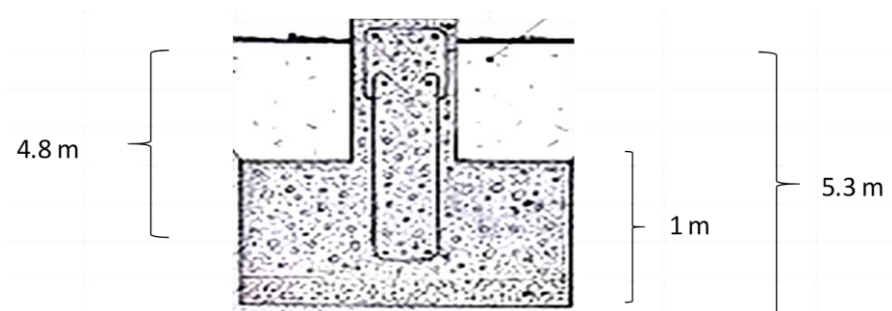
$$K_{yy} = 994,091,913.21 \text{ lb - pulg.}$$

a.6) Rotación o torsión sobre el eje z

$$K_{zz} = \frac{802.067 \times 118.11}{1 - 0.33} \left( 0.53 \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{2.45} + 0.51 \right)^3$$

$$K_{zz} = 1,374,371,518.11 \text{ lb - pulg.}$$

**b) Factores de corrección por Empotramiento**



$$D = 5.3 \text{ m} = 208.7 \text{ pulg}$$

$$d = 1 \text{ m} = 39.37 \text{ pulg}$$

$$h = 4.8 \text{ m} = 189 \text{ pulg}$$

b.1) factor de corrección para la traslación en x e y

$$\beta_x = \beta_y = \left( 1 + 0.21 \left( \frac{208.661}{118.11} \right)^{0.5} \right) \left( 1 + 1.6 \left( \frac{188.976 \times 39.370 \times \left[ \frac{118.11 + 118.11}{118.11 \times 118.11} \right]}{118.11} \right)^{0.4} \right)$$

$$\beta_x = \beta_y = 3.38$$

b.2) factor de corrección para la traslación en z

$$\beta_z = \left( 1 + \frac{208.661}{21 \times 118.11} \left( 2 + 2.6 \times \frac{118.11}{118.11} \right) \right) \left( 1 + 0.32 \left( \frac{39.370 \left[ \frac{118.11 + 118.11}{118.11 \times 118.11} \right]}{118.11} \right)^{0.67} \right)$$

$$\beta_z = 1.726$$

b.3) factor de corrección para la rotación en x

$$\beta_{xx} = \left( 1 + 2.5 \times \frac{39.370}{118.11} \right) \left( 1 + 2 \times \frac{39.370}{118.11} \left( \frac{39.370}{118.11} \right)^{-0.2} \times \left( \frac{118.11}{118.11} \right)^{0.5} \right)$$

$$\beta_{xx} = 3.356$$

b.4) factor de corrección para la rotación en y

$$\beta_{yy} = \left( 1 + 1.4 \times \left( \frac{39.370}{118.11} \right)^{0.6} \right) \left( 1.5 + 3.7 \times \left( \frac{39.370}{118.11} \right)^{1.9} \left( \frac{39.370}{208.661} \right)^{-0.6} \right)$$

$$\beta_{yy} = 4.738$$

b.5) factor de corrección para la rotación o torsión en z

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left( 1 + \frac{118.11}{118.11} \right) \left( \frac{39.370}{118.11} \right)^{0.9}$$

$$\beta_{zz} = 2.935$$

**c) Finalmente hacemos la corrección para la rigidez en la zapata 2**

$$K_x = 260,938.901 \text{ lb/pulg} \times 3.38 = 881,777.04 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \frac{1\text{tn}}{2204.62\text{lb}} \frac{1\text{pulg}}{0.0254\text{m}}$$

» **15,746.76 Tonf/m**

$$K_y = 260,938.901 \text{ lb/pulg} \times 3.38 = 881,777.04 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \quad \frac{1\text{tn}}{2204.62\text{lb}} \quad \frac{1\text{pulg}}{0.0254\text{m}}$$

» **15,746.76 Tonf/m**

$$K_z = 133,305.743 \text{ lb/pulg} \times 1.726 = 230,045.05 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \quad \frac{1\text{tn}}{2204.62\text{lb}} \quad \frac{1\text{pulg}}{0.0254\text{m}}$$

» **4,108.14 Tonf/m**

$$K_{xx} = 986,202,294.85 \text{ lb - pulg.} \times 3.356 = 3,309,595,154.6 \text{ lb - pulg.} \quad \frac{0.0004536 \text{ ton}}{\text{lb}} \quad \frac{0.0254 \text{ m}}{\text{pulg}}$$

» **38,130.629 Tonf - m**

$$K_{yy} = 994,091,913.21 \text{ lb - pulg.} \times 4.738 = 4,710,213,963.2 \text{ lb - pulg.} \quad \frac{0.0004536 \text{ ton}}{\text{lb}} \quad \frac{0.0254 \text{ m}}{\text{pulg}}$$

» **54,267.490 Tonf - m**

$$K_{zz} = 1,374,371,518.11 \text{ lb - pulg.} \times 2.935 = 4,033,253,999.3 \text{ lb - pulg.} \quad \frac{0.0004536 \text{ ton}}{\text{lb}} \quad \frac{0.0254 \text{ m}}{\text{pulg}}$$

» **46,468.074 Tonf - m**

#### 4.8.3- Resumen de rigideces totales – FEMA

Tabla N°28: *Resumen de rigideces totales - FEMA*

ZAPATA	KembX (ton/m)	KembY (ton/m)	KembZ (ton/m)	KembXX (ton-m/rad)	KembYY (ton-m/rad)	KembZZ (ton-m/rad)
1	14,913.45	14,913.45	3,786.17	28,018.847	41,857.948	32,989.976
2	15,746.76	15,746.76	4,108.14	38,130.629	54,267.490	46,468.074

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9- Modelo ASCE

Para el procedimiento del cálculo de los coeficientes de rigidez traslacional y rotacional se obtienen por las normas del modelo ASCE que están especificadas y mostradas en el capítulo III de la presente investigación.

Datos del suelo (ver anexo N°04 – pag.21):

Módulo de elasticidad E:	14710 kpa
Tipo de suelo:	S2
Densidad del suelo ( $\rho_s$ ) o (g):	0.8 ton/m <sup>3</sup>
Coeficiente de Poisson $\nu$ :	0.33

Cálculo del Módulo de rigidez o de corte (G)

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$G = \frac{150 \text{ kg/cm}^2}{2 (1 + 0.33)} = 56.391 \text{ kg/cm}^2 = 563.910 \text{ tonf/m}^2$$

$$E = 14710 \text{ kpa} = 150.042 = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = B = 1.3 \text{ m}$$

4.9.1- Para la zapata 1

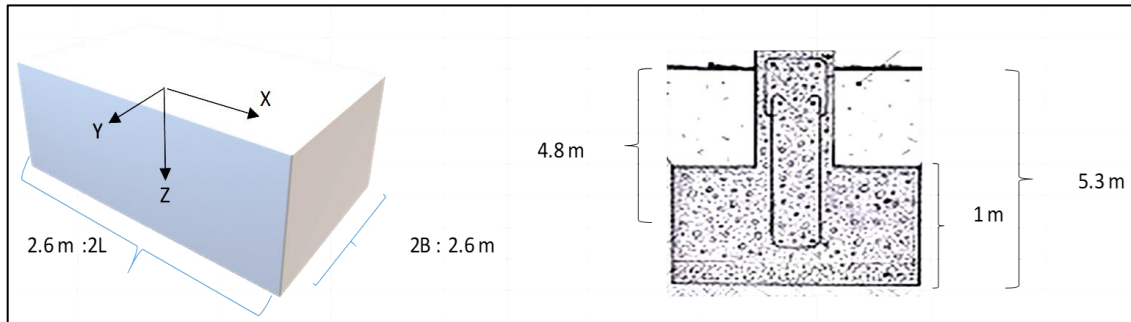


Figura N°36: Dimensiones de la zapata 1 - ASCE

Fuente: Elaboración propia

$$D = 5.3 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

$$h = 4.8 \text{ m}$$

Cálculo de inercias (Ix,y)

$$I_x = \frac{2.6 \text{ m} \times 5.3 \text{ m}^3}{12} = 32.257 \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{2.6 \text{ m} \times 5.3 \text{ m}^3}{12} = 7.763 \text{ m}^4$$

$$J = 40.019 \text{ m}^4$$

a) Cálculo de los coeficientes de rigidez del suelo Ksurp

a.1) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje y

$$K_{y,sur} = 2 \times \frac{563.910 \times 1.3}{2 - 0.33} \left( 2 + 2.5 \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{0.85} \right)$$

$$K_{y,sur} = 3950.745 \text{ Ton/m}$$

a.2) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje x

$$K_{x,sur} = 3950.745 - \left( \frac{0.2}{0.75 - 0.33} \times 563.910 \times 1.3 \left( 1 - \frac{1.3}{1.3} \right) \right)$$

$$K_{x,sur} = 3950.745 \text{ Ton/m}$$

a.3) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje z

$$K_{z,sur} = 2 \times \frac{563.910 \times 1.3 \text{ m}}{1 - 0.33} \left( 0.73 + 1.54 \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{0.75} \right)$$

$$K_{z,sur} = 4967.456 \text{ Ton/m}$$

a.4) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje x

$$K_{xx,sur} = \frac{563.910}{1 - 0.33} \left( 32.257 \right)^{0.75} \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{0.25} \times \left( 2.4 + 0.5 \times \frac{1.3}{1.3} \right)$$

$$K_{xx,sur} = 33036.772 \text{ Ton - m/rad}$$

a.5) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje y

$$K_{yy,sur} = \frac{563.910}{1 - 0.33} \left( 7.763 \right)^{0.75} \left( 3 \times \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{0.15} \right)$$

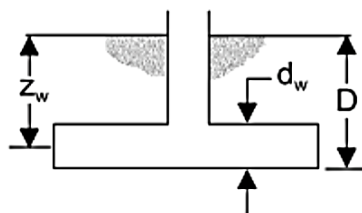
$$K_{yy,sur} = 11742.676 \text{ Ton - m/rad}$$

a.6) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje z

$$K_{zz,sur} = 563.910 \times \left( 40.019 \right)^{0.75} \left( 4 + 11 \left( 1 - \frac{1.3}{1.3} \right)^{10} \right)$$

$$K_{zz,sur} = 35889.936 \text{ Ton - m/rad}$$

**b) Cálculo de los coeficientes  $\eta$ , consideración de desplante**



$$D = 5.3 \text{ m}$$

$$dw = 1 \quad m$$

$$Zw = 4.8 \quad m$$

Dimensiones de la zapata:

$$2L = 2B = 2.6 \quad m$$

$$B = 1.3 \quad m$$

$$L = 1.3 \quad m$$

$$Aw = 10.4 \quad m^2$$

b.1) Coeficiente para traslación alrededor del eje y

$$\eta_y = \left( 1 + 0.15 \left( \frac{5.3}{1.3} \right)^{0.5} \right) \left( 1 + 0.52 \left( \frac{4.8 \times 10.4}{1.3 \times 1.69} \right)^{0.4} \right)$$

$$\eta_y = 3.666$$

b.2) Coeficiente para traslación alrededor del eje x

$\eta_x$  = Misma ecuación que  $\eta_y$ , pero términos de  $Aw$  cambian por  $B \neq L$

$$\eta_x = 3.666$$

b.3) Coeficiente para traslación alrededor del eje z

$$\eta_z = \left( 1 + \frac{5.3}{21 \times 1.3} \left( 1 + 1.3 \times \frac{1.3}{1.3} \right) \right) \left( 1 + 0.2 \left( \frac{10.4}{4 \times 1.3 \times 1.3} \right)^{0.67} \right)$$

$$\eta_z = 1.832$$

b.4) Coeficiente para rotación alrededor del eje x

$$\eta_{xx} = 1 + 1.26 \times \frac{1}{1.3} \left( 1 + \frac{1}{1.3} \left( \frac{1}{5.3} \right)^{-0.2} \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{0.5} \right)$$

$$\eta_{xx} = 3.010$$

b.5) Coeficiente para rotación alrededor del eje y

$$\eta_{yy} = 1 + 0.92 \left( \frac{1}{1.3} \right)^{0.6} \left( 1.5 + \left( \frac{1}{5.3} \right)^{1.9} \times \left( \frac{1.3}{1.3} \right)^{-0.6} \right)$$

$$\eta_{yy} = 2.212$$

b.6) Coeficiente para rotación alrededor del eje z

$$\eta_{zz} = 1 + 1.4 \times \left( 1 + \frac{1.3}{1.3} \right) \left( \frac{1}{1.3} \right)^{0.9}$$

$$\eta_{zz} = 3.211$$

c) Cálculo de los factores de rigidez dinámica que consideran la vibración de la estructura

$$\alpha_o = \omega B / V_s ; \quad \psi = \sqrt{2(1-\nu) / (1-2\nu)} ; \quad \psi \leq 2.5 \quad V_s = \sqrt{G / \rho_s} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$V_s = 26.717 \quad \text{m/s}$   
 $\rho_s = 0.79 \quad \text{ton/m}^3$   
 $G = 563.910 \quad \text{tonf/m}^2$   
 $\nu = 0.33$   
 $\pi = 3.141592654$

Frecuencia angular:

$\omega_x = 6.379$   
 $\omega_y = 6.559$   
 $\omega_z = 8.775$

Periodos (Etabs):

$T_x =$	0.985 s
$T_y =$	0.958 s
$T_z =$	0.716 s

Frecuencia adicional:

$\alpha_{0x} = 0.310 \quad \longrightarrow \quad \Psi = 1.985 \quad \mathbf{ok!}$   
 $\alpha_{0y} = 0.319 \quad \longrightarrow \quad \Psi = 1.985 \quad \mathbf{ok!}$   
 $\alpha_{0z} = 0.427 \quad \longrightarrow \quad \Psi = 1.985 \quad \mathbf{ok!}$

c.1) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje x

$\alpha_x = 1$

c.2) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje y

$\alpha_y = 1$



c.3) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje z

$$\alpha_{z} = 1 - \left( \frac{\left( 0.4 + \frac{0.2}{1} \right) \times 0.427^2}{\left( 1 + \frac{10}{3(1-1)} \right) \times 0.427^2} \right)$$

$$\alpha_{z} = 0.940$$

c.4) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje x

$$\alpha_{xx} = 1 - \left( \frac{0.55 + \frac{0.01(1-1)}{2.4 - \frac{0.4}{1}} \frac{0.5}{0.310}}{0.310^2} \right)$$

$$\alpha_{xx} = 0.738$$

c.5) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje y

$$\alpha_{yy} = 1 - \left( \frac{0.55 \times \frac{0.319}{0.6 + \frac{1.4}{1}}}{0.319^2} \right)$$

$$\alpha_{yy} = 0.973$$

c.6) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje z

$$\alpha_{zz} = 1 - \left( \frac{\frac{0.33 - \frac{0.03(1-1)}{0.8}}{1 + \frac{0.33}{3(1-1)}} \frac{0.5}{0.427}}{0.427^2} \right)$$

$$\alpha_{zz} = 0.664$$

#### 4.9.2- Para la zapata 2

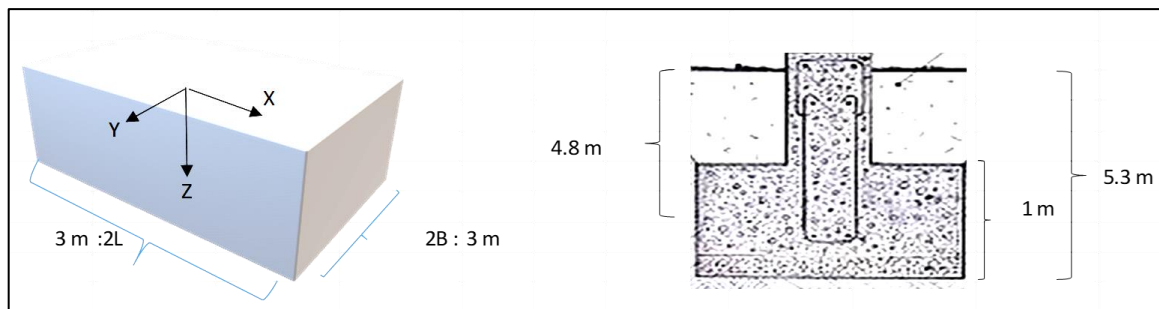


Figura N°37: Dimensiones de la zapata 2 - ASCE

Fuente: Elaboración propia

$$D = 5.3 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

$$h = 4.8 \text{ m}$$

$$L = B = 1.5 \text{ m}$$

Cálculo de inercias (Ix,y):

$$I_x = \frac{3 \text{ m} \times 5.3 \text{ m}^3}{12} = 37.219 \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{3 \text{ m} \times 5.3 \text{ m}^3}{12} = 11.925 \text{ m}^4$$

$$J = 49.144 \text{ m}^4$$

### a) Cálculo de los coeficientes de rigidez del suelo Ksurp

a.1) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje y

$$K_{y,sur} = 2 \times \frac{563.910 \times 1.5}{2 - 0.33} \left( 2 + 2.5 \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{0.85} \right)$$

$$K_{y,sur} = 4558.552 \text{ Ton/m}$$

a.2) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje x

$$K_{x,sur} = 4558.552 - \left( \frac{0.2}{0.75 - 0.33} \times 563.910 \times 1.5 \left( 1 - \frac{1.5}{1.5} \right) \right)$$

$$K_{x,sur} = 4558.552 \text{ Ton/m}$$

a.3) Cálculo de la rigidez traslacional alrededor del eje z

$$K_{z,sur} = 2 \times \frac{563.910 \times 1.5}{1 - 0.33} \left( 0.73 + 1.54 \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{0.75} \right)$$

$$K_{z,sur} = 5731.680 \text{ Ton/m}$$

a.4) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje X:

$$K_{xx,sur} = \left( \frac{563.910}{1 - 0.33} \right) \times 37.219^{0.75} \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{0.25} \times \left( 2.4 + 0.5 \times \frac{1.5}{1.5} \right)$$

$$K_{xx,sur} = 36779.729 \text{ Ton - m/rad}$$

a.5) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje y

$$K_{yy,sur} = \frac{563.910}{1 - 0.33} \times 11.925^{0.75} \times \left( 3 \times \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{0.15} \right)$$

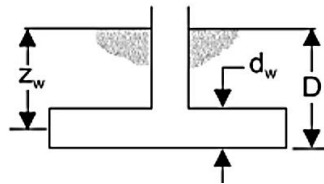
$$K_{yy,sur} = 16203.165 \text{ Ton} \cdot \text{m/rad}$$

a.6) Cálculo de la rigidez rotacional alrededor del eje z

$$K_{zz,sur} = 563.910 \times 49.144^{0.75} \times \left( 4 + 11 \left( 1 - \frac{1.5}{1.5} \right)^{10} \right)$$

$$K_{zz,sur} = 41867.222 \text{ Ton} \cdot \text{m/rad}$$

**b) Cálculo de los coeficientes  $\eta$ , consideración de desplante**



$$D = 5.3 \text{ m}$$

$$d_w = 1 \text{ m}$$

$$Z_w = 4.8 \text{ m}$$

Dimensiones de la zapata:

$$2L = 2B = 3 \text{ m}$$

$$B = 1.5 \text{ m}$$

$$L = 1.5 \text{ m}$$

$$A_w = 12 \text{ m}^2$$

b.1) Coeficiente para traslación alrededor del eje y

$$\eta_y = \left( 1 + 0.15 \left( \frac{5.3}{1.5} \right)^{0.5} \right) \left( 1 + 0.52 \left( \frac{4.8 \times 12}{1.5 \times 2.25} \right)^{0.4} \right)$$

$$\eta_y = 3.356$$

b.2) Coeficiente para traslación alrededor del eje x

$\eta_x =$  Misma ecuación que  $\eta_y$ , pero términos de  $A_w$  cambian por  $B \neq L$

$$\eta_x = 3.356$$

b.3) Coeficiente para traslación alrededor del eje z

$$\eta_z = \left( 1 + \frac{5.3}{21 \times 1.5} \left( 1 + 1.3 \times \frac{1.5}{1.5} \right) \right) \left( 1 + 0.2 \left( \frac{12}{4 \times 1.5 \times 1.5} \right)^{0.67} \right)$$

$$\eta_z = 1.723$$

b.4) Coeficiente para rotación alrededor del eje x

$$\eta_{xx} = 1 + 1.26 \times \frac{1}{1.5} \left( 1 + \frac{1}{1.5} \left( \frac{1}{5.3} \right)^{-0.2} \times \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{0.5} \right)$$

$$\eta_{xx} = 2.622$$

b.5) Coeficiente para rotación alrededor del eje y

$$\eta_{yy} = 1 + 0.92 \left( \frac{1}{1.5} \right)^{0.6} \left( 1.5 + \left( \frac{1}{5.3} \right)^{1.9} \left( \frac{1.5}{1.5} \right)^{-0.6} \right)$$

$$\eta_{yy} = 2.112$$

b.5) Coeficiente para rotación alrededor del eje z

$$\eta_{zz} = 1 + 1.4 \left( 1 + \frac{1.5}{1.5} \right) \left( \frac{1}{1.5} \right)^{0.9}$$

$$\eta_{zz} = 2.944$$

**c) Cálculo de los factores de rigidez dinámica que consideran la vibración de la estructura**

$$V_s = 26.717 \text{ m/s}$$

$$\rho_s = 0.79 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 563.910 \text{ tonf/m}^2$$

$$v = 0.33$$

Frecuencia angular de vibración:

Periodos (Etabs)

$$\omega_x = 6.379$$

$$\omega_y = 6.559$$

$$\omega_z = 8.775$$

$T_x =$	0.985 s
$T_y =$	0.958 s
$T_z =$	0.716 s

$$\alpha_{0x} = 0.358 \longrightarrow \Psi = 1.985 \text{ ok!}$$

$$\alpha_{0y} = 0.368 \longrightarrow \Psi = 1.985 \text{ ok!}$$

$$\alpha_{0z} = 0.493 \longrightarrow \Psi = 1.985 \text{ ok!}$$

c.1) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje x

$$\alpha_x = 1$$

c.2) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje y

$$\alpha_y = 1$$

c.3) Coeficiente  $\alpha$  de traslación en el eje z

$$\alpha_z = 1 - \left( \frac{\left( 0.4 + \frac{0.2}{1} \right) \times 0.493^2}{\frac{10}{1 + \frac{3}{1 - 1}}} \times 0.493^2 \right)$$

$$\alpha_z = 0.940$$

c.4) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje x

$$\alpha_{xx} = 1 - \left( \frac{0.55 + \frac{0.01(1-1)}{2.4 - \frac{0.4}{1}} \frac{0.5}{0.358}}{+ 0.358^2} \right)^2$$

$$\alpha_{xx} = 0.742$$

c.5) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje y

$$\alpha_{yy} = 1 - \left( \frac{0.55 \times \frac{0.368}{\left( 0.6 + \frac{1.4}{1} \right) + 0.368^2}} \right)^2$$

$$\alpha_{yy} = 0.965$$

c.6) Coeficiente  $\alpha$  de rotación en el eje z

$$\alpha_{zz} = 1 - \left( \frac{0.33 - 0.03 \left[ \frac{1 - 1}{0.8} \right]^{0.5} \times 0.493^2}{1 + 0.33 \left[ \frac{1 - 1}{0.8} \right]} \right) + 0.493^2$$

$$\alpha_{zz} = 0.684$$

#### 4.9.3- Corrección de la rigidez

Tabla N°29: Resumen de las rigideces de la cimentación en la superficie - ASCE

ZAPATA	Kx, sur (Ton/m)	Ky, sur (Ton/m)	Kz, sur (Ton/m)	Kxx, sur (Ton- m/rad)	Kyy, sur (Ton- m/rad)	Kzz, sur (Ton- m/rad)
1	3950.745	3950.745	4967.456	33036.772	11742.676	35889.936
2	4558.552	4558.552	5731.680	36779.729	16203.165	41867.222

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°30: Resumen de los factores de corrección de incrustación – ASCE

ZAPATA	$\eta_x$	$\eta_y$	$\eta_z$	$\eta_{xx}$	$\eta_{yy}$	$\eta_{zz}$
1	3.666	3.666	1.832	3.010	2.212	3.211
2	3.356	3.356	1.723	2.622	2.112	2.944

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°31: Resumen de los factores de rigidez dinámica que consideran la vibración de la estructura - ASCE

ZAPATA	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_{xx}$	$\alpha_{yy}$	$\alpha_{zz}$
1	1.000	1.000	0.940	0.738	0.973	0.664
2	1.000	1.000	0.940	0.742	0.965	0.684

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32: Rigideces totales – ASCE

ZAPATA	Kdx (Ton/m)	Kdy (Ton/m)	Kdz (Ton/m)	Krx (Ton/m)	Kry (Ton/m)	Krz (Ton/m)
1	14483.326	14483.326	8554.677	73350.281	25283.233	76530.576
2	15296.733	15296.733	9283.286	71506.617	33031.282	84246.677

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10- Asignación de los coeficientes de rigidez

ET Point Spring Property Data

General Data

Property Name: ZAPATA 1 FEMA

Display Color:  Change...

Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

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

Simple Spring Stiffness in Global Directions

Translation X	14913.45	tonf/m
Translation Y	14913.45	tonf/m
Translation Z	3786.17	tonf/m
Rotation about X-Axis	28018.847	tonf-m/rad
Rotation about Y-Axis	41857.948	tonf-m/rad
Rotation about Z-Axis	32989.976	tonf-m/rad

Figura N°38: Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 1 - FEMA

Fuente: Etabs v.18

ET Point Spring Property Data

General Data

Property Name: ZAPATA 2 FEMA

Display Color:  Change...

Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

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

Simple Spring Stiffness in Global Directions

Translation X	15746.76	tonf/m
Translation Y	15746.76	tonf/m
Translation Z	4108.14	tonf/m
Rotation about X-Axis	38130.629	tonf-m/rad
Rotation about Y-Axis	54267.49	tonf-m/rad
Rotation about Z-Axis	46468.074	tonf-m/rad

Figura N°39: Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 2 - FEMA

Fuente: Etabs v.18

ET Point Spring Property Data X

**General Data**

Property Name:

Display Color:

Property Notes:

---

**Spring Stiffness Options**

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

---

**Simple Spring Stiffness in Global Directions**

Translation X	<input type="text" value="14483.326"/>	tonf/m
Translation Y	<input type="text" value="14483.326"/>	tonf/m
Translation Z	<input type="text" value="8554.677"/>	tonf/m
Rotation about X-Axis	<input type="text" value="73350.281"/>	tonf-m/rad
Rotation about Y-Axis	<input type="text" value="25283.233"/>	tonf-m/rad
Rotation about Z-Axis	<input type="text" value="76530.576"/>	tonf-m/rad

**Figura N°40:** Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 1 – modelo ASCE

Fuente: Etabs v.18

ET Point Spring Property Data X

**General Data**

Property Name:

Display Color:

Property Notes:

---

**Spring Stiffness Options**

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

---

**Simple Spring Stiffness in Global Directions**

Translation X	<input type="text" value="15296.733"/>	tonf/m
Translation Y	<input type="text" value="15296.733"/>	tonf/m
Translation Z	<input type="text" value="9283.286"/>	tonf/m
Rotation about X-Axis	<input type="text" value="71506.617"/>	tonf-m/rad
Rotation about Y-Axis	<input type="text" value="33031.282"/>	tonf-m/rad
Rotation about Z-Axis	<input type="text" value="84246.677"/>	tonf-m/rad

**Figura N°41:** Asignación de los coeficientes de rigidez para la zapata 2 – modelo ASCE

Fuente: Etabs v.18



#### 4.11- Análisis e interpretación de resultados con interacción suelo - estructura

##### a) Periodo de vibración:

Tabla N°33: Resumen de periodos de vibración de los modelos de ISE

MODELO:		FEMA		ASCE		M. PATRÓN	
Case	Mode	Period	Frequency	Period	Frequency	Period	Frequency
		sec	cyc/sec	sec	cyc/sec	sec	cyc/sec
Modal	1	2.726	0.367	2.043	0.489	0.985	1.015
Modal	2	2.024	0.494	1.861	0.537	0.958	1.044
Modal	3	1.304	0.767	1.21	0.827	0.716	1.397
Modal	4	0.379	2.641	0.376	2.661	0.272	3.672
Modal	5	0.355	2.814	0.34	2.94	0.233	4.292
Modal	6	0.282	3.547	0.269	3.714	0.184	5.437
Modal	7	0.166	6.016	0.166	6.018	0.128	7.793
Modal	8	0.146	6.856	0.144	6.958	0.099	10.087
Modal	9	0.121	8.262	0.118	8.509	0.081	12.341
Modal	10	0.099	10.109	0.099	10.14	0.077	13.044
Modal	11	0.079	12.648	0.078	12.754	0.057	17.678
Modal	12	0.067	15.025	0.065	15.284	0.052	19.245
Modal	13	0.065	15.289	0.065	15.301	0.047	21.353
Modal	14	0.059	16.916	0.059	16.942	0.039	25.965
Modal	15	0.058	17.174	0.058	17.177	0.038	26.21
Modal	16	0.049	20.482	0.049	20.578	0.032	31.501
Modal	17	0.046	21.562	0.047	21.336	0.03	32.896
Modal	18	0.046	21.576	0.046	21.951	0.029	34.8
Modal	19	0.046	21.968	0.042	23.835	0.025	39.842
Modal	20	0.043	23.423	0.04	24.694	0.024	41.77
Modal	21	0.042	23.852	0.039	25.519	0.023	42.824
Modal	22	0.04	24.725	0.039	25.556	0.021	46.575
Modal	23	0.039	25.502	0.034	29.231	0.02	50.01
Modal	24	0.039	25.561	0.034	29.568	0.019	51.441
Modal	25	0.034	29.433	0.033	30.61	0.019	52.491
Modal	26	0.034	29.497	0.032	31.33	0.018	56.082
Modal	27	0.031	32.304	0.031	32.118	0.018	56.665
Modal	28	0.031	32.715	0.03	33.186	0.017	60.12
Modal	29	0.03	32.866	0.03	33.225	0.016	60.616
Modal	30	0.03	32.946	0.03	33.385	0.016	63.353
Modal	31	0.03	33.215	0.029	35.022	0.015	67.257
Modal	32	0.03	33.45	0.028	35.51	0.014	72.123
Modal	33	0.03	33.453	0.028	35.545	0.013	74.662

Fuente: Elaboración propia

	M.PATRÓN	FEMA	ASCE
Periodo max. (seg)	0.985	2.726	2.043

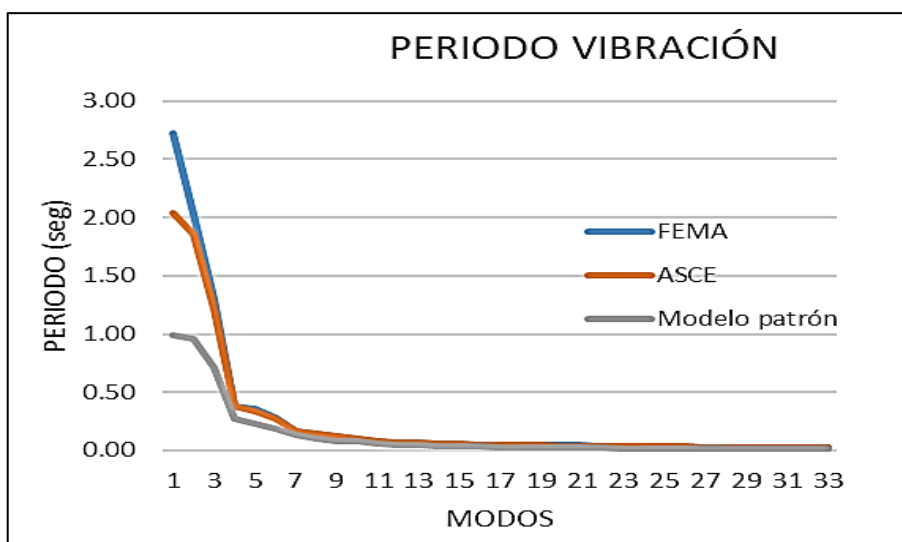


Figura N°42: Periodo de vibración con ISE

Fuente: Elaboración propia

Se resume el diagrama de los periodos de vibración de la ISE relacionada con el modelo patrón de la estructura. Dicho grafico se observa que va en aumento los periodos de vibración, pues este análisis considera la flexibilidad de la estructura en la cimentación debido a que se acopla entre el suelo-cimiento-estructura. Siendo el modelo FEMA el más flexible con un incremento del 2.726 seg en relación con el edificio de base fija.

### b) Desplazamientos:

Tabla N°34: Resumen de desplazamientos de los modelos de ISE

MODELOS:		FEMA		ASCE		M. PATRÓN	
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	m	m	m	m	m	m	m
Story10	34.5	0.17905	0.35238	0.147879	0.203488	0.044921	0.051341
Story9	31.5	0.165735	0.323967	0.13766	0.187778	0.04167	0.046753
Story8	28.5	0.151984	0.295202	0.127	0.171723	0.038041	0.041901
Story7	25.5	0.137753	0.266021	0.115849	0.155263	0.034017	0.036775
Story6	22.5	0.123029	0.236387	0.10419	0.138368	0.029627	0.031408
Story5	19.5	0.107847	0.206312	0.092047	0.121054	0.024949	0.025889
Story4	16.5	0.092268	0.17584	0.079469	0.103375	0.020101	0.020357
Story3	13.5	0.076367	0.145039	0.066508	0.085405	0.015235	0.01499

Story2	10.5	0.060235	0.113994	0.053223	0.067239	0.010538	0.010011
Story1	7.5	0.043952	0.082803	0.039632	0.048986	0.006244	0.005683
SÓTANO	4	0.024887	0.046295	0.023349	0.027677	0.002169	0.001879
Base	0	0.004971	0.005073	0.005842	0.004966	0	0

Fuente: Elaboración propia

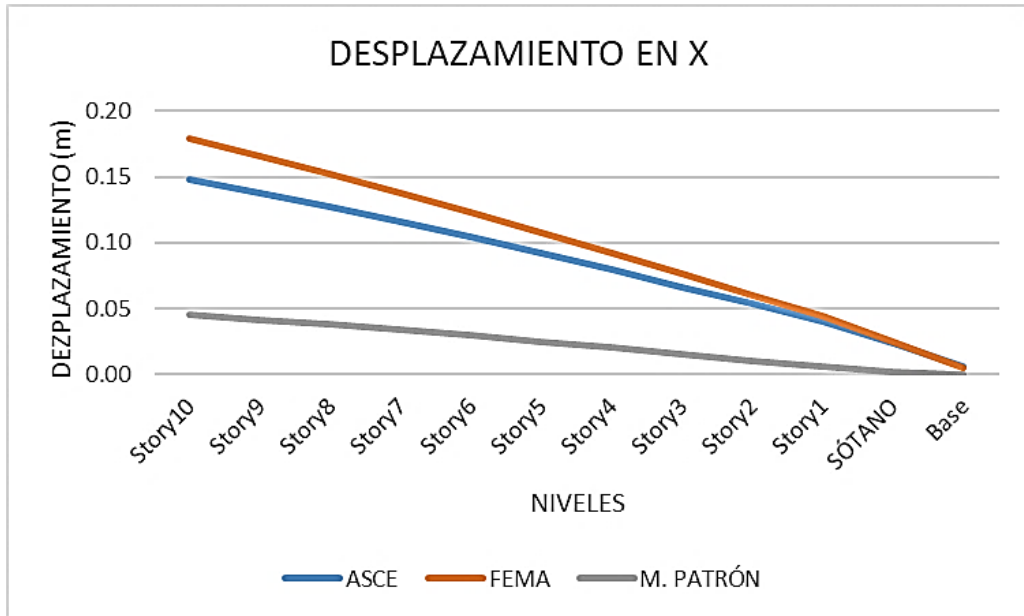


Figura N°43: Desplazamientos en "x" con ISE

Fuente: Elaboración propia

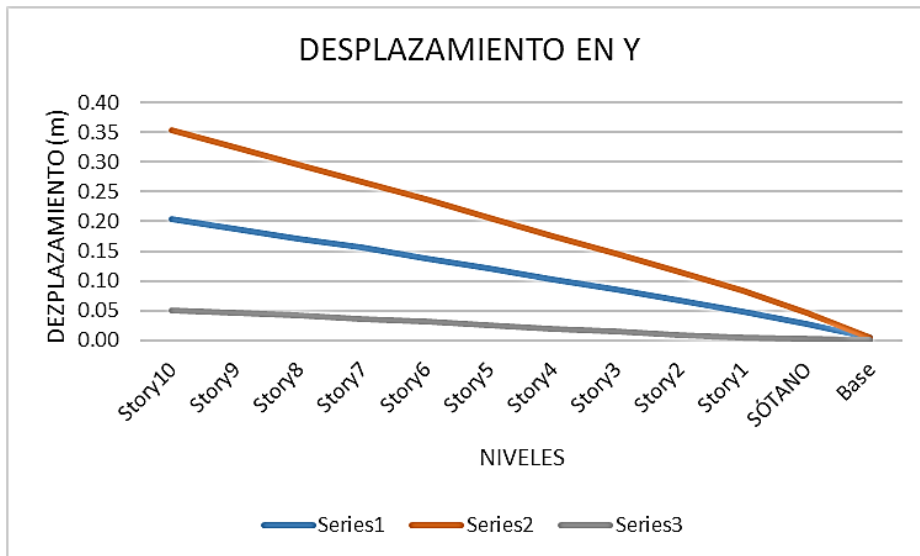


Figura N°44: Desplazamientos en "y" con ISE

Fuente: Elaboración propia

Desplaz. Max.	M. PATRÓN		FEMA		ASCE	
	x	y	x	y	x	y
	0.045	0.051	0.179	0.352	0.148	0.203

Se resume el diagrama de los desplazamientos con ISE relacionada con el modelo patrón de la estructura. Dicho grafico se observa que aumenta los desplazamientos en x e y. Siendo el modelo FEMA el más flexible con un incremento máximo de 0.179m, en x, y 0.352m, en y, pues posee una menor rigidez en comparación con el modelo ASCE lo cual hace que la estructura ceda un poco más.

**d) Derivas:**

Como se puede observar en la siguiente tabla de resumen de las derivas por los dos modelos, de acuerdo a la norma E-030 sismorresistente en el Art. 5.2, las derivas resultadas por el modelo ASCE son las que cumplen, ya que no sobrepasan al límite de 0.007.

Tabla N°35: Resumen de derivas de los modelos de ISE

MODELOS:		FEMA		ASCE		M. PATRÓN	
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	m						
Story10	34.5	0.003618	0.007514	0.002789	0.004178	0.008141	0.011519
Story9	31.5	0.003733	0.007607	0.002906	0.004271	0.009084	0.012195
Story8	28.5	0.003864	0.007721	0.003041	0.004385	0.01009	0.012907
Story7	25.5	0.004004	0.00785	0.003187	0.004512	0.011053	0.013545
Story6	22.5	0.004142	0.007981	0.003335	0.004639	0.011845	0.013971
Story5	19.5	0.00427	0.008104	0.003476	0.004757	0.012368	0.014065
Story4	16.5	0.004382	0.008213	0.003608	0.004859	0.012526	0.013712
Story3	13.5	0.004474	0.008303	0.00373	0.004937	0.012212	0.012798
Story2	10.5	0.004545	0.008365	0.003848	0.004985	0.011284	0.0112
Story1	7.5	0.004594	0.008417	0.003987	0.005014	0.009285	0.008505
SÓTANO	4	0.005467	0.009	0.005202	0.005259	0.004373	0.003714
Base	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

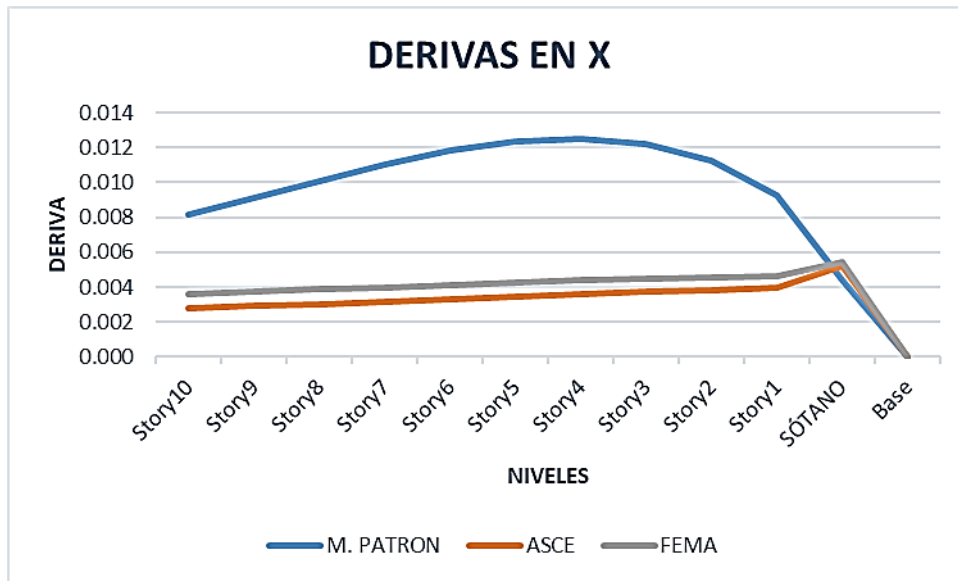


Figura N°45: Derivas en "x" con ISE

Fuente: Elaboración propia

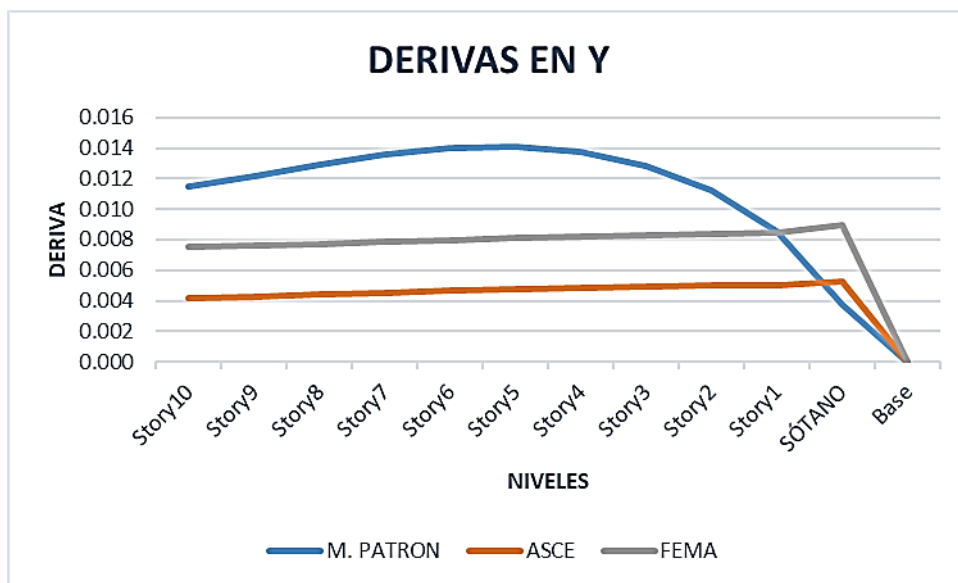


Figura N°46: Derivas en "y" con ISE

Fuente: Elaboración propia

También, se puede observar que las derivas en la dirección "y" son mayores a las derivas en dirección "x", teniendo como deriva máxima 0.00526 m por el modelo ASCE según en la figura de derivas en y, esto se produce debido a que el edificio ha sido aplicado por interacción suelo – estructura y hace que disminuya las derivas de acuerdo a los desplazamientos.

**d) Fuerza cortante:**

A continuación, se presentan las tablas de resumen de los cortantes máximos por niveles; de cada uno de los modelos y del modelo patrón.

Tabla N°36: Resumen de fuerzas cortantes de los modelos de ISE

MODELOS:		FEMA		ASCE		M. PATRÓN	
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story10	34.5	100.5523	102.6442	99.0544	102.0178	103.1619	106.8077
Story9	31.5	201.7056	204.3892	199.4746	203.3391	202.3931	205.7383
Story8	28.5	292.7586	294.8036	290.6821	293.6434	290.4687	290.9373
Story7	25.5	372.9397	373.6221	371.769	372.6765	367.4386	363.8401
Story6	22.5	443.3575	442.4124	443.6467	441.9362	434.3224	426.1824
Story5	19.5	504.9816	502.4369	507.0742	502.5616	491.6656	478.8927
Story4	16.5	558.5878	554.5609	562.6368	555.2736	539.6883	522.4372
Story3	13.5	604.6388	599.2403	610.6409	600.3984	578.3399	557.0063
Story2	10.5	643.1895	636.5264	651.0252	637.908	607.4043	582.664
Story1	7.5	674.4901	666.7509	683.9678	668.1156	627.0647	599.8693
SÓTANO	4	696.0213	687.6987	706.783	688.8629	635.5044	607.3864
Base	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

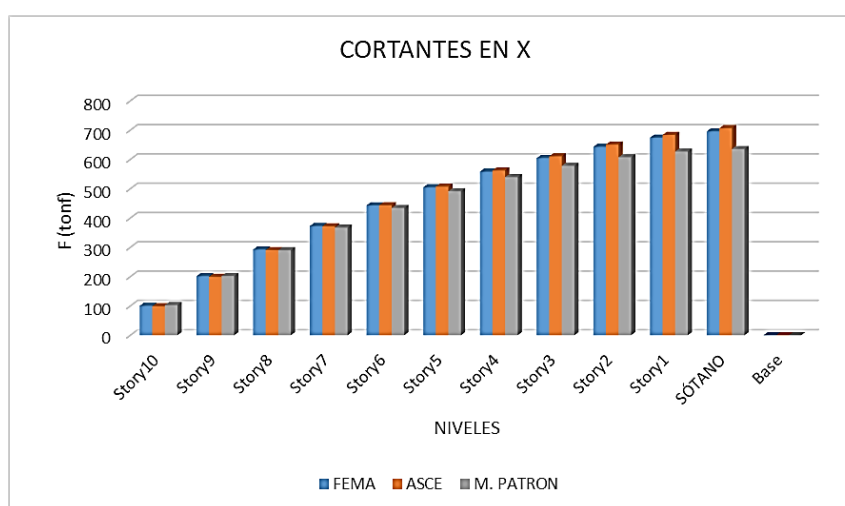


Figura N°47: Fuerzas cortantes en “x” con ISE

Fuente: Elaboración propia

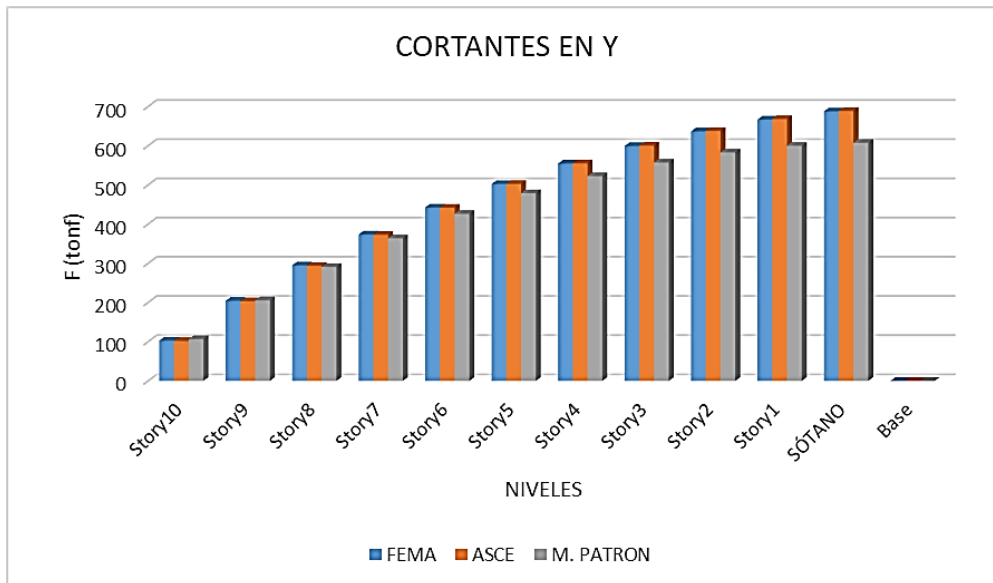


Figura N°48: Fuerzas cortantes en “y” con ISE

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el modelo más efectivo fue el ASCE, ya que muestra la fuerza cortante máxima en “x” que es 706.78 tonf y el cortante máximo en “y” que es 688.8629 tonf.

## V. DISCUSIÓN



## V.DISCUSIÓN

### 5.1. Influencia de la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico del edificio de 10 pisos con sótano en el distrito de Los Olivos, Lima – 2020.

RESULTADO: Al aplicar la interacción suelo – estructura, influyó positivamente en el comportamiento sísmico del edificio.

**Antecedente**, Jines (2017) en su investigación realizó el estudio de ISE a un edificio de 6 pisos en la ciudad de Moquegua -Tacna, por medio de los modelos de D.D. Barkan – O.A. Savinov, Winkler – Coeficiente de Balasto, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian y norma rusa Snip 2.02.05-87, la cual en todos los modelos mencionados se observó que aumentaron por medio del software Etabs v.18. En cuanto a la presente investigación resultó similar, ya que al aplicar la ISE se observó que en los resultados por medio de los modelos Fema y Asce aumentaron, la cual se deduce que la interacción suelo - estructura influye en el comportamiento de la estructura.

**Hipótesis:** La integración de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos influyó de manera positiva en dar respuestas aproximadas a la realidad, Lima – 2020.

Con la ISE, se ve la influencia que tiene en el comportamiento sísmico del edificio de 10 pisos con sótano en el distrito de Los Olivos - 2020. Por medio de los modelos Fema y Asce, la cual está relacionada con el cálculo de las rigideces traslacional y rotacional de cada modelo, de esta manera se afirma la influencia que tuvo la ISE en los en el comportamiento sísmico en cuanto al desplazamiento, periodo de vibración y fuerzas cortantes, ya que estos aumentaron con la aplicación de la ISE.

**Pregunta:** ¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de la estructura de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima - 2020?

En base a los resultados del tesista, con la aplicación de la ISE, se observa que mediante los modelos mencionados aumentaron y el modelo que tiene máximos resultados fue el Sargsian con un desplazamiento máximo de 0.001292m en

dirección al eje “x” y 0.001107m en el eje “y”; para las derivas el modelo que mostro máximos resultados en el eje “x” fue Ilichev con un aumento de 0.000108m y 0.0001m en “y” por el modelo Sargsian; en los periodos de vibración el modelo con el máximo periodo fue Sargsian con 1.009s y en las fuerzas cortantes el modelo con el máximo resultado fue Barkan con 4.6595tonf en “x” y 4.5468tonf en “y”. Así mismo, en cuanto a la presente investigación se observa que la ISE influye en las respuestas del comportamiento sísmico de la estructura, la cual en cada modelo vemos que los resultados según el software Etabs v.18 aumentan, por lo que en los desplazamientos el modelo Fema muestra mayor respuesta con 0.179m en “x” y en “y” aumentó en 0.352m; en los periodos de vibración el modelo con mayor resultado fue el Fema con 2.726 s; para las fuerzas cortantes el modelo fue el Asce con 696.021ton en “x” y en “y” con 687.699ton; y en las derivas el modelo con mayor resultados fue el Fema con 0.005467 en “x” y 0.009 en “y”.

**Consideraciones:** Al realizar el análisis de la estructura con la aplicación de la ISE, se pudo observar que, si coincide con la hipótesis, ya que se realizó la investigación por medio de la Norma Técnica Peruana (E-020, E-030 y E.060) y guías FEMA y ASCE. Así mismo, en cuanto al tesista también realizó por la NTP y por las normas de de D.D. Barkan – O.A. Savinov, Winkler – Coeficiente de Balasto, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian y norma rusa Snip 2.02.05-87. Además, con los resultados mostrados por el software están en función de los de los coeficientes de rigidez y estos están en función de las características del suelo y la dimensión de las zapatas.

## **5.2. Influencia de la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura del edificio de 10 pisos con sótano.**

RESULTADO: Al aplicar la interacción suelo – estructura por los modelos FEMA y ASCE, los desplazamientos en ambos modelos aumentaron.

**Antecedente,** Garay (2017) en su investigación realizó la ISE en un edificio de 7 pisos en Cajamarca, por medio de los modelos Barkan, Ilichev, Sargsian y Norma Rusa aplicados en el software SAP2000 v.18, la cual el modelo con mayor resultado en los desplazamientos máximos fue Ilichev, pero el modelo efectivo para su investigación fue Barkan ya que cumple el límite de las derivas según la norma E-030, así mismo fue el que resultó ser más flexible con relación al modelo patrón,

pues posee una menor rigidez en comparación con los otros métodos lo cual hace que la estructura ceda. En cuanto a la presente investigación analizado a un edificio de 10 pisos, los resultados fueron similares, ya que los desplazamientos también aumentaron, teniendo como el modelo de máximo desplazamiento el FEMA y el efectivo cumpliendo con la norma fue el ASCE.

**Hipótesis:** La interacción suelo – estructura influyó en el aumento del desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

Con la ISE, los desplazamientos aumentan en el edificio de 10 pisos con sótano en el distrito de Los Olivos, 2020. Por medio de los modelos Fema y Asce, la cual se aplican resortes en las zapatas, se afirma la influencia que tuvo la ISE en los desplazamientos, considerando las normas influyentes como E-030, E-020, normas Fema y Asce,

**Pregunta:** ¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

Al aplicar la ISE, en base a los resultados del tesista, la ISE influyó en el desplazamiento, puesto que en los resultados que obtuvo por los diversos modelos que el investigador realizó, el modelo más efectivo fue el Barkan, ya que dicho modelo cumple con la norma peruana E-030 en cuanto a los límites de distorsión del entrepisos, con un desplazamiento máximo en “x” 0.0112m y en “y” fue 0.0123m teniendo en cuenta que el modelo patrón (base fija) en “x” fue 0.0098m y en “y” fue 0.0109m, con ello se vio que el desplazamiento aumentó. En cuanto a la presente investigación los resultados obtenidos por los dos modelos mencionados, el que mostró mejora y el más efectivo fue el modelo ASCE, ya que cumple con el reglamento nacional de edificaciones de acuerdo a la E-030 en el artículo 5.2 correspondiente a los límites de derivas, influyendo en los desplazamientos máximos, la cual en “x” aumentó en 0. 0.148m y en “y” aumentó en 0.203m, teniendo en cuenta que en el modelo patrón el desplazamiento máximo fue 0.045m en “x”, y en “y” fue de 0.051m, observando que hay aumento en los desplazamientos.

Tabla N°37: Desplazamientos dirección x

X máx. N° Pisos	MODELOS DE ESTUDIO				
	Empotrado	Barkan	Ilichev	Sargsian	NRusa
7	0.0098	0.0112	0.0126	0.0122	0.0115
6	0.0084	0.0099	0.0110	0.0107	0.0100
5	0.0069	0.0084	0.0093	0.0090	0.0084
4	0.0053	0.0069	0.0076	0.0073	0.0069
3	0.0038	0.0053	0.0058	0.0056	0.0053
2	0.0024	0.0037	0.0040	0.0039	0.0037
1	0.0011	0.0021	0.0023	0.0023	0.0021

Fuente: Garay (2017)

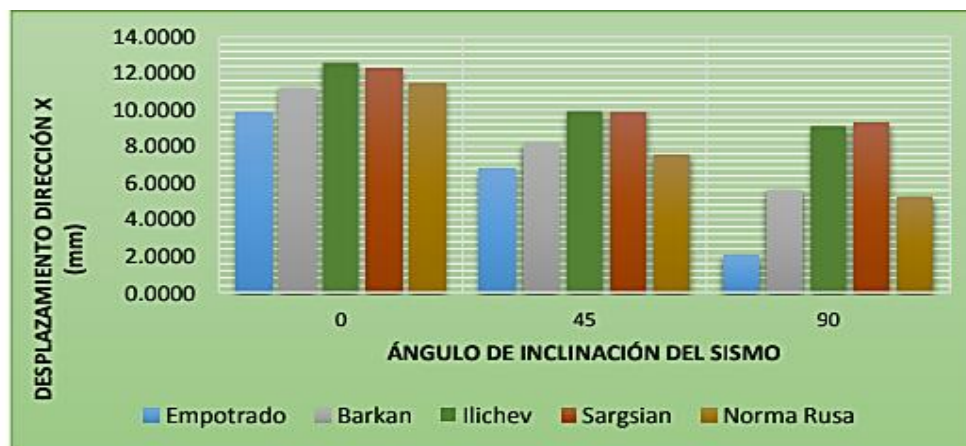


Figura N°49: Desplazamientos dirección x

Fuente: Garay (2017)

Tabla N°38: Desplazamientos dirección y

Y máx. N° Pisos	MODELOS DE ESTUDIO				
	Empotrado	Barkan	Ilichev	Sargsian	NRusa
7	0.0109	0.0123	0.0137	0.0133	0.0126
6	0.0092	0.0112	0.0123	0.0116	0.0108
5	0.0075	0.0098	0.0103	0.0010	0.0096
4	0.0064	0.0076	0.0083	0.0080	0.0076
3	0.0048	0.0057	0.0061	0.0059	0.0056
2	0.0031	0.0040	0.0043	0.0041	0.0039
1	0.0020	0.0032	0.0033	0.0033	0.0031

Fuente: Garay (2017)

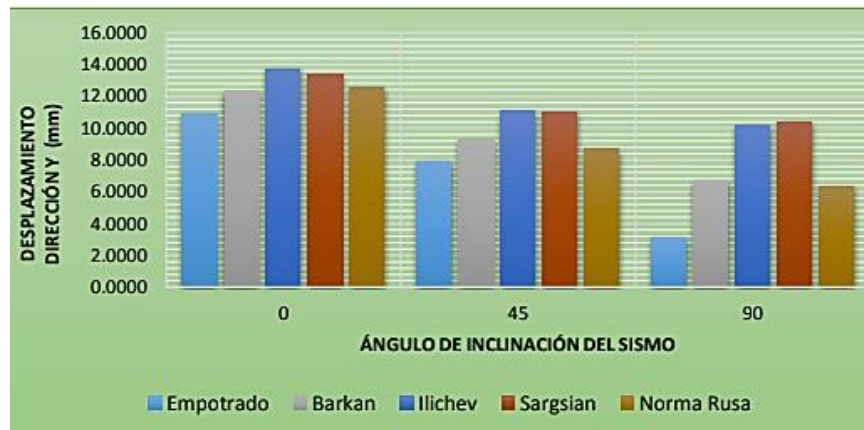


Figura N°50: Desplazamientos dirección y

Fuente: Garay (2017)

**Consideraciones:** Al realizar el análisis de la estructura con la aplicación de la interacción suelo – estructura, se pudo observar que, si coincide con la hipótesis, ya que se realizó la investigación por medio de la Norma Técnica Peruana (E-020, E-030 y E.060) y guías FEMA y ASCE. Así mismo, en cuanto al tesista también realizó por la NTP y por las normas de Barkan, Ilichev, Sargsian y Norma Rusa.

### 5.3. Influencia de la interacción suelo – estructura en el periodo de vibración de la estructura del edificio de 10 pisos con sótano.

**RESULTADO:** Al aplicar la interacción suelo – estructura por los modelos FEMA y ASCE, los periodos de vibración en ambos modelos aumentaron.

**Antecedente,** Sucasaca y Mamani (2017) realizó una investigación a un edificio de 15 pisos con sótano en Puno, teniendo en cuenta la ISE por medio de los modelos Norma Rusa, Winkler, Barkan y Fema en el software Etabs, lo cual el modelo con mayor resultado para los periodos de vibración fue el Fema pero el más efectivo cumpliendo con la norma E-030 fue Norma Rusa, ya que se pudo observar que hubo un significativo aumento en los periodos, pues este estudio o análisis considera la flexibilidad en la base de la cimentación debido a que toma un modelo de acoplamiento uniforme entre el suelo-cimiento-estructura. En cuanto a la presente investigación analizado a un edificio de 10 pisos, los resultados fueron similares, ya que los periodos de vibración también aumentaron, teniendo como modelo representativo también el FEMA.

**Hipótesis:** La interacción suelo – estructura influyó en el aumento de los periodos de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

Con la ISE, los periodos de vibración aumentaron en el edificio de 10 pisos con sótano en el distrito de Los Olivos, 2020 por medio de los modelos Fema y Asce, la cual se aplicaron resortes en las zapatas. Así mismo, se afirma la influencia que tuvo la ISE en los periodos de vibración, ya que estos aumentaron, y que fueron analizados por los dos modelos de ISE.

**Pregunta:** ¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en los periodos de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

Al aplicar la ISE, en base a los resultados del tesista, la ISE influyó en los periodos de vibración, puesto que en los resultados que obtuvo por los diversos modelos que el investigador realizó, el modelo con mayor resultado fue el Fema, lo cual se observa que en su análisis en el modelo patrón fue de 0.882 s, y que los periodos de vibración van aumento de valores de 0.882 s, 0.889 s, 0.893 s y 0.917 s en los modelos de apoyo flexible: Norma Rusa, Winkler, Barkan y Fema; respectivamente, la cual se ve representando en la siguiente figura N°58. Con ello, en cuanto a la presente investigación los periodos máximos de vibración resultaron similares en la interpretación del tesista, ya que para el modelo patrón fue de 0,985 s, la cual aplicando interacción suelo – estructura se observó que los periodos de vibración máximos van en aumento en 2.726 s para el Fema y 2.043 s para el Asce, la cual esta mostrada en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N°39: Resumen de *periodos de vibración – Sucasaca y Mamani.*

<b>Máximos periodos de vibrar</b>	
Norma Rusa	0.882 s
Winkler	0.889 s
Barkan	0.893 s
Fema	0.917 s

Fuente: Elaboración propia

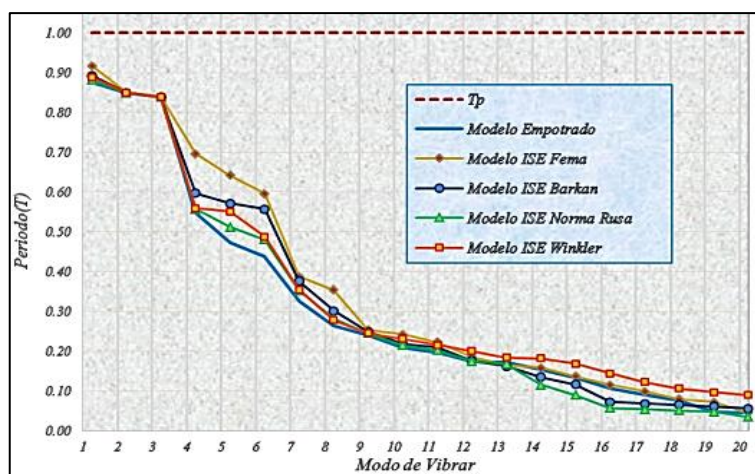


Figura N°51: Periodos y modos de vibrar.

Fuente: Sucasaca y Mamani (2017)

**Consideraciones:** Al realizar el análisis de la estructura con la aplicación de la interacción suelo – estructura, se pudo observar que, coincide con la hipótesis, ya que se realizó por medio de la Norma Técnica Peruana (E-020, E-030 y E.060) y normas FEMA y ASCE. Así mismo, en cuanto al tesista también realizó por la NTP y por las normas Norma Rusa, Winkler, Barkan y Fema. Además, para el tipo de suelo se obtuvo mediante el expediente técnico del edificio ya existente o en las investigaciones encontradas en los repositorios universitarios del distrito de Los Olivos.

#### 5.4. Influencia de la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de la estructura del edificio de 10 pisos con sótano.

RESULTADO: Al aplicar la interacción suelo – estructura por los modelos FEMA y ASCE, las fuerzas cortantes en ambos modelos aumentaron.

**Antecedente,** Peñafiel (2019) en su investigación realizó la ISE a un edificio de 6 pisos en Ecuador, por medio de los modelos Fema, Asce y Barkan aplicados en el software Etabs, lo cual el modelo representativo con mayor resultado para fuerzas cortantes fue Barkan, ya que se pudo observar que hubo un aumento en las fuerzas cortantes, pues que este estudio o análisis considera la flexibilidad en la base de la cimentación debido a que toma un modelo de acoplamiento uniforme entre el suelo-cimiento-estructura. En cuanto a la presente investigación analizado a un

edificio de 10 pisos, los resultados fueron similares, ya que las fuerzas cortantes también aumentaron, teniendo como modelo el ASCE.

**Hipótesis:** La interacción suelo – estructura influyó en la disminución de las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.

Con la ISE, las fuerzas cortantes aumentaron en el edificio de 10 pisos con sótano en el distrito de Los Olivos, 2020 por medio de los modelos Fema y Asce, Así mismo, se afirma la influencia que tuvo la ISE en las fuerzas cortantes, ya que estos aumentaron, y que fueron analizados por los dos modelos mencionados.

**Pregunta:** ¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima - 2020?

Al aplicar la ISE, en base a los resultados del tesista, la ISE influyó en las fuerzas cortantes, puesto que en los resultados que obtuvo por los diversos modelos que el investigador realizó, el modelo con mayor resultado fue el Barkan, lo cual se observa que en su análisis en el modelo patrón en “x” y “y” fue 143.253 ton, y que las fuerzas cortantes van en aumento de valores de 119.723ton, 145.381ton, 156.83ton en los modelos de apoyo flexible: Asce, Feman y Barkan respectivamente. Con ello, en cuanto a la presente investigación las fuerzas cortantes máximas resultaron similares en la interpretación del tesista, teniendo en cuenta que para el modelo patrón en “x” fue de 706.78 ton y en “y” fue 688.8629 ton, la cual aplicando interacción suelo – estructura se observó que las fuerzas cortantes van en aumento en cuanto a la Fema en “x” fue 696.021ton y en “y” fue 687.699ton; y en cuanto al modelo Asce aumentó el cortante máximo en el eje “x” 706.783ton y en el eje “y”, 688.863ton. con ello se puede decir que el modelo representativo fue el Asce.

Tabla N°40: Cortantes máximos – base fija.

BASE FIJA					
Piso	Elevación	X-Dir	Y-Dir BASE FIJA	X-Dir Min	Y-Dir Min
Piso 6	18	34.6149	34.6149	-34.6149	-34.6149
Piso 5	15	70.2733	70.2733	-70.2733	-70.2733
Piso 4	12	99.4085	99.4085	-99.4085	-99.4085
Piso 3	9	122.0921	122.0921	-122.0921	-122.0921
Piso 2	6	136.9847	136.9847	-136.9847	-136.9847
Piso 1	3	143.2525	143.2525	-143.2525	-143.2525
Base	0	0	0	0	0

Fuente: Peñafiel (2019)



Tabla N°41: Cortantes máximos – Barkan.

BARKAN					
Piso	Elevación	X-Dir	Y-Dir BARKAN	X-Dir Min	Y-Dir Min
Piso 6	18	32.4383	32.4383	-32.4383	-32.4383
Piso 5	15	69.0992	69.0992	-69.0992	-69.0992
Piso 4	12	99.8969	99.8969	-99.8969	-99.8969
Piso 3	9	125.468	125.468	-125.468	-125.468
Piso 2	6	144.803	144.803	-144.803	-144.803
Piso 1	3	156.83	156.83	-156.83	-156.83
Cimentación	-1.5	0	0	0	0

Fuente: Peñafiel (2019)

Tabla N°42: Cortantes máximos – ASCE

ASCE					
Piso	Elevación	X-Dir	Y-Dir ASCE	X-Dir Min	Y-Dir Min
Piso 6	18	31.064	31.064	-31.064	-31.064
Piso 5	15	65.9478	65.9478	-65.9478	-65.9478
Piso 4	12	95.2123	95.2123	-95.2123	-95.2123
Piso 3	9	119.7228	119.7228	-119.7228	-119.7228
Piso 2	6	138.8236	138.8236	-138.8236	-138.8236
Piso 1	3	151.6784	151.6784	-151.6784	-151.6784
Cimentación	-1.5	0	0	0	0

Fuente: Peñafiel (2019)

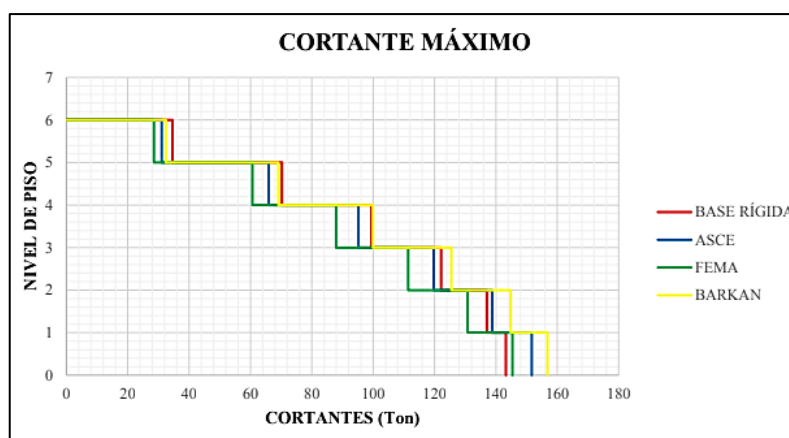


Figura N°52: Comparación entre cortantes máximos.

Fuente: Peñafiel (2019)

**Consideraciones:** Al realizar el análisis de la estructura con la aplicación de la interacción suelo – estructura, se pudo observar que, no coincide con la hipótesis. Así mismo, para la obtención de los resultados de cada modelo con la ISE se realizó por medio de la Norma Técnica Peruana (E-020, E-030 y E.060) y guías FEMA y ASCE; y el tesista realizó por medio de la Norma Ecuatoriana de la construcción y las normas Fema, Asce y Barkan.

## **VI. CONCLUSIONES**

## VI. CONCLUSIONES

Se evaluó que, con la aplicación de la interacción suelo – estructura, mejoró la estabilización de la estructura del edificio de 10 pisos, ya que los principales componentes de la ISE fueron el cálculo de las rigidez traslacional y rotacional ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ ), la cual resultó que si hubo influencia de la ISE en el comportamiento de la estructura del edificio de 10 niveles en el distrito de Los Olivos. Así mismo, se concluye que de los modelos de ISE, el modelo efectivo para el edificio analizado en la presente investigación fue el ASCE.

Se estableció los coeficientes de rigidez para obtener el comportamiento de la estructura en el cálculo de los desplazamientos, puesto que al asignar los coeficientes de rigidez de acuerdo al modelo FEMA, la cual en el eje X aumentó en 0.179 m y en Y en 0.352 m; mientras que según el modelo ASCE aumentaron en el eje X 0.148m y en Y, 0.203m. con ello se observó que el modelo que más influye y el más efectivo con la fue el ASCE, ya que cumple con la norma E-030 sismorresistente en el Art. 5.2, en cuanto a las distorsiones de entrepiso. Así mismo, se puede decir que dichos estudios obtenidos, con el aumento de los desplazamientos observados, la aplicación de la ISE muestra la flexibilidad que tiene la estructura cuando hay algún movimiento sísmico.

Se estableció que, por medio de los coeficientes de rigidez obtenidos con los modelos de ISE (Fema y Asce) asignados en el software Etabs 18, se observó que los periodos de vibración también aumentaron, la cual para el modelo Fema el periodo de vibración máxima de la estructura aumentó en 2.726s, y con el modelo Asce aumentó en 2.043 s. Por lo que, se puede deducir la flexibilidad que muestra la estructura considerando los resortes en las zapatas por medio de la aplicación interacción suelo – estructura.

Para las fuerzas cortantes, se concluye que al aplicar interacción suelo – estructura se observó que van en aumento, la cual el modelo con mayor resultado fue el Asce con un máximo cortante en el eje “x” de 706.783 ton y en el eje “y” de 688.863 ton.

## **VII. RECOMENDACIONES**

## **VII.RECOMENDACIONES**

En la presente investigación, al realizar la interacción suelo estructura en el modelos FEMA y ASCE, se obtuvo que los desplazamientos aumentaron en cada uno de los modelos de ISE, la cual el máximo desplazamiento fue observada por el modelo Fema siendo el modelo Asce el más efectivo para el edificio, por lo que para estos estudios se recomienda la realización de hojas de cálculo que faciliten la esquematización, diseño e ingreso de los valores a utilizar para la Interacción Suelo-Estructura y la creación o adaptación de un software específico para este tipo de análisis, la cual en la presente investigación fue con el software Etabs 2018.

En la presente investigación, al realizar la ISE de acuerdo a las guías FEMA y ASCE, se obtuvo que los periodos de vibración y las fuerzas cortantes también aumentaron, la cual el máximo periodo de vibración se observó por el modelo FEMA y para las fuerzas cortantes fue el ASCE, la cual se recomienda que cuando se calculen las rigideces para los resortes de cada modelo, deben ser calculadas con precaución para comprobar cada valor, pues un error en unidades o conversiones puede ser garrafal. Así mismo, utilizar herramientas para la facilitación de los cálculos, pero para la corroboración de estos resultados, recomiendo que sean hechos a mano.

Se recomienda que la aplicación de la Interacción Suelo – Estructura se incluya en la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente, ya que proporciona mejora y también el análisis la flexibilidad del suelo, puesto que como se presencié en la presente tesis, sirve para analizar si el proyecto necesita reestructurarse.

## REFERENCIAS

1. JINES, R. *Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones de Sistema Dual en la ciudad de Moquegua*. Universidad Privada de Tacna, 2017. 134 pp.
2. SUCASACA, Hermenegildo y MAMANÍ, John. *Evaluación de los efectos de interacción suelo – estructura en el Estadio Universitario UNA – PUNO*. Universidad del Altiplano Puno, 2017. 174 pp.
3. GARAY, R. *Influencia de la Interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 7 niveles del proyecto “Multifamiliar Los Balcones del Valle” barrio Columbo – Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. 176 pp.
4. MEJÍA, N. *Análisis de interacción suelo estructura en conjunto con un análisis Push Over en una edificación de 10 pisos en pórticos de concreto, en zonas lacustres de la microzonificación sísmica de Bogotá*. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada, 2018. 381 pp.
5. SANTANA, A. *Análisis de los efectos de interacción suelo – estructura en la respuesta sísmica de estructuras enterradas*. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2015. 211 pp.
6. PEÑAFIEL, L. *Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo – Estructura*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019. 161 pp.
7. BUITRAGO, L. *Soil-Structure Interaction Effects on the Seismic Response of Low-Rise Eccentrically Braced Frames*. EE. UU: University of Arkansas. 2017. 106 pp.
8. YANG, L. *Seismic Soil - Structure Interaction In Performance - Based Design*. China: University of Nottingham, 2016. 224 pp.
9. TOMEIO, R. *Soil-structure interaction effects on the seismic behaviour of reinforced concrete structures*. Italia: Universidad de Naples Federico II, 2017. 216 pp.
10. RIBERA, A. *Obras y Proyectos. Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile [en línea]*. Universidad Católica de Chile [fecha de consulta 10 mayo 2020], 2019, n°25. ISSN: 0718-2813. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-28132019000100066](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132019000100066)

11. AGUIAR, Roberto y ORTIZ, Dennis. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando Interacción suelo – estructura*. Ecuador: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, 2017, Vol. 22, pp. 251-279.
12. VILLARRAGA, Manuel et al. *Estudio paramétrico de los efectos de la Interacción sísmica suelo – estructura [en línea]*. Universidad de Colombia [fecha de consulta 9 mayo 2020]. Disponible en:  
[https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/interacci%C3%B3n\\_suelo/02\\_manuel\\_roberto.pdf](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/interacci%C3%B3n_suelo/02_manuel_roberto.pdf)
13. PEÑAFIEL, L. *Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo – Estructura*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019, 161 pp. Pág. 19.
14. LÓPEZ, G. *Analysis of seismic actions and proposals for their design*. España: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013. 242 pp. Pág. 54.
15. TOMEO, R. *Soil-structure interaction effects on the seismic behaviour of reinforced concrete structures*. Italia: Universidad de Naples Federico II, 2017. 216 pp. Pág. 23.
16. ANGAMARCA, S. *Studies of the effects of soil-structure interaction on surface foundations of buildings*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2008. 71 pp. Pág. 22.
17. VILLARRAGA, Manuel et al. *Estudio paramétrico de los efectos de la Interacción sísmica suelo – estructura [en línea]*. Universidad de Colombia [fecha de consulta 9 mayo 2020]. Pág. 2. Disponible en:  
[https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/interacci%C3%B3n\\_suelo/02\\_manuel\\_roberto.pdf](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/interacci%C3%B3n_suelo/02_manuel_roberto.pdf)
18. PEÑAFIEL, L. *Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo – Estructura*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019, 161 pp. Pág. 28.

19. PEÑAFIEL, L. *Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo – Estructura*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019, 161 pp. Pág. 29.
20. PEÑAFIEL, L. *Análisis Sísmico Comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la Interacción Suelo – Estructura*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019. 161 pp. Pág. 31.
21. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Perú. 2019, 1735 pp. Pág. 825. Disponible en: <https://www.inagep.com/contenidos/reglamento-nacional-de-edificaciones-actualizado-al-2019>
22. SHARMA, Mohit y MARU, Savita. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. *Dynamic Analysis of Multistoried Regular Building [en línea]*. India [fecha de consulta 1 julio 2020]. 2014, Pág. 1. ISSN: 2278-1684. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7623/19688c296d7d517161d607a4b782ba37d62a.pdf>
23. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Perú. 2019, 1735 pp. Pág. 828. Disponible en: <https://www.inagep.com/contenidos/reglamento-nacional-de-edificaciones-actualizado-al-2019>
24. BHUSHAN, Shanti y ALOK, Shashi. *Handbook of Research Methodology [en línea]*. India [fecha de consulta 25 junio 2020], 2019, 28 pp. ISBN: 978-1-5457-0340-3. Pág. 3.
25. BAIMYRZAEVA, M. *Beginners' Guide for Applied Research Process: ¿What Is It, and Why and How to Do It? [en línea]*. University of Central Asia [fecha de consulta 30 junio 2020]. 2018, 46 pp. Pág. 6. Disponible en: <https://www.ucentralasia.org/Content/Downloads/UCA-IPPA-OP4-Beginners%20Guide%20for%20Applied%20Research%20Process-Eng.pdf>
26. KOTHARI, C. R. *Research Methodology: Methods and Techniques*. 2nd ed. India: University of Rajasthan, 2004, 418 pp. ISBN: 978-81-224-2488-1. Pág. 37.
27. LOEB, Susanna et al. *Descriptive Analysis in Education: A guide for researchers*. Washington: Institute of Education Sciences (IES). 2017, 53 pp. Pág. 2.



28. KOTHARI, C. R. *Research Methodology: Methods and Techniques*. 2nd ed. India: University of Rajasthan, 2004, 418 pp. ISBN: 978-81-224-2488-1. Pág. 36.
29. BORJA, M. *Scientific Research Methodology for engineers*. Chiclayo, 2016, 38 pp. Pág. 29.
30. WALLIMAN, N. *Research Methods: The basics*. New York: Oxford Brookes University, 2011, 205 pp. ISBN: 0-203-83607-3. Pág. 106.
31. BORJA, M. *Scientific Research Methodology for engineers*. Chiclayo, 2016, 38 pp. Pág. 11.
32. NUÑEZ, M. *Investigación Educativa. Las Variables: Estructura y Función en la Hipótesis [en línea]*. Universidad Nacional de San Marcos [fecha de consulta 24 junio 2020], 2007, vol. 11, n°20, pág. 173. ISSN: 17285852. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/inv\\_educativa/2007\\_n20/a12v11n20.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/inv_educativa/2007_n20/a12v11n20.pdf)
33. JINES, R. *Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones de Sistema Dual en la ciudad de Moquegua*. Universidad Privada de Tacna, 2017, 134 pp. Pág. 29.
34. ECHE, L. y PÉREZ, G. *Análisis del comportamiento sísmico de un edificio con muros estructurales aplicando la interacción suelo – estructura (Condominio Los Girasoles – Comas – Lima)*. Lima: Universidad San Martín de Porres, 2018, 116 pp. Pág. 24.
35. PITA, S. y PÉRTEGA, S. *Fisterra. Descriptive statistics of the data [en línea]*. España: Universidad de Alicante [fecha de consulta 24 junio 2020], párr. 5. Disponible en: <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/10descriptiva/10descriptiva.asp>
36. PITA, S. y PÉRTEGA, S. *Fisterra. Descriptive statistics of the data [en línea]*. España: Universidad de Alicante [fecha de consulta 24 junio 2020], párr. 6. Disponible en: <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/10descriptiva/10descriptiva.asp>
37. DÍAZ, L. *Observation [en línea]*. Autonomous University of Mexico [fecha de consulta 2 julio 2020], 2011, 29 pp. Pág. 9.
38. UK Essays. *The Concept Of Ethics In Society Philosophy Essay [en línea]*. [fecha de consulta 2 julio 2020]. 2018. Disponible en:

<https://www.ukessays.com/essays/philosophy/the-concept-of-ethics-in-society-philosophy-essay.php#citethis>

39. NIST GCR 12-917-21. *Soil-Structure Interaction for Building Structures*. EE. UU: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012, 292 pp. Disponible en: <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr12-917-21.pdf>
40. ASCE/SEI 7-16. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and their Structures*. EE. UU: American Society of Civil Engineers, 2016, 889 pp.
41. FEMA 440. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Washintong: Federal Emergency Management Agency, 2005, 392 pp. Disponible en: <https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1445-20490-9603/fema-440.pdf>
42. FEMA 356. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washintong: Federal Emergency Management Agency, 2000, 519 pp. Disponible en: [https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-20490-5925/fema\\_356.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-20490-5925/fema_356.pdf)

## **ANEXOS**

Anexo N°01:

### DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR

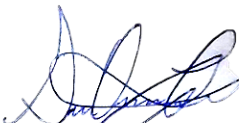
Yo, **Olivo Cardenas Susana Luz**, egresado de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo (Sede Lima Norte), declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado:

**“Influencia de la Interacción Suelo – Estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, lima – 2020”**, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que el Trabajo de Investigación / Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 30 de noviembre del 2020.

Apellidos y Nombres del Autor	
Olivo Cardenas, Susana Luz	
DNI: 72615896	Firma: 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-3659-3912">0000-0003-3659-3912</a>	

Anexo N°02: Matriz Operacional

VARIABLE	DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	DELIMITACIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
Interacción Suelo – Estructura  (Variable Independiente)	Es la variación de las propiedades del suelo frente a un movimiento sísmico, provocado por la estructura. Lo cual dicha interacción toma en cuenta flexibilidad o propiedades del suelo, puesto que no es rígido infinitamente <sup>33</sup> .	La interacción SE es analizada por dos modelos que tienen su propio modo de calcular los distintos coeficientes de deformación de la estructura, que delimitan las propiedades elásticas del suelo.	Modelo FEMA	Coeficientes de rigidez en la cimentación (Kx, Ky, Kz, Kxx, Kyy, Kzz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas técnicas apoyadas en el software ETABS 2018</li> <li>• Fichas técnicas apoyadas en el Office Excel</li> <li>• Normatividades influyentes</li> <li>• Planos arquitectónicos y estructurales</li> <li>• Cuadro de recolección de datos</li> </ul>	Razón
			Modelo ASCE			
Comportamiento sísmico  (Variable Dependiente)	Es el análisis que se hace a la estructura de una edificación frente a ondas vibratorias como un sismo para determinar su comportamiento, y para su disminución, así mismo su rigidez puede ser un factor para minimizar las deformaciones sísmicas <sup>34</sup> .	El comportamiento sísmico será estudiado de acuerdo al análisis dinámico de la estructura, lo cual se llega a observar las deformaciones sísmicas como desplazamiento, rigidez y vibración.	Análisis dinámico	Desplazamientos		Razón
				Periodo de vibración		
				Fuerzas cortantes		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°03: Matriz de consistencia

<b>Título:</b>	Influencia de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima - 2020.					
<b>Autor:</b>	SUSANA LUZ, OLIVO CARDENAS					
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBEJTIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E INSTRUMENTO</b>		<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>V. INPENDIENTE: INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA</b>			<p><b>Tipo:</b> (Aplicada)  <b>Nivel:</b> (Descriptiva)  <b>Diseño:</b> (Cuasi-Experimental)  <b>Enfoque:</b> (Cuantitativo)  <b>Población:</b> Todos los edificios regulares de Lima.  <b>Muestra:</b> un edificio regular de 10 pisos con zapatas aisladas en el distrito de Los Olivos.  <b>Muestreo:</b> No probabilístico</p>
			<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	
¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos, Lima 2020.	La integración de la interacción suelo - estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos influye de manera positiva en dar respuestas aproximadas a la realidad, Lima – 2020.	Modelo FEMA	Coeficientes de rigidez en la cimentación (Kx, Ky, Kz, Kxx, Kyy, Kzz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas técnicas apoyadas en el software ETABS 2018</li> <li>• Fichas técnicas apoyadas en el Office Excel</li> <li>• Normatividades influyentes</li> </ul>	
			Modelo ASCE			
<b>PROBLEMA ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVO ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>	<b>V. DEPENDIENTE: COMPORTAMIENTO SÍSMICO</b>			
			<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	
¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en el desplazamiento de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020	La interacción suelo – estructura influye en el aumento de los desplazamientos de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.	Análisis dinámico	Desplazamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas técnicas apoyadas en el software ETABS 2018</li> <li>• Normatividades influyentes</li> <li>• Planos arquitectónicos y estructurales</li> </ul>	
¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en el periodo de vibración de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en el periodo de vibración en la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020.	La interacción suelo – estructura influye en el aumento de los periodos de vibración en la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.		Periodo de vibración		
¿Cuánto influye la interacción suelo – estructura en los esfuerzos de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020?	Determinar la influencia de la interacción suelo – estructura en los esfuerzos de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima 2020.	La interacción suelo – estructura influye en la disminución de las fuerzas cortantes de la estructura de un edificio de 10 pisos, Lima – 2020.		Fuerzas cortantes		

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°04: Estudio de suelo de Los Olivos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES**

**PRODUCTO 3000562. MUNICIPIOS PROMUEVEN LA ADECUADA OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO FRENTE AL RIESGO DE DESASTRES**

**ACTIVIDAD 5001593. FORMULACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO A NIVEL URBANO**

**FINALIDAD 0053449. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA LA INCORPORACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS**

**INFORME MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE LOS OLIVOS**

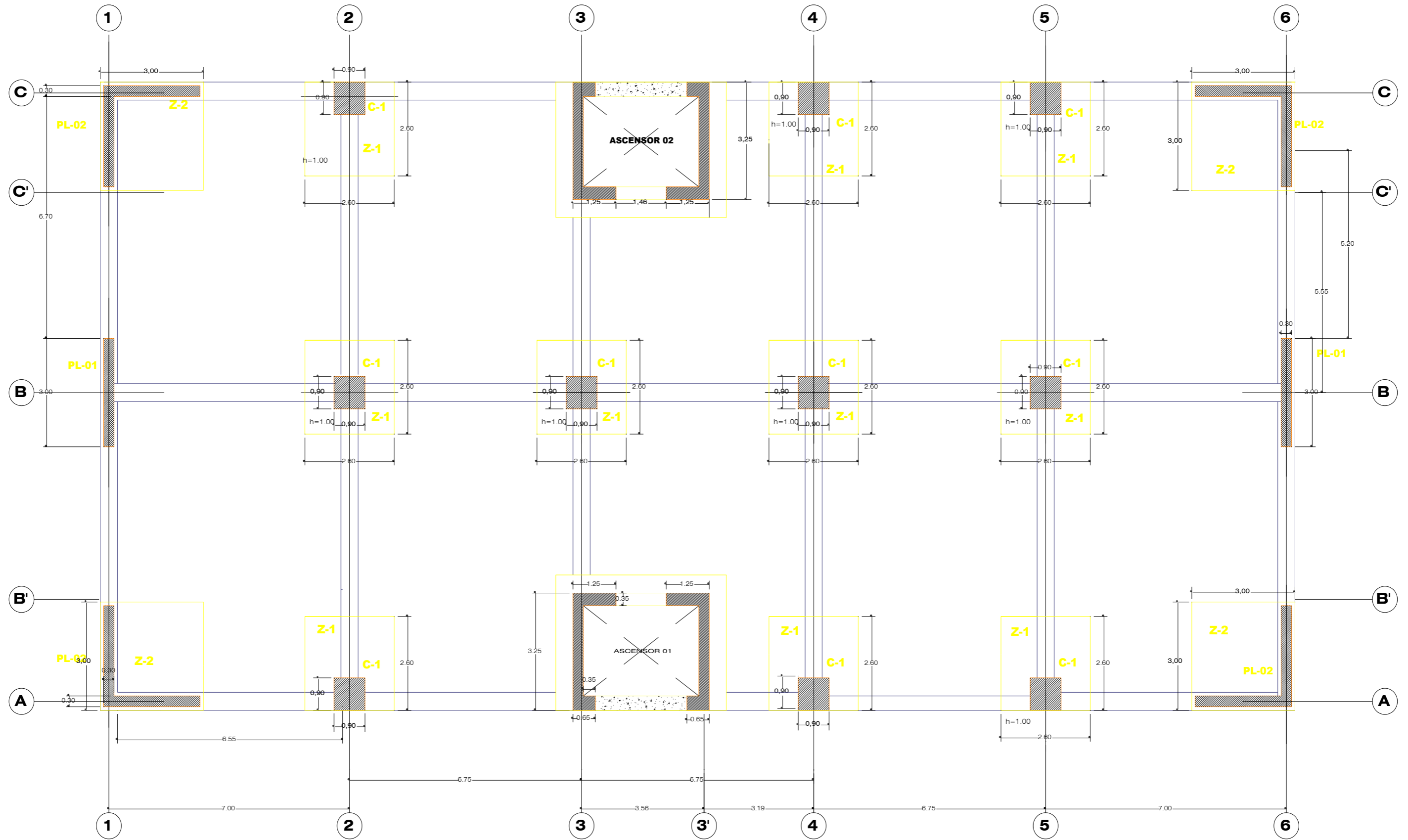


**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA  
DISTRITO DE LOS OLIVOS**

Fuente:

<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/INFORME%20LOS%20OLIVOS.pdf>

Anexo N°05: Plano de cimentación







# Anexo N°07: Porcentaje de Turnitin

The screenshot shows the Turnitin Feedback Studio interface. The document being reviewed is titled "Influencia de la Interacción Suelo – Estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima – 2020". The document is from the Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. The author is Susana Luz Olivo Cardenas. The advisor is Carlos Danilo Minaya Rosario. The research line is "Diseño Sísmico y Estructural".

The similarity score is 12%. The sources are as follows:

Rank	Source	Percentage
1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	www.repositorioacade... Fuente de Internet	1 %
4	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	scielo.conicyt.cl	1 %

At the bottom of the interface, it shows "Página: 1 de 93", "Número de palabras: 18422", and "Text-only Report | High Resolution Activado".

Fuente: propia