



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL

**Análisis sísmico de un edificio de siete pisos con sótano utilizando
interacción suelo-estructura en el distrito de
San Juan de Lurigancho, Lima, 2017**

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

AUTOR

Luis Jesus Angulo Luna

ASESOR

Mg. Raúl Heredia Benavides

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA, PERÚ

2017

PAGINA DEL JURADO



Mg. Arriola Prieto Cesar Teodoro
Presidente



Mg. Díaz Huisa Luis Humberto
Secretario



Mg. Heredia Benavides Raúl
Vocal

DEDICATORIA

A mis Padres y Familia que día a día me alentaron y apoyaron en este nuevo proyecto de vida.

AGRADECIMIENTO

A los Profesores de carrera de la Universidad Cesar Vallejo por los conocimientos transmitidos, y en especial al asesor de tesis Mg. Raúl Heredia Benavides, que me guio en la culminación de este proyecto educativo.


DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Luis Jesus Angulo Luna con DNI N° 09653253 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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 de la Universidad César Vallejo.

Lima, Julio del 2017



Luis Jesus Angulo Luna

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

En cumpliendo del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la Tesis titulada: **“Análisis sísmico de un edificio de siete pisos con sótano utilizando interacción suelo-estructura en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, 2017”**, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Luis Jesus Angulo Luna

ÍNDICE

Página del jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación	vi
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Trabajos previos	1
1.3 Teorías relacionadas con el tema	
Interacción suelo estructura.....	4
Modelo dinámico D.D. Barkan-O.A.Sanivov	5
Modelo dinámico de Winkler–Coeficiente de balasto	7
Análisis estructural de edificios.....	8
Modelamiento estructural con etabs.....	8
Norma técnica E.030 diseño sismorresistente.....	9
Características geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho.....	10
1.4 Planteamiento del problema	
Problema general	13
Problemas específicos.....	13
1.5 Justificación del estudio	13
1.6 Hipótesis	
Hipótesis general.....	14
Hipótesis específicos	14
1.7 Objetivos	
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
2. MÉTODO	15
2.1 Diseño de investigación.....	15
2.2 Variables	15

2.3	Población y muestra	16
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
2.5	Método de análisis de datos	16
2.6	Aspectos éticos.....	16
3.	RESULTADOS	18
3.1	Ubicación y descripción de arquitectura	
	Ubicación.....	18
	Descripción de arquitectura	18
3.2	Consideraciones para los 3 métodos de estudio	
	Estudio de suelo	20
	Materiales seleccionados	20
	Normatividad	21
	Cargas.....	21
	Combinaciones de carga.....	21
3.3	Análisis sísmico	22
3.4	Análisis dinámico modal espectral.....	24
3.5	Análisis sísmico con Etabs	27
3.6	Método de estudio I – Edificio sin sótano	28
3.7	Método de estudio II – Edificio con sótano	31
3.8	Método de estudio III – Edificio sótano interacción suelo estructura ...	34
3.9	Cuadros comparativos.....	40
4.	DISCUSIÓN	42
5.	CONCLUSIONES	44
6.	RECOMENDACIONES	45
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
8.	ANEXOS	
	Turnitin	49
	Matriz de consistencia de investigación	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación del coeficiente de balasto.....	7
Figura 2.	Comparación entre el análisis actual y la realidad	7
Figura 3.	Zonas sísmicas	9
Figura 4.	Plano de microzonificación geotécnica del distrito de San Juan de Lurigancho.	12
Figura 5.	Arquitectura: elevación principal	18
Figura 6.	Arquitectura distribución: Sótano	19
Figura 7.	Arquitectura distribución: Primer piso.....	19
Figura 8.	Esquema de espectro de pseudoaceleraciones	26
Figura 9.	Modelo I. Edificio sin sótano y con apoyo fijo en suelo	28
Figura 10.	Modelo II. Edificio empotrado en la cimentación del sótano	31
Figura 11.	Modelo III. Edificio empotrado en la cimentación del sótano considerando suelo flexible	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coeficiente de Balasto Co según tipo de suelo	6
Tabla 2.	Factores de zona "Z"	10
Tabla 3.	Operacionalización de variables	17
Tabla 4.	Valores de Espectro	25
Tabla 5.	Fuerzas Internas Método de Estudio I.....	30
Tabla 6.	Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio I.....	30
Tabla 7.	Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio I.....	31
Tabla 8.	Fuerzas Internas Método de Estudio II.....	33
Tabla 9.	Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio II.....	33
Tabla 10.	Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio II.....	34
Tabla 11.	Fuerzas Internas Método de Estudio III.....	38
Tabla 12.	Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio III.....	39
Tabla 13.	Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio III.....	39
Tabla 14.	Esfuerzos internos máximos por piso.....	40
Tabla 15.	Desplazamientos o derivas máximas por piso	41
Tabla 16.	Matriz de consistencia de investigación	50

RESUMEN

En un análisis sísmico de edificaciones convencional se considera una base empotrada en una superficie rígida y no se toma en cuenta las deformaciones del suelo de cimentación como resultado de un evento sísmico. En esta investigación se añadió a un análisis sísmico los principios de la interacción suelo-estructura el cual considera coeficientes de rigidez del suelo en las direcciones horizontal, vertical y giros respecto a los mismos ejes, de tal forma que se pueda obtener un comportamiento de la edificación más cercano a lo que sucede en la realidad. Para esta investigación se utilizó los planos preliminares de arquitectura y estructura de un edificio de siete pisos con sótano construido en el distrito de San Juan de Lurigancho, los cuales me permitieron modelar el edificio utilizando el programa Etabs versión 16. Basado en este modelo, se aplicó tres métodos de estudio, donde se realizó análisis sísmico al mismo edificio pero con casos distintos. Del estudio realizado pude comparar que las fuerzas internas de los elementos estructurales de una edificación son menores cuando se toma en cuenta la interacción existente entre el suelo y la estructura que cuando se considera la base empotrada al suelo.

Palabra clave: Análisis sísmico en San Juan de Lurigancho, interacción suelo-estructura, rigidez del suelo.

ABSTRACT

A seismic analysis of conventional buildings is considered a base embedded in a rigid surface and does not take into account deformations of the foundation soil as a result of a seismic event. In this research, the principles of soil-structure interaction were added to a seismic analysis, which considers soil stiffness coefficients in the horizontal, vertical and twist directions with respect to the same axes, so that a behavior of the soil Building closer to what happens in reality. For this research was used the architecture and structure of a seven-storey building and a basement built in the district of san juan de lurigancho, which allowed me to model the to be building using the etabs program. Based on this model, apply three methods of study, where seismic analysis was performed at the same building but with different cases. From the study I was able to compare that the internal forces of the structural elements of a building are smaller when the interaction between the ground and the structure is taken into account when considering the base embedded in the ground.

Key words: Seismic analysis in san juan de lurigancho, soil-structure interaction, Soil rigidity.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

El Distrito de San Juan de Lurigancho es uno de los distritos más populosos de Lima y por lo tanto no está ajeno al auge del sector construcción, es por eso, que cada vez es más frecuente observar en sus avenidas y calles edificios altos, pero en cuántos de ellos se habrá realizado un análisis sísmico que considere la interacción suelo-estructura, considerando que este distrito se encuentra en la zona 4 de sismicidad nacional por lo tanto sus edificaciones son más propensas a sufrir daños por sismo. En un estudio realizado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres y La Universidad de Ingeniería, en el año 2011, se determinó que en el distrito existen cinco zonas con características de suelo diferentes.

La creciente necesidad de vivienda ha ocasionado que cada vez sea necesario construir edificios más altos, así mismo también se incrementa la necesidad de dotar de estacionamientos a dichos edificios, por lo tanto se prevé la necesidad de diseñar sótanos en la construcción para que solucionen ese inconveniente, pero que tanto afecta la construcción del sótano al análisis sísmico de estas edificaciones, es algo que planteo y deseo investigar aplicando tres métodos de estudio: en el primero se realizara un análisis sísmico considerando al edificio empotrado en la superficie y se obvia la presencia del sótano. En el segundo método se considera la presencia del sótano y en el tercer método se considera al edificio con sótano y se añade al análisis sísmico los principios de la interacción suelo-estructura.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

Ámbito Internacional

U.S. Department of Commerce. National Institute of Standards and Technology. Engineering Laboratory Gaithersburg, MD 20899. September 2012. "Soil-Structure Interaction for Building Structures". Según este estudio. El análisis de la interacción suelo-estructura (SSI) evalúa la respuesta colectiva de tres sistemas vinculados: La estructura; La fundación y El suelo subyacente y circundante. Así como los

problemas asociados con la aplicación práctica de SSI para la construcción. Proporciona una síntesis del cuerpo de la literatura de SSI, armonizada en un conjunto coherente de variables y unidades. Se describen técnicas por el cual los fenómenos SSI pueden ser simulados en la práctica de la ingeniería, y recomendaciones para el modelado de efectos de interacción sísmica suelo-estructura en la construcción de estructuras

PEÑA Fritz, Alvaro. Proyecto de muros de sótano, sometidos a cargas verticales originadas por pilares de fachada. Tesis. (Doctor en Ingeniería). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2004. 23 pp. Según esta tesis, las deformaciones en el cimiento se pueden considerar como la suma de las reacciones producidas en el terreno más las inducidas en los propios elementos estructurales (muros de sótano, zapatas, losas, etc.), pero dado que las que se producen en los elementos de cimentación son en general despreciables frente a las debidas al terreno (que se debe "acomodar" al nuevo estado de tensiones a base de deformarse), puede suponerse que son estas últimas las que, por parte del cimiento, pueden afectar a la estructura, a los cerramientos y acabados de las obras. El estudio de las cimentaciones ha de contemplar pues el comportamiento del conjunto terreno-cimiento, y asegurar que en la situación de cargas de servicio estaremos suficientemente alejados del estado de agotamiento de los elementos estructurales y del terreno.

Ámbito Sudamérica

HERRERA, Leonardo. Evaluación de la interacción dinámica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera. Tesis (Magister en Ingeniería). Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. 2013. Según esta tesis, la interacción dinámica suelo estructura es un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo como resultado de la deformabilidad de este ante excitación sísmica. La interacción modifica los parámetros dinámicos de la estructura así como las características del movimiento del terreno en la vecindad de la cimentación. Estas variaciones pueden producir reducciones en el cortante basal, en las derivas de entrepiso y en los momentos de

volteo calculado para estructura supuesta con base indeformable, e incrementara los desplazamientos laterales.

LEON, Juan. Interacción estática suelo estructura análisis con el método de elementos finitos. Tesis (Magister en Ingeniería Civil). Cuenca – Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, 2011. La presente tesis busca dar a conocer los resultados de un análisis con interacción estática suelo estructura sobre rocas simples y propone que otras investigaciones puedan desarrollar el mismo análisis para diferentes tipos de suelos, en regímenes especiales. Así mismo menciona que los programas tradicionales ya incluyen esta situación en las estructuras estudiadas, aplicando principios básicos utilizados en la interacción suelo-estructura.

Ámbito Local Nacional

VILLARREAL, Genner. Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas [en línea]. Premio Nacional 2006, 2007, 2008 Asamblea Nacional de Rectores. 2009.

Disponible en: <http://gennervillarrealcastro.blogspot.pe/2012/07/libros-digitales-del-dr-genner.html>.

En esta investigación el Dr. Villareal busca dar a conocer soluciones para resolver problemas de mecánica estructural aplicando una metodología de cálculo para zapatas aisladas considerando la flexibilidad de la base de la cimentación. Esta metodología de análisis suelo-estructura se usa con mucha frecuencia en otros países que tienen más avanzado el sector construcción. Así mismo considera a este tipo de análisis como un campo abierto en la investigación sísmica.

VILLARREAL, Genner. Interacción suelo-estructura en edificios altos [en línea]. Premio Nacional 2006, 2007, 2008 Asamblea Nacional de Rectores. 2009

Disponible en: <http://gennervillarrealcastro.blogspot.pe/2012/07/libros-digitales-del-dr-genner.html>.

En esta investigación el Dr. Villareal, busca dar a conocer soluciones para resolver el problema de la metodología de cálculo de edificios altos, considerando la flexibilidad de la base de la cimentación con pilotes. Plantea que uno de los objetivos es la determinación de las propiedades de esfuerzo-deformación de los

suelos para posteriormente estimar desplazamientos verticales y horizontales en la masa del suelo cuando éste se somete a un incremento de esfuerzo. Así mismo considera que este sistema de análisis suelo-estructura se usa con mucha frecuencia en otros países como Rusia, que tiene más avanzado el campo de análisis estructural de edificios y considera un campo abierto en la investigación sísmica.

1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

Interacción Suelo Estructura

Según (Villarreal Castro, Genner. 2009 página 9). En su libro “Interacción Suelo-Estructura en Edificios Altos”. La búsqueda de soluciones a los múltiples problemas de la ingeniería sísmica es imposible sin el apoyo de programas informáticos que elaboren modelos aproximados de la estructura y que puedan ser sometidos a diversos análisis. La elección del tipo de modelo de interacción y el modelo estructural, están interrelacionados. Los modelos se dividen en físicos, de cálculo y matemáticos. Por modelo físico de un proceso determinado, por ejemplo el trabajo estructural ante cargas externas, se entiende por la posibilidad de la descripción total de este proceso en términos de contenido físico. El pasó del modelo físico al de cálculo, las complejas fórmulas físicas se reemplazan por relaciones aproximadas sencillas. La principal exigencia para los modelos de cálculo, es la aproximación cercana del modelo con el objeto real.

La determinación de las propiedades de esfuerzo-deformación de los suelos es necesario para estimar desplazamientos verticales y horizontales en la masa del suelo cuando éste se somete a un incremento de esfuerzo. Los desplazamientos diferenciales de la estructura deberán ser iguales a los originados en la superficie de apoyo de la cimentación. Es decir que la estructura de la cimentación junto con las cargas que obran sobre ella y las reacciones que se provocan en el suelo se sujetará a una determinada configuración, igual a la que el suelo adoptará debido a las reacciones que éste aporta a la estructura de cimentación para su equilibrio.

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

Según VALDERRAMA, Christian y MEZA, José (2014). Página 18. “Influencia de la interacción suelo-estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Este modelo teórico-experimental está basado en la forma como interactúa la cimentación con la base de fundación en forma de un proceso establecido de vibraciones forzadas. El científico D.D. Barkan propuso unos coeficientes de rigidez que estén en función de los coeficientes de compresión y desplazamiento elástico que actúan sobre una inercia y área. Estos coeficientes de rigidez se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$K_Z = C_Z A \quad K_X = C_X A \quad K_\phi = C_\phi I$$

Donde:

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

C_X : Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

A : Área de la base de la cimentación

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

Originalmente para hallar los coeficientes de compresión y desplazamiento elástico se aplicaron las siguientes formulas:

$$C_Z = X_Z * \frac{E}{1-u^2} * \frac{1}{\sqrt{A}}$$

$$C_X = X_X * \frac{E}{(1+X_X u)(1+u)} * \frac{1}{\sqrt{A}}$$

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

Dónde:

X_Z, X_X y X_ϕ : Coeficientes que dependen de la relación de las dimensiones de la base de fundación.

μ : Coeficiente de Poisson

Sin embargo posteriores investigaciones teórico-experimentales, lograron encontrar una dependencia entre los coeficientes C_X, C_Z y C_ϕ con la presión estática que es transmitida al suelo, obteniéndose las siguientes expresiones finales:

$$C_Z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad C_X = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

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

Donde:

C_0 y D_0 : Coeficientes experimentales para $\rho = \rho_0$

a y b : Dimensiones de la cimentación en el plano

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

ρ_0 : Tendrá el valor de 0.2 kg/cm^2

El valor de D_0 puede ser obtenido de la siguiente ecuación. $D_0 = \frac{1-u}{1-0.5u} * C_0$

El Coeficiente de balasto inicial o C_0 puede ser obtenido, dependiendo del tipo de suelo de fundación. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Coeficiente de Balasto C_0 según tipo de suelo.

Tipo de perfil	Características de la base de fundación	Suelo	$C_0(\text{kg/cm}^3)$
S1	Roca o suelo muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($li < 0$)	3.0
		Arena compacta ($li < 0$)	2.2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2.6
S2	Suelos Intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0.25 < li \leq 0.5$)	2.0
		Arena plástica ($0 < li \leq 0.5$)	1.6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0.80$)	1.4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de densidad y humedad	1.8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0.5 < li \leq 0.75$)	0.8
		Arena plástica ($0.5 < li \leq 1$)	1.0
		Arena polvorosa, saturada, porosa ($e > 0.80$)	1.2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($li > 0.75$)	0.6
		Arena movediza ($li > 1$)	0.6

Fuente: Villareal 2006:31

Modelo Dinámico Winkler – Coeficiente de balasto

Según VALDERRAMA, Christian y MEZA, José (2014). Página 23. “Influencia de la interacción suelo-estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. El método de Winkler es uno de los métodos de cálculo más utilizado para modelar la interacción entre la base de cimentación y la superestructura y supone al suelo como un equivalente a un número infinito de resortes elásticos -muelles o bielas biarticuladas- cuya rigidez, denominada módulo o coeficiente de balasto, se corresponde con el cociente entre la presión de contacto y el desplazamiento en la base. Ver Figura 1.

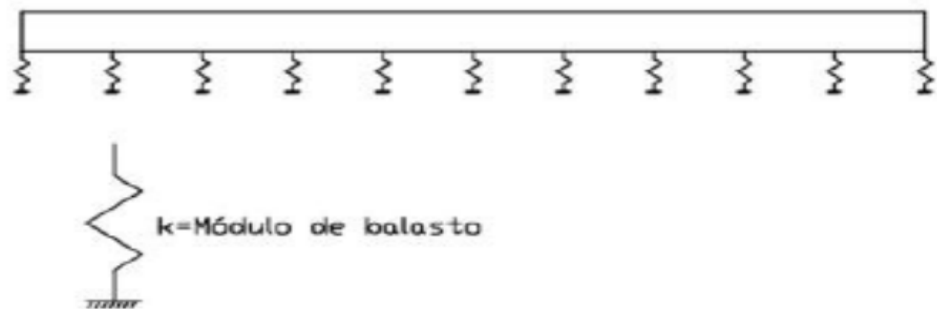


Figura 1: Representación del coeficiente de balasto.

Fuente: SILVA 2009:54

Este método ha ganado aceptación pues permite obtener los resultados de la interacción suelo estructura utilizando métodos matriciales de cálculo, así mismo destaca que los análisis convencionales suponen que cada punto del suelo se comporta independientemente de las cargas existentes en sus alrededores, lo cual no ocurre en la realidad. Ver Figura 2.

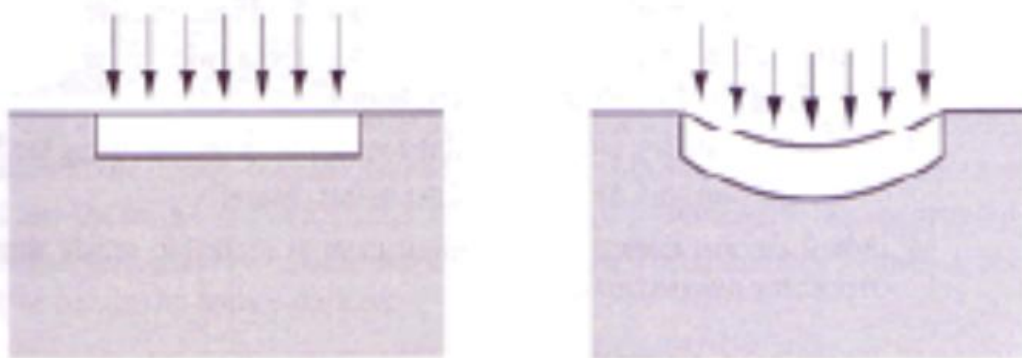


Figura 2: Comparación entre el análisis actual y la realidad.

Fuente: SILVA 2009:57

Análisis Estructural de edificios

San Bartolomé, Ángel. 1998 página 9. En su libro “Análisis de Edificios”. Según el autor en el análisis estructural de edificios no existen métodos exactos de solución, esto debido a que existen una serie de incertidumbres que se presentan no sólo en la sollicitación, sino también en el modelaje estructural. Por ejemplo se tiende a obviar problemas de interacción tabique-pórtico, losa-viga y suelo-estructura, empleando sistemas aporticados con paños libres de tabiques, vigas de sección rectangular y elementos verticales (columnas, placas, muros de albañilería, etc.) empotrados en su base; algunas veces, estas simplificaciones conducen a resultados que están fuera de la realidad. Así mismo también se acostumbra a utilizar un sólo módulo de elasticidad para todo el edificio, sin considerar que puede variar de una barra a otra o incluso dentro de la misma barra, así como despreciar las microfisuras que en los elementos de concreto armado podrían modificar sustancialmente el momento de inercia de la sección transversal.

Modelamiento Estructural con Etabs

Según (Ing. Hernández, Eliud. 2008, página 2). En su libro “Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa ETABS v9”. El programa Etabs es un software de análisis y diseño desarrollado específicamente para analizar sistemas de edificaciones. Etabs puede manejar los más grandes y complejos modelos de edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo la herramienta predilecta para ingenieros estructurales en la industria de la construcción. Etabs posee las siguientes ventajas:

- Facilidad en modelaje de edificios con pisos de acero, concreto, compuestos o cerchas, así mismo rampas lineales y circulares, muros de corte, completamente integrado y disponibles desde la misma interfaz usada para modelar y analizar el modelo.
- Permite realizar un predimensionamiento inicial de elementos de acero y concreto y posteriormente ir optimizándolos considerando condición sismorresistente.
- Facilidad para aplicar diversos tipos de casos de carga y combinaciones, tanto lateral como vertical. Incluyendo carga automáticas por viento y sismo y cargas por espectros de respuesta, con curvas predeterminadas.

- Por eso y mucho más este software es una herramienta de análisis predilecto por muchos estructuristas.

Norma E.030: Diseño Sismorresistente

Según La Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”. Modificada por D.S. N° 003-2016-Vivienda. Numeral 1.4 Concepción Estructural Sismorresistente. Es importante considerar: Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces. Peso mínimo, especialmente en los pisos altos. Selección y uso adecuado de los materiales de construcción. Resistencia adecuada frente a las cargas laterales. Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación. Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico. Deformación lateral limitada. Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural). Consideración de las condiciones locales. Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

Según La Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”. Modificada por D.S. N° 003-2016-Vivienda. Capítulo 2. Peligro Sísmico. Numeral 2.1 Zonificación. El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. Esta zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos, la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. Ver Figura 3.

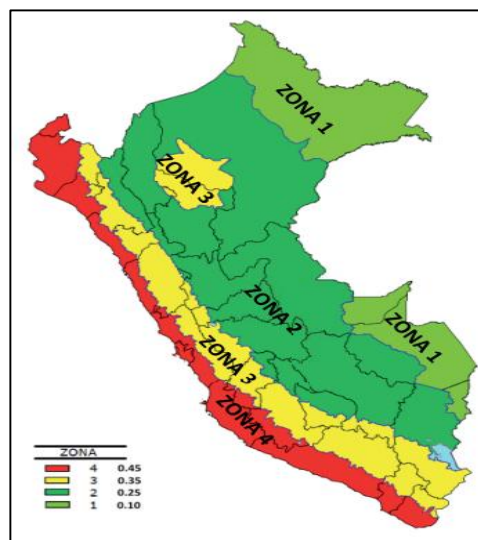


Figura 3. Zonas Sísmicas

Fuente: Norma E.030

De acuerdo a esta distribución a cada zona se asigna un factor Z, este se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Factores de zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030

Características Geotécnicas del Distrito de San Juan de Lurigancho.

Según (Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería "Estudio de micro zonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima". 2011. Apéndice B Características Geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho. Pág. 4). Para el desarrollo del Apéndice B se ha tomado como base los estudios de mecánica de suelos para el Distrito de San Juan de Lurigancho elaborados para el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 Distritos de Lima y Callao (CISMID, 2004), así como de la recopilación de un gran número de estudios de mecánica de suelos para proyectos de ingeniería ejecutados en dicho distrito posterior a esa fecha. Posteriormente esta información fue complementada con un programa de exploración geotécnica de verificación, que consistía en la excavación de calicatas y extracción de muestras de suelos para su respectivo análisis en el laboratorio. Adicionalmente se realizaron ensayos geofísicos de arreglos de microtemores procesados mediante el método FK, con el objetivo de determinar la potencia de los lentes y estratos de suelos que conforman el terreno de cimentación de este distrito, cuya información se presenta en el Apéndice C "Caracterización Dinámica del Suelo del Distrito de San Juan de Lurigancho". Posteriormente se realizó el trabajo en gabinete, que comprende el procesamiento y análisis de la información, logrando como producto final el mapa de microzonificación geotécnica.

La evaluación de los resultados ha permitido determinar los perfiles estratigráficos de las diferentes áreas estudiadas del distrito de San Juan de Lurigancho y definir zonas con características geotécnicas similares. Se ha dividido el área de estudio en cinco zonas habiéndose evaluado la capacidad de carga admisible en cada una de ellas, tomando como base a los diferentes estudios con fines de cimentación recopilados. A continuación se describe un resumen:

Zona I: Se ubica en la zona norte del distrito con material predominante de grava con arena de origen coluvial y la zona sur con material de grava aluvial cerca de la ribera del río Rímac. Para esta zona se estimó una capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 2.30 a 3.30 kg/cm² a una profundidad de cimentación de 0.80 a 1.20 m.

Zona II: Se considera a la región central del distrito y está conformada por materiales granulares finos superficiales y alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, de más de 10 m de espesor. Para esta zona se estimó un capacidad portante de 1.30 a 1.90 kg/cm² considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a una profundidad de cimentación de 0.80 a 1.20 m.

Zona III: Se considera a los sectores Este y Oeste del distrito. Se puede observar taludes de pendiente moderada a fuerte, por lo tanto existe un peligro moderado de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas ante precipitaciones pluviales y ocurrencia de sismos.

Zona IV: Localizado en parte del sector Norte del distrito. Se observa taludes de fuerte pendiente con un alto peligro potencial de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas ante precipitaciones pluviales y ocurrencia de sismos.

Zona V: Localizado en parte de la región central del distrito, se observa suelos con depósito de rellenos heterogéneos con un espesor de más de 6.0m, por lo tanto las condiciones del suelo no son adecuadas para soportar las cimentaciones de las edificaciones y de acuerdo a la norma E-050 de Suelos y Cimentaciones no deben habilitarse con fines urbanos.

En base a la descripción mencionada se elaboró el siguiente Plano de Microzonificación Geotécnica del distrito. Ver Figura 4.

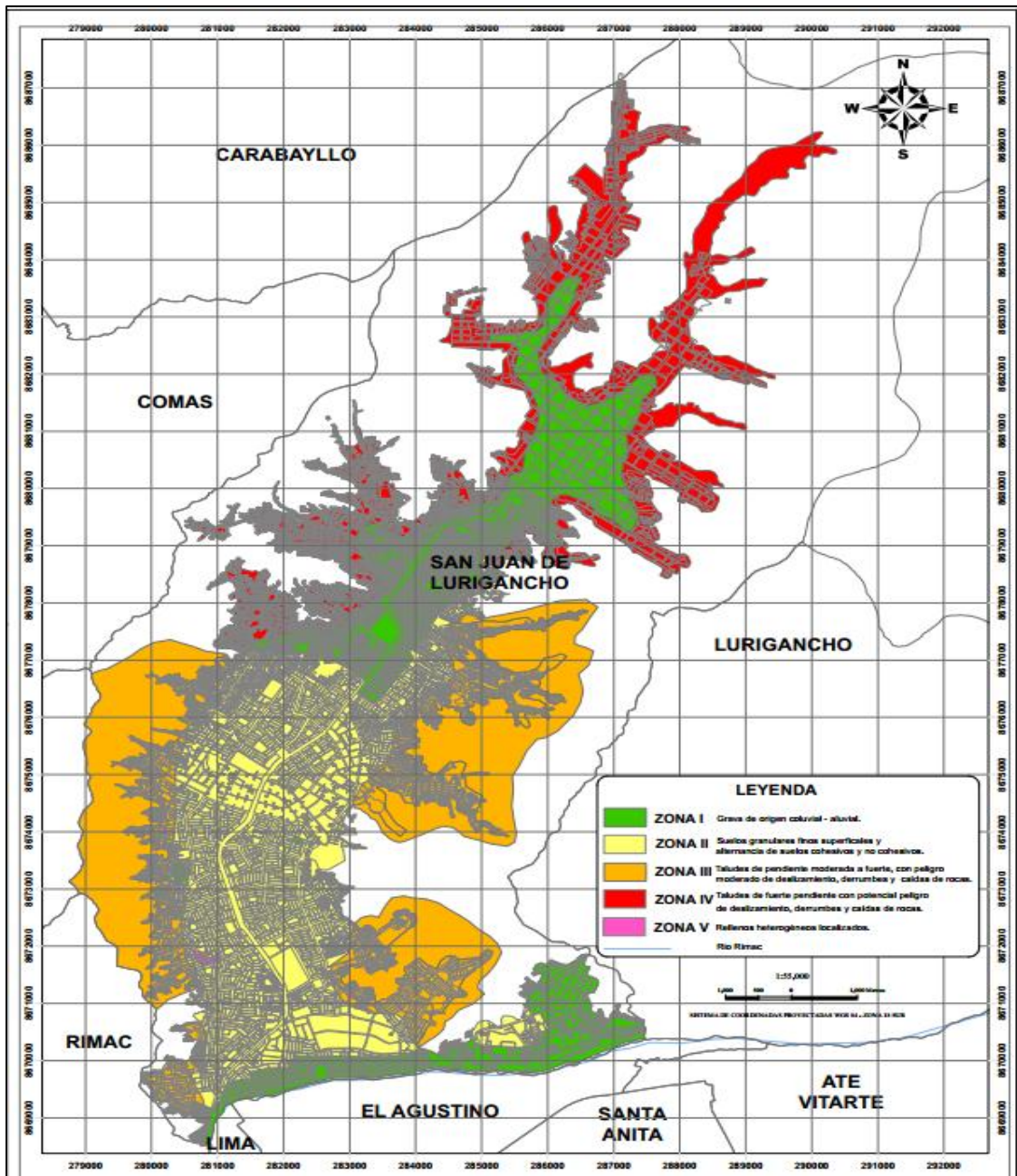


Figura 4. Plano de Microzonificación Geotécnica de San Juan de Lurigancho.

Fuente: Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería “Estudio de micro zonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima”. 2011. Apéndice B Características Geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problema General

¿Cuáles son las características del análisis sísmico de edificaciones con sótano utilizando interacción suelo-estructura?

Problemas Específicos

¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico el considerar una base empotrada a nivel de la superficie?

¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico de un edificio, considerar un modelo de base empotrada en la cimentación del sótano?

¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico de un edificio, considerar un modelo incluyendo la interacción suelo estructura a nivel de la cimentación del sótano?

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Justificación Técnica

Existe poca información de estudios realizados en Perú donde se evalué la interacción suelo estructura al realizar un análisis sísmico de un edificio con sótano. En este estudio se plantea evaluar tres métodos de estudio donde se realizó análisis sísmico a un mismo edificio pero con diferentes casos, identificando en cada uno de ellos el comportamiento del edificio ante las cargas sísmicas aplicadas. Ello permitirá que otros estructuristas y proyectistas tomen los resultados aquí obtenidos para referenciar que análisis sísmico es más conveniente para sus proyectos.

Justificación Económica

Según averiguaciones vía telefónica, web y consultando a ingenieros estructuristas, el costo de realizar un modelado estructural de una edificación que incluya un análisis sísmico es un porcentaje del costo del proyecto que puede ser del 1% al 5%. También se considera un cobro por m². En resumen puedo establecer que el

costo de modelar una edificación en Perú estaría entre los S/. 1000 y S/. 5000 soles dependiendo de la complejidad de la edificación y el nivel de detalle o informe a entregar. Algunos proyectistas para ahorrar este costo tienden a tomar estudios estructurales de una edificación ya realizada y la aplican en otros proyectos sin considerar que las condiciones de suelo no son las mismas y ponen en riesgo la integridad de los habitantes de la edificación.

Justificación Social

La inversión inmobiliaria ha ido en aumento en los últimos años y San Juan de Lurigancho no se ha quedado atrás. Hoy en día se puede observar dentro de las urbanizaciones y avenidas edificios de seis o más pisos, con o sin sótano, de uso para viviendas multifamiliares, oficinas o centros de estudio, pero en cuantas de ellas se ha realizado un análisis sísmico que considere la interacción suelo estructura teniendo conocimiento que en el distrito existen cinco zonas con condiciones de suelo diferentes. Es propósito que nuestra tesis sirva de referencia para elaborar proyectos inmobiliarios con los datos geotécnicos del distrito.

1.6 HIPÓTESIS

Hipótesis General

En el análisis sísmico de un edificio con sótano se debe considerar la interacción suelo estructura para tener en cuenta la flexibilidad del suelo.

Hipótesis Específicos

Considerando un modelo de un edificio que no considera la estructura del sótano, se obtiene desplazamientos y fuerzas menores comparados con un modelo que incluye interacción suelo-estructura.

Considerando un modelo de un edificio con base empotrada en el nivel del sótano se obtiene desplazamientos y fuerzas mayores comparadas con un modelo que incluye interacción suelo-estructura.

Incluyendo la flexibilidad del suelo en el análisis sísmico hace que la estructura sea más flexible.

1.7 OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar las características del análisis sísmico de edificaciones con sótano utilizando interacción suelo-estructura.

Objetivos Específicos

Realizar un análisis sísmico de una estructura considerando un modelo con base empotrada a nivel de la superficie.

Realizar un análisis sísmico de una estructura considerando un modelo con base empotrada en la cimentación del sótano.

Determinar desplazamientos y esfuerzos internos que se producen en el edificio con sótano cuando se incluye la flexibilidad del suelo en el análisis sísmico.

2. MÉTODO

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

No Experimental

“La investigación no experimental observa fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos”. (Hernández-Fernández-Baptista, 2006)

Tipo de estudio: Descriptivo - Aplicado

“El estudio descriptivo, selecciona una serie de cuestiones, para medir, evaluar y recolectar datos sobre aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar”. (Hernández-Fernández-Baptista, 2006). Así mismo este estudio será de tipo Aplicado porque se realizaran los mismos procedimientos de análisis sísmico en diferentes casos.

2.2 VARIABLES

Independiente: Análisis Sísmico

Dependiente: Edificio con sótano

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, al 30 de junio del 2014, en lo que respecta a viviendas, San Juan de Lurigancho cuenta con 202727 viviendas. Esta información se obtuvo del XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda realizado en el año 2007.

Población

Según XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda realizado en el año 2007 en San Juan de Lurigancho existen 910 edificios con 6 o más departamentos.

Muestra

Para obtener la muestra utilizamos un Muestreo No Probabilístico - Muestreo por Conveniencia; esto debido a que no conocemos a todos individuos que forman la población y por lo tanto no se conoce la probabilidad de selección de cada individuo para la muestra. La muestra de estudio será un edificio de 7 pisos y un sótano situado en la Av. San Hilarión Este s/n., distrito de San Juan de Lurigancho.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizara una ficha de recolección de datos según indicadores para cada uno de los métodos de estudio.

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para la presente investigación se utilizaron los siguientes programas informáticos: Etabs versión 16, Autocad versión 14, Excel 2013 y Word 2013.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS

En esta investigación se referenciaron todas las fuentes de las cuales extrajimos información, así mismo los resultados obtenidos provienen de los datos recolectados en el estudio.

Tabla 3. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. Dependiente Edificaciones con sótano.	Alvaro Peña (2015) en su Tesis Doctoral, manifestó lo siguiente “los muros de sótano son una parte de la estructura de los edificios que, por quedar enterrada y en contacto con el terreno, se encuentra solicitada a muy distintos tipos de acciones”.	Se busca evaluar cómo afecta en los resultados del análisis sísmico de un edificio la presencia de sótanos en su estructura.	Evaluación del análisis sísmico de una edificación.	Edificio con sótano	- Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente
V. Independiente Análisis Sísmico.	Genner Villareal (2009) en su libro. Interacción Suelo-Estructura en Edificios Altos, manifiesta. “La teoría sísmica está estrechamente relacionada con los problemas prácticos de edificación, nivel técnico de construcción, avance de los materiales y nuevas tecnologías”.	Es necesario elaborar modelos físicos aproximados de la estructura para dar solución a múltiples problemas de la ingeniería sísmica. La elección del tipo de modelo de interacción y el modelo estructural, están interrelacionados.	<ul style="list-style-type: none"> - Base empotrada a nivel superficial. - Base empotrada en la cimentación del sótano. - Interacción suelo estructura a nivel de la cimentación del sótano. 	<p>Análisis comparativo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desplazamientos o derivas en cada modelo estudiado. - Fuerzas internas en elementos estructurales en cada modelo. 	- Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente

Fuente: Propia

3. RESULTADOS

3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ARQUITECTURA

Ubicación

El edificio a analizar es una vivienda multifamiliar de 7 pisos y un sótano, que está ubicado en la Av. San Hilarión Este s/n, San Juan de Lurigancho, distrito de Lima. El proyecto contara con un área total de terreno de 812.4m² y tendrá la siguiente presentación, ver Figura 5.

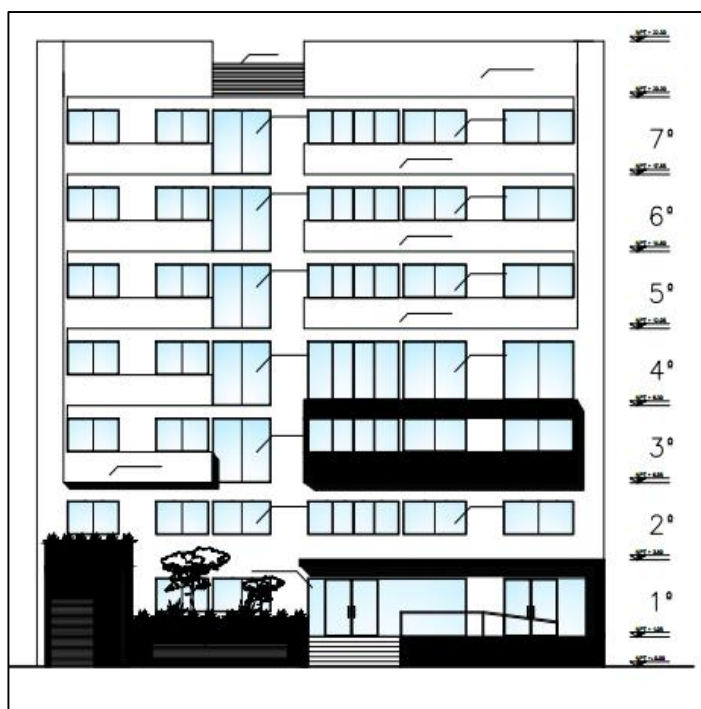


Figura N° 5. Arquitectura: Elevación Principal

Fuente: Propia.

Descripción de Arquitectura

El sótano contara con 23 estacionamientos y una rampa de acceso. En el primer nivel se encuentra el hall de ingreso, el lobby, un sala de uso múltiple y 3 departamentos, a partir del segundo nivel se contabilizara 4 departamentos por nivel, dando un total de 27 departamentos en los 7 pisos y un último piso dedicado a tendal. Cada departamento contara con acceso directo desde el ascensor, sala comedor, cocina, lavandería, dos dormitorios con su respectivo baño y un estudio. Ver Figuras 6 y 7.

3.2 CONSIDERACIONES PARA LOS 3 MÉTODOS DE ESTUDIO

Estudio de Suelo

Según el plano de microzonificación sísmica, ver figura 9. El proyecto estará ubicado en la zona II, es decir en la zona central del distrito, cuyo suelo está conformada por materiales granulares finos (arcilla y arena) superficiales y alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, estableciendo una capacidad portante de la zona de 1.30 a 1.90 kg/cm². Esto pudo ser constatado por el estudio de suelo realizado para este proyecto el cual determino una presión admisible de 2.0 kg/cm², con un suelo de arena y arcilla de mediana densidad.

Materiales Seleccionados

Para el modelado del edificio se definen las propiedades de los materiales a utilizar en el diseño de cada sección de viga, muro estructural y losa. Las características de estos materiales menciono a continuación.

Concreto armado

Es un material utilizado para resistir los esfuerzos de compresión y tracción respectivamente, está compuesto por (piedra, arena, cemento, agua, aditivos según necesidad) y acero de refuerzo. Sus propiedades son:

Resistencia a la compresión: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Poisson: $\nu = 0.20$

Módulo de Elasticidad: $E = 15100 * \sqrt{f'c} = 252671.33 \text{ kg/cm}^2$

Acero de refuerzo

Las barras de acero corrugado para el concreto armado tienen las siguientes propiedades:

Límite de fluencia: $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad: $E = 2\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$

Normatividad

Para el proceso de diseño y análisis se tomaran en cuenta las siguientes normas del Reglamento Nacional de Edificaciones:

Norma E.020 Metrado de Cargas

Norma E.030 Diseño Sismorresistente

Norma E.060 Concreto Armado

Norma E.050 Suelos y Cimentaciones

Cargas

Peso: Según el artículo 4.3 Categoría de las Edificaciones y Factor "U", de la norma técnica E.030. Diseño Sismorresistente. La estructura en estudio está ubicado en la categoría C Edificaciones Comunes, por lo tanto aplicando el inciso b, de dicha norma se menciona que para las edificaciones comprendidas en la categoría C, se adicionara 25% de la carga viva.

Carga Muerta: se considera así al peso propio que transmiten los elementos estructurales (losas, vigas, columnas, placas, etc.), y añadimos el peso de acabados - 100 Kg/m² y el peso de la albañilería: 180 kg/m²

Carga Viva: Según la Tabla 1 "Cargas Vivas Mínimas Repartidas" de la Norma E.020 Cargas, se define la carga repartida según el uso u ocupación de la edificación, en la categoría Viviendas, se menciona que se debe considerar una carga de 200 kg/m². Por lo tanto aplicamos esa carga desde el 1° nivel al 7° nivel, y en el último nivel aplicamos 100 kg/m².

Combinaciones de Cargas

Como el objetivo de nuestra investigación es comparar la variación de resultados una vez aplicado los tres métodos de estudio en el análisis sísmico, no definiremos combinaciones de carga que se utilizan para diseñar los elementos estructurales, sino que utilizaremos las secciones proporcionadas por el plano estructural del

edificio en estudio. Sin embargo puedo mencionar las siguientes combinaciones establecidas en la Norma E.060 Concreto Armado para obtener la carga última de diseño.

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm S$$

$$U = 0.9 CM \pm S$$

3.3 ANÁLISIS SÍSMICO

Según el artículo 4.4 Procedimiento de Análisis Sísmico de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Se deberá utilizar uno de los procedimientos siguientes:

- Análisis Estático o de fuerzas estáticas equivalentes
- Análisis Dinámico modal espectral

En esta investigación vamos a realizar un análisis dinámico, sin embargo debemos realizar algunos procedimientos del análisis estático para obtener variables que se comparen con el análisis dinámico.

Fuerza Cortante en la Base

Se determinará por la siguiente expresión:

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

Teniendo en cuenta el factor mínimo de la cortante

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

Donde:

Z es el Factor de Zona, ver tabla N° 1 del artículo 2.1 Zonificación, de la norma E.030. Para nuestro estudio el edificio se construirá en el departamento de Lima, Región Lima, Distrito de San Juan de Lurigancho, por lo tanto está ubicado en la zona cuatro y corresponde un factor de zona. $Z = 0.45$

U es el Factor de Uso o importancia, ver tabla N° 5, del artículo 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso, de la norma E.030. El edificio en estudio está

considerado dentro de la categoría C Edificaciones Comunes, por lo tanto el Factor $U = 1.0$

C es el Factor de Amplificación Sísmica, según el artículo 2.5 de la norma E.030, C será calculado de acuerdo a las características de sitio y será definida por las siguientes expresiones:

Si: $T < T_P$, entonces $C = 2.5$

Si: $T_P < T < T_L$, entonces $C = 2.5 * \frac{T_P}{T}$

Si: $T > T_L$, entonces $C = 2.5 * \frac{T_P * T_L}{T^2}$

Donde:

T es el Periodo Fundamental de Vibración para cada dirección(X o Y), se estimara con la siguiente expresión: $T = h_n/C_T$

Donde:

h_n = Altura total de la edificación en metros (22.30)

C_T = Coeficiente para estimar periodo fundamental de un edificio. (Será $C_T = 45$, para edificios cuyos elementos resistentes sean Pórticos y Muros Estructurales). Ver artículo 4.5.4. Periodo Fundamental de Vibración, de la norma E.030.

Entonces: $T = \frac{22.30}{45} = 0.495 \text{ s.}$

Corriendo el modelo en Etabs, obtuvimos los siguientes periodos de vibración:
 $T_x = 0.473$ segundos y $T_y = 0.285$ segundos.

T_P es el Periodo que define la plataforma del factor C

T_L es el Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.

Según el artículo 2.4 Parámetros de Sitio, de la norma E.030. T_P y T_L están en función del Factor Suelo. Entonces $T_P(S)=0.6$ y $T_L(S)=2.0$. Con estos datos más

adelante hallaremos C como parte del Espectro Sísmico de la norma peruana aplicado en horizontal y vertical.

S es el Factor de suelo. El factor suelo está definido por su clasificación en el artículo 2.3.1 Perfiles de Suelo, de la norma E.030 y la Zona de sismicidad donde estará ubicada la edificación. Ver tabla N° 3 Factor de suelo “S” del artículo 2.4 Parámetros de sitio (S_i , T_P y T_L).

Como la edificación en estudio está ubicada en la zona de sismicidad $Z=4$, y el Perfil de Suelo lo clasifica como Perfil Tipo S_2 . Suelos Intermedios, entonces $S=1.05$

R es el Coeficiente Básico de Reducción. Según el artículo 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficientes Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_0), de la norma E.030. El material usado y el sistema sismorresistente definido en cada dirección de análisis determinan la clasificación del sistema estructural.

En nuestro estudio, después de revisar y analizar los planos de estructura se determinó que el sistema de estructuración sismorresistente es de Muros Estructurales por lo tanto $R_0=6$, sin embargo la edificación es Irregular en Altura para Irregularidad de Rigidez – Piso Blando, corresponde un $I_a=0.75$. Así mismo es Irregular en Planta, para Irregularidad torsional $I_p=0.75$, por lo tanto $R=R_0 \cdot I_a \cdot I_p$, entonces $R=3.375$.

P es el Peso del edificio y está conformado por la suma de las cargas permanentes o peso de cada elemento de la estructura del edificio, más la carga viva mínima repartida proveniente del factor uso y un porcentaje adicional de la carga viva o sobrecarga según la categoría a la que pertenece la edificación en estudio. Como el primer y segundo método de estudio presenta una distribución estructural diferente, se calculara este peso en cada caso.

3.4 ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL

Mediante este análisis se estiman los desplazamientos y fuerzas internas en los elementos de un sistema estructural utilizando un espectro de diseño, el cual

representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos.

Aceleración Espectral

Las estructuras tienen una cierta elasticidad, la vibración no es la misma y tanto el periodo de vibración como las aceleraciones de base y estructura son diferentes. Según el artículo 4.6.2 Aceleración Espectral de la norma E.030. Se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones que presenta la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S.}{R}g$$

Así mismo podemos identificar a:

SaXg = Aceleración espectral en la dirección X

SaYg = Aceleración espectral en la dirección Y

El espectro de pseudo-aceleraciones se calculará en dos direcciones (X e Y). Ver Tabla 4. y Figura 8. El espectro obtenido se utilizará en los tres métodos de estudio

Tabla 4. Valores de Espectro.

T (s)	C	Saxg	Sayg	T (s)	C	Saxg	Sayg	T (s)	C	Saxg	Sayg
0.05	2.50	0.350	0.350	1.05	1.43	0.200	0.200	2.05	0.71	0.100	0.100
0.10	2.50	0.350	0.350	1.10	1.36	0.191	0.191	2.10	0.68	0.095	0.095
0.15	2.50	0.350	0.350	1.15	1.30	0.183	0.183	2.15	0.65	0.091	0.091
0.20	2.50	0.350	0.350	1.20	1.25	0.175	0.175	2.20	0.62	0.087	0.087
0.25	2.50	0.350	0.350	1.25	1.20	0.168	0.168	2.25	0.59	0.083	0.083
0.30	2.50	0.350	0.350	1.30	1.15	0.162	0.162	2.30	0.57	0.079	0.079
0.35	2.50	0.350	0.350	1.35	1.11	0.156	0.156	2.35	0.54	0.076	0.076
0.40	2.50	0.350	0.350	1.40	1.07	0.150	0.150	2.40	0.52	0.073	0.073
0.45	2.50	0.350	0.350	1.45	1.03	0.145	0.145	2.45	0.50	0.070	0.070
0.50	2.50	0.350	0.350	1.50	1.00	0.140	0.140	2.50	0.48	0.067	0.067
0.55	2.50	0.350	0.350	1.55	0.97	0.135	0.135	2.55	0.46	0.065	0.065
0.60	2.50	0.350	0.350	1.60	0.94	0.131	0.131	2.60	0.44	0.062	0.062
0.65	2.31	0.323	0.323	1.65	0.91	0.127	0.127	2.65	0.43	0.060	0.060
0.70	2.14	0.300	0.300	1.70	0.88	0.124	0.124	2.70	0.41	0.058	0.058
0.75	2.00	0.280	0.280	1.75	0.86	0.120	0.120	2.75	0.40	0.056	0.056
0.80	1.88	0.263	0.263	1.80	0.83	0.117	0.117	2.80	0.38	0.054	0.054
0.85	1.76	0.247	0.247	1.85	0.81	0.114	0.114	2.85	0.37	0.052	0.052
0.90	1.67	0.233	0.233	1.90	0.79	0.111	0.111	2.90	0.36	0.050	0.050
0.95	1.58	0.221	0.221	1.95	0.77	0.108	0.108	2.95	0.34	0.048	0.048
1.00	1.50	0.210	0.210	2.00	0.75	0.105	0.105	3.00	0.33	0.047	0.047

Fuente: Propia

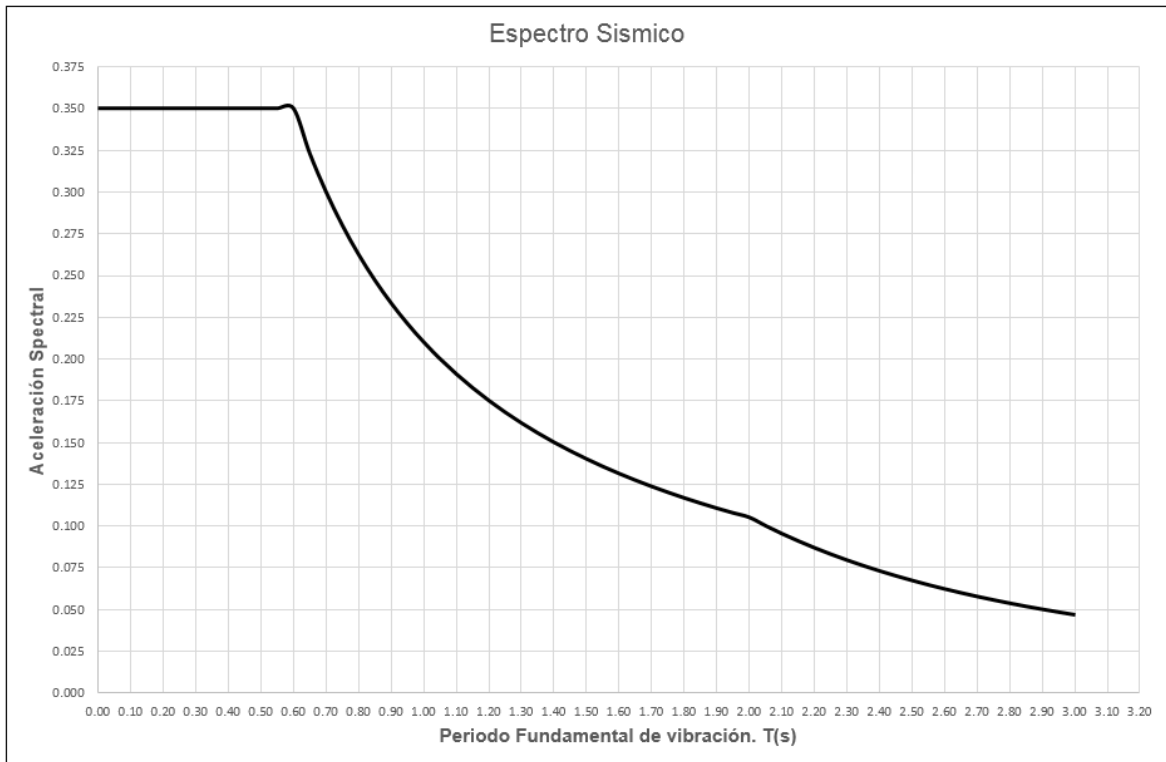


Figura 8. Espectro de PseudoAceleraciones

Fuente: Propia

Fuerza Cortante Mínima

La distribución en planta de la edificación muestra una estructura irregular y como menciona el artículo 4.6.4 Fuerza cortante mínima, de la norma E.030, Para estructuras irregulares la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 90% de la cortante basal estática.

Desplazamientos Admisibles

Se considera que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no deberá exceder a una fracción de la altura del entrepiso (distorsión) tal como se menciona en el artículo 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles, de la norma E.030. Para el material concreto armado la distorsión máxima (Δ_i / h_{ei}) será de 0.007.

3.5 Análisis Sísmico con Etabs

Para realizar el modelado del edificio se utilizó el programa Etabs versión 16 y se siguieron los siguientes pasos:

- Se definieron las propiedades del concreto y del acero de refuerzo
- Se definieron las secciones de placas, vigas y losas macisa y aligerada a utilizarse
- Se diseñó el modelo de la estructura guiándose del plano estructural del proyecto
- Se modeló la cimentación de acuerdo a los 3 métodos de análisis
- Se asignaron cargas a los elementos
- Se asignaron diafragmas rígidos a los diferentes niveles del edificio.
- Se definieron los piers
- Se aplicó automesh a los muros estructurales
- En los casos dinámicos para la dirección X e Y se utilizó un espectro de pseudoaceleraciones, el cual fue definido anteriormente.
- En cada uno de los casos de sismo se analizó la estructura en 3 dimensiones con un amortiguamiento de 5 % y utilizando una combinación modal CQC (Combinación Cuadrática Completa).
- De la ejecución del modelo utilizamos las siguientes tablas para obtener los siguientes resultados.
 - o Tables: Analysis – Result – Modal Result – Modal Periods and frequencies. Obtuvimos el periodo de la edificación en las direcciones X e Y.
 - o Tables: Model – Loads – Auto Seismic – Auto Seismic-User Coeficient. Obtuvimos el Peso de la edificación y la Cortante basal dinámica (Vdin)
 - o Tables: Analysis – Results – Structure Results – Story Forces. Obtuvimos las cortantes y momentos máximos en de casa piso
 - o Tables: Analysis – Results – Displacements – Story Drifts. Obtuvimos el desplazamiento máximo para cada piso
 - o Tables: Analysis – Results – Displacements – Diaphragm Center of Mass Displacements. Obtuvimos el desplazamiento máximo según centro de masa para cada piso.

3.6 Método de estudio I – Edificio sin sótano

Con los datos del plano estructural y de arquitectura procedimos a modelar la edificación para el método de estudio I. Ver Figura 9

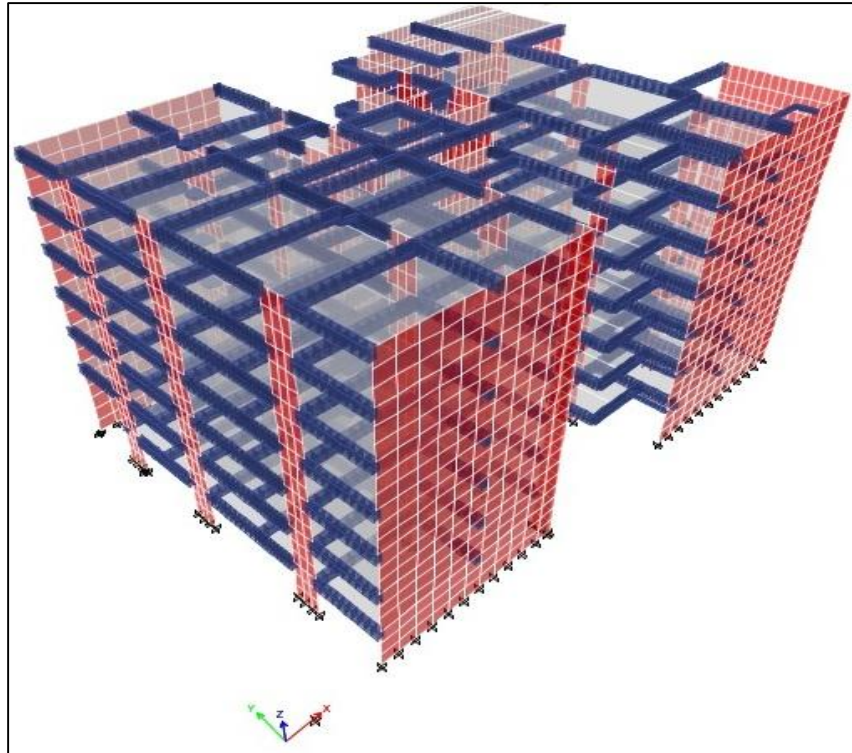


Figura 9. Modelo I. Edificio sin sótano y con apoyo fijo empotrado en el suelo

Fuente: Propia

Una vez terminado el modelo, se asignaron las cargas de piso, se definió parámetros de estudio, se aplicó restricción en la base y ejecutamos el modelo obteniendo los siguientes resultados:

Periodo de la edificación

Dirección	T(s)
X – X	0.439 s.
Y – Y	0.224 s.

Peso y Cortante Basal

De la tabla de Auto Seismic – User Coeficient. Obtuvimos:

Peso de la Edificación = 3406.36 Tn.

Cortante estática (Vest.) = 1192.23 tonf. La misma para la dirección X e Y.

De la tabla Story Forces, obtuvimos las fuerzas cortantes dinámicas en el primer entreciso (Story1).

VdinX = 872.72 tonf.

VdinY = 849.21 tonf.

Según el artículo 4.6.4. Fuerza cortante mínima de la norma E.030 para edificaciones irregulares la fuerza cortante en el primer entreciso debe ser mayor al 90% de la cortante estática. Por lo tanto procedimos a amplificar la cortante dinámica.

Amplificar la cortante dinámica

	Factor		Factor	
	Dirección X	Amplificación	Dirección Y	Amplificación
90%Vest.	1073.00		1073.00	
Vdin.	872.72	1.229	849.21	1.264

Una vez aplicado el factor de amplificación a cada caso dinámico se ejecutó nuevamente el estudio y se obtuvieron las siguientes cortantes en el primer entreciso.

VdinX = 1073.77 tonf.

VdinY = 1073.41 tonf.

Fuerzas Internas en elementos estructurales

Con las cortantes amplificadas de la tabla Story Forces obtuvimos los esfuerzos internos (cortantes y momentos) máximos por piso en las direcciones X e Y.

Tabla 5. Fuerzas Internas del Método de Estudio I

PISOS	Cortante Máxima		Momento Máximo	
	En X (tonf)	En Y (tonf)	En X (tonf-m)	En Y (tonf-m)
piso 7	255.07	259.84	701.43	714.55
Piso 6	511.82	512.05	2106.25	2114.08
Piso 5	705.07	707.65	4030.99	4033.79
Piso 4	851.02	857.70	6331.31	6344.50
Piso 3	962.49	968.81	8904.81	8937.31
Piso 2	1039.18	1041.56	11668.21	11714.61
Piso 1	1073.77	1073.41	14534.73	14584.59

Fuente: Propia

Desplazamiento lateral

De la tabla Diaphragm Center of Mass Displacements. Obtuvimos los desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección X.

Tabla 6. Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio I

Pisos	UX cm	Z m	Altura cm	Desplazamiento Relativo	Distorsión	Norma <0.007
Piso 7	2.512	19.50	275	0.376	0.00137	Cumple
Piso 6	2.135	16.75	275	0.410	0.00149	Cumple
Piso 5	1.726	14.00	275	0.425	0.00154	Cumple
Piso 4	1.301	11.25	275	0.417	0.00152	Cumple
Piso 3	0.885	8.50	275	0.381	0.00139	Cumple
Piso 2	0.504	5.75	275	0.313	0.00114	Cumple
Piso 1	0.191	3.00	300	0.191	0.00064	Cumple

Fuente: Propia

De igual forma obtuvimos los desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección Y.

Tabla 7. Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio

	UY	Z	Altura	Desplazamiento		Norma
Pisos	cm	m	cm	Relativo	Distorsión	<0.007
Piso 7	9.861	19.50	275	1.482	0.00539	Cumple
Piso 6	8.379	16.75	275	1.563	0.00568	Cumple
Piso 5	6.816	14.00	275	1.665	0.00606	Cumple
Piso 4	5.151	11.25	275	1.678	0.00610	Cumple
Piso 3	3.473	8.50	275	1.557	0.00566	Cumple
Piso 2	1.916	5.75	275	1.272	0.00462	Cumple
Piso 1	0.644	3.00	300	0.644	0.00215	Cumple

Fuente: Propia

3.7 Método de estudio II – Edificio con sótano

Con los datos del plano estructural y de arquitectura procedimos a modelar la edificación para el método de estudio II. Ver Figura 10 .

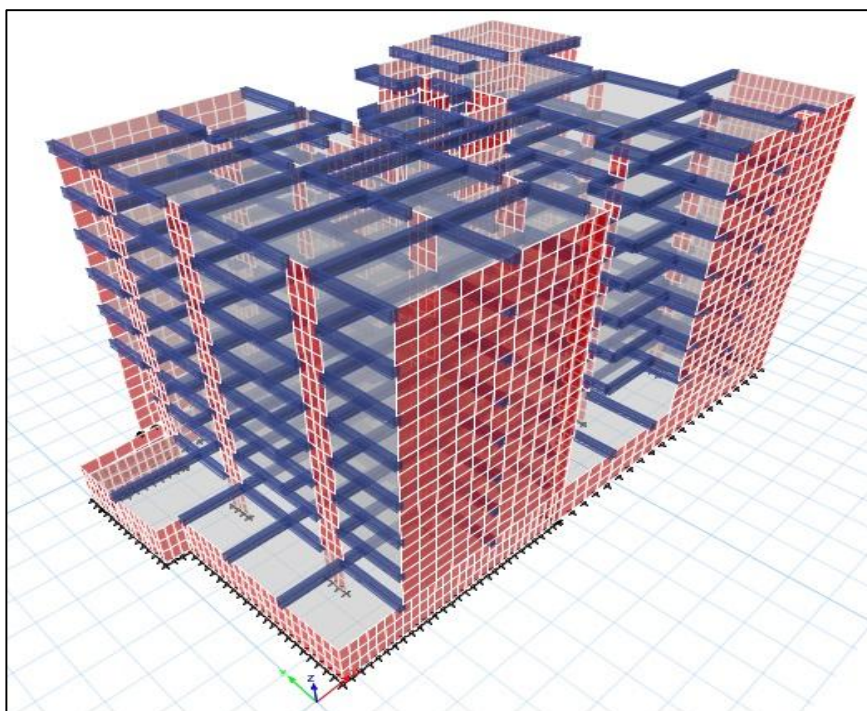


Figura N 10. Modelo II. Edificio empotrado en la cimentación del sótano

Fuente: Propia

Al igual que en el caso anterior se aplicaron las cargas y restricciones del estudio y se obtuvieron los resultados:

Periodo de la edificación

Dirección	T(s)
X – X	0.502 s.
Y – Y	0.274 s.

Peso y Cortante Basal

De la tabla de Auto Seismic – User Coeficient. Obtuvimos:

Peso de la Edificación en estudio. $P = 4208.40 \text{ Tn.}$

Cortante estática (Vest.) = 1472.94 tonf.

La misma para la dirección X e Y.

De la tabla Story Forces, obtuvimos las fuerzas cortantes dinámicas en el primer entrepiso (Story1).

$V_{dinX} = 936.63 \text{ tonf.}$

$V_{dinY} = 934.32 \text{ tonf.}$

Amplificar la cortante dinámica

	Factor		Factor	
	Dirección X	Amplificación	Dirección Y	Amplificación
90%Vest.	1325.65		1325.65	
$V_{din.}$	936.63	1.415	934.32	1.419

Una vez aplicado el factor de amplificación a cada caso dinámico se ejecutó nuevamente el estudio y se obtuvieron las siguientes cortantes en el primer entrepiso.

$V_{dinX} = 1326.18 \text{ tonf.}$

$V_{dinY} = 1325.77 \text{ tonf.}$

Fuerzas Internas en elementos estructurales

Esfuerzos internos (cortantes y momentos) máximos por piso en las direcciones X e Y.

Tabla 8. Fuerzas Internas del Método de Estudio II

PISOS	Cortante Máxima		Momento Máximo	
	En X (tonf)	En Y (tonf)	En X (tonf-m)	En Y (tonf-m)
Piso 7	291.58	295.94	801.86	813.83
Piso 6	587.38	588.41	2414.36	2424.82
Piso 5	812.40	818.38	4633.54	4646.87
Piso 4	984.65	1001.92	7297.27	7346.68
Piso 3	1121.65	1140.79	10293.91	10406.22
Piso 2	1227.82	1239.71	13542.55	13714.85
Piso 1	1292.86	1298.41	16959.34	17172.72
Sótano	1326.18	1325.77	20799.37	21034.90

Fuente: Propia

Desplazamiento lateral

Desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección X.

Tabla 9. Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio II

	UX	Z	Altura	Desplazamiento		Norma
Pisos	cm	m	cm	Relativo	Distorsión	<0.007
Piso 7	4.22	22.25	275	0.583	0.00212	Cumple
Piso 6	3.64	19.50	275	0.627	0.00228	Cumple
Piso 5	3.01	16.75	275	0.649	0.00236	Cumple
Piso 4	2.37	14.00	275	0.647	0.00235	Cumple
Piso 3	1.72	11.25	275	0.616	0.00224	Cumple
Piso 2	1.10	8.50	275	0.560	0.00204	Cumple
Piso 1	0.54	5.75	275	0.418	0.00152	Cumple
Sótano	0.13	3.00	300	0.125	0.00042	Cumple

Fuente: Propia

De igual forma obtuvimos los desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección Y.

Tabla 10. Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio II

	UY	Z	Altura	Desplazamiento		Norma
Pisos	cm	m	cm	Relativo	Distorsión	<0.007
Piso 7	14.593	22.3	275	1.998	0.00727	Mal
Piso 6	12.594	19.5	275	2.090	0.00760	Mal
Piso 5	10.505	16.8	275	2.241	0.00815	Mal
Piso 4	8.264	14.0	275	2.306	0.00839	Mal
Piso 3	5.957	11.3	275	2.237	0.00813	Mal
Piso 2	3.720	8.5	275	2.017	0.00733	Mal
Piso 1	1.703	5.8	275	1.384	0.00503	Cumple
Sótano	0.320	3.0	300	0.320	0.00107	Cumple

Fuente: Propia

3.8 Método de estudio III – Edificio con sótano interacción suelo-estructura

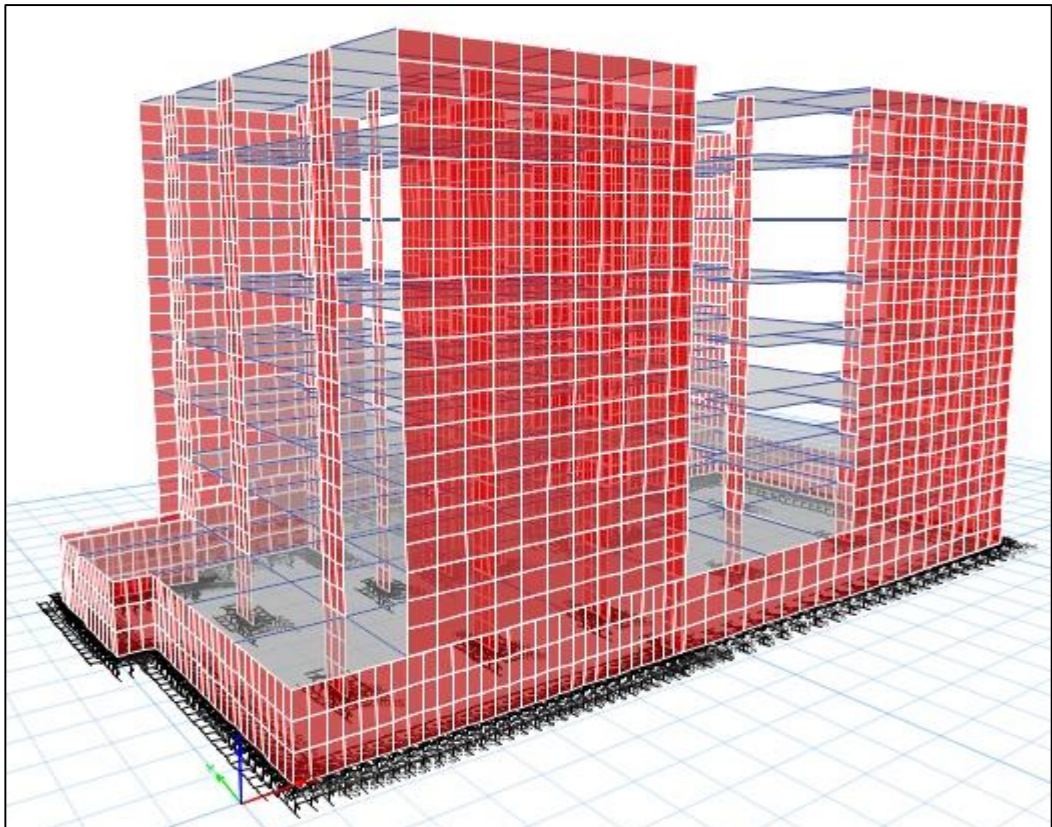


Figura 11. Modelo III. Edificio empotrado en la cimentación del sótano considerando suelo flexible.

Fuente: Propia

Cálculos Previos

Del estudio de suelo de la edificación, obtenemos las siguientes variables:

Tipo de suelo: Arcilla y arena.

Coefficiente de poisson por tipo de suelo: $\nu = 0.30$

Según la Tabla N° 1, C_0 para tipos de suelo, corresponde a este estudio un $C_0 = 2.0 \text{ kg/cm}^3$, el cual viene a ser el coeficiente de balasto Inicial.

Al inicio de este método de análisis, se procedió a liberar la restricción de los nodos de cada elemento estructural de la base, es decir el modelo deja de estar empotrado y se sostendrá con resortes que se apoyaran sobre un elemento llamado Platea.

Este elemento Platea es un elemento Shell o superficie, que luego será dividido en pequeñas partes, definido como material (Other), con un módulo de Elasticidad de $9E8$, y un coeficiente de poisson de 0.05

Dimensiones de la base

Lado (a) = 34.6 m.

Lado (b) = 22.34 m.

Lado (c) = 0.3 m.

Calculamos la masa traslacional (M_t)

$$M_t = \frac{\text{Pesoplatea} * a * b * c}{g} = 56.73 \text{ tn.}$$

Gravedad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Calculamos la Masa Rotacional en las direcciones X e Y. Para el modelo dinámico Barkan D.D., no será tomado en cuenta la dirección Z, debido a que se restringe esa rotación al ejecutar el análisis. Las masas rotacionales se calculan según las siguientes formulas.

$$M_{\phi x'} = 2361.14 \quad M_{\phi x'} = M_t \left(\frac{C}{2} \right)^2 + M_t \frac{(b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\phi y'} = 5661.41 \quad M_{\phi y'} = M_t \left(\frac{C}{2} \right)^2 + M_t \frac{(a^2 + c^2)}{12}$$

Hallamos área de la platea

$$\text{Área de Platea} = a * b = 772.96 \text{ m}^2$$

Calculamos el momento de inercia alrededor de X (Ix)

$$I_x = \frac{ab^3}{12} \quad I_x = 32147.29 \text{ kg/m}^2$$

Calculamos el momento de inercia alrededor de Y (Iy)

$$I_y = \frac{ba^3}{12} \quad I_y = 77113.47 \text{ kg/m}^2$$

Calculamos coeficiente Do

$$D_o = \frac{1-u}{1-0.5u} * C_o = \quad D_o = \frac{1-0.30}{1-0.5*0.3} * 2 = 1.647$$

Este factor se multiplico por 1000 según formula y se obtuvo 1647 kg/cm³.

Como dato del análisis tenemos que:

$$p_o = 0.2$$

P = Presión estática del área tributaria será = 1073.99

Calculamos los coeficientes de compresión y desplazamiento

$$C_x = C_y = D_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} \quad C_z = C_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_x = C_y = 13844.05$$

$$C_z = 168.11 \quad C_{\phi x} = C_o \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_{\phi x} = 185.04$$

$$C_{\phi y} = 194.34 \quad C_{\phi y} = C_o \left[1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

Calcular coeficiente de rigidez y desplazamiento

$$K_x = K_y = C_x * \text{Area platea}$$

$$K_x = K_y = 107009178 \text{ tn/m}$$

$$K_z = C_z * \text{Area platea} \quad K_z = 129939.72 \text{ tn/m}$$

$$K_{\phi x} = 5948676.53 \quad K_{\phi x} = C_{\phi x} * I_x$$

$$K_{\phi y} = 14986246.36 \quad K_{\phi y} = C_{\phi y} * I_y$$

Con estas variables calculadas ingresamos sus valores a los nodos de la base, utilizando la opción de Etabs asignación de valores a la masa de nodos y aplicamos resortes para todos los nodos. Corrimos el análisis y obtuvimos los siguientes resultados:

Periodo de la edificación

Dirección	T(s)
X – X	0.525 s.
Y – Y	0.296 s.

Peso y Cortante Basal

De la tabla de Auto Seismic – User Coeficient. Obtuvimos:

Peso de la Edificación en estudio. $P = 4208.40 \text{ Tn.}$

Cortante estática (Vest.) = 1304.6 tonf.

La misma para la dirección X e Y.

De la tabla Story Forces, obtuvimos las fuerzas cortantes dinámicas en el primer entrespacio (Story1).

$V_{dinX} = 930.66 \text{ tonf.}$

$V_{dinY} = 927.80 \text{ tonf.}$

Amplificar la cortante dinámica

	Dirección X	Factor Amplificación	Dirección Y	Factor Amplificación
90%Vest.	1174.14		1174.14	
Vdin.	930.66	1.262	927.80	1.266

Una vez aplicado el factor de amplificación a cada caso dinámico se ejecutó nuevamente el estudio y se obtuvieron las siguientes cortantes en el primer entrepiso.

VdinX = 1174.18 tonf.

VdinY = 1174.33 tonf.

Fuerzas Internas en elementos estructurales

Esfuerzos internos (cortantes y momentos) máximos por piso en las direcciones X e Y.

Tabla 11. Fuerzas Internas del Método de Estudio III

PISOS	Cortante Máxima		Momento Máximo	
	En X (tonf)	En Y (tonf)	En X (tonf-m)	En Y (tonf-m)
Piso 7	257.75	261.60	708.82	719.39
Piso 6	519.45	520.41	2134.85	2144.26
Piso 5	718.74	724.10	4098.32	4110.53
Piso 4	871.39	886.74	6456.09	6500.39
Piso 3	992.78	1009.88	9109.28	9209.44
Piso 2	1086.82	1097.64	11985.98	12139.72
Piso 1	1144.45	1149.81	15011.68	15202.66
Sótano	1174.10	1174.33	18412.33	18624.27

Fuente: Propia

Desplazamiento lateral

Desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección X.

Tabla 12. Desplazamientos en la dirección X, Método de Estudio III

	UX	Z	Altura	Desplazamiento		Norma
Pisos	cm	m	cm	Relativo	Distorsión	<0.007
Piso 7	3.79260	22.25	275	0.523	0.00190	Cumple
Piso 6	3.26980	19.50	275	0.562	0.00204	Cumple
Piso 5	2.70810	16.75	275	0.581	0.00211	Cumple
Piso 4	2.12700	14.00	275	0.580	0.00211	Cumple
Piso 3	1.54730	11.25	275	0.552	0.00201	Cumple
Piso 2	0.99490	8.50	275	0.503	0.00183	Cumple
Piso 1	0.49190	5.75	275	0.377	0.00137	Cumple
Sótano	0.11450	3.00	300	0.115	0.00038	Cumple

Fuente: Propia

De igual forma obtuvimos los desplazamientos máximos por piso considerando centro de masa en la dirección Y.

Tabla 13. Desplazamientos en la dirección Y, Método de Estudio III

	UY	Z	Altura	Desplazamiento		Norma
Pisos	cm	m	cm	Relativo	Distorsión	<0.007
Piso 7	13.050	22.3	275	1.782	0.00648	Cumple
Piso 6	11.268	19.5	275	1.864	0.00678	Cumple
Piso 5	9.404	16.8	275	1.999	0.00727	Mal
Piso 4	7.406	14.0	275	2.058	0.00748	Mal
Piso 3	5.348	11.3	275	1.998	0.00727	Mal
Piso 2	3.350	8.5	275	1.806	0.00657	Mal
Piso 1	1.543	5.8	275	1.248	0.00454	Cumple
Sótano	0.295	3.0	300	0.295	0.00098	Cumple

Fuente: Propia

3.9 CUADROS COMPARATIVOS

Con los resultados obtenidos de los estudios realizamos cuadros comparativos:

Tabla 14. *Esfuerzos Internos Máximos por piso*

	Método de Estudio I		Método de Estudio II		Método de Estudio III	
	Cortante Máxima	Momento Máximo	Cortante Máxima	Momento Máximo	Cortante Máxima	Momento Máximo
Piso 7	259.84	714.55	295.94	813.83	261.60	719.39
Piso 6	512.05	2114.08	588.41	2424.82	520.41	2144.26
Piso 5	707.65	4033.79	818.38	4646.87	724.10	4110.53
Piso 4	857.70	6344.50	1001.92	7346.68	886.74	6500.39
Piso 3	968.81	8937.31	1140.79	10406.22	1009.88	9209.44
Piso 2	1041.56	11714.61	1239.71	13714.85	1097.64	12139.72
Piso 1	1073.41	14584.59	1298.41	17172.72	1149.81	15202.66
Sótano			1325.77	21034.90	1174.33	18624.27

Fuente: Propia

Según observamos en este cuadro se obtienen menores esfuerzos en los elementos estructurales utilizando el tercer método de estudio, es decir cuando se aplica una análisis sísmico con interacción suelo estructura.

Tabla 15. *Desplazamientos o Derivas máximas por piso*

	Método de Estudio I		Método de Estudio II		Método de Estudio III	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
Piso 7	0.00137	0.00539	0.00212	0.00727	0.00190	0.00648
Piso 6	0.00149	0.00568	0.00228	0.00760	0.00204	0.00678
Piso 5	0.00154	0.00606	0.00236	0.00815	0.00211	0.00727
Piso 4	0.00152	0.00610	0.00235	0.00839	0.00211	0.00748
Piso 3	0.00139	0.00566	0.00224	0.00813	0.00201	0.00727
Piso 2	0.00114	0.00462	0.00204	0.00733	0.00183	0.00657
Piso 1	0.00064	0.00215	0.00152	0.00503	0.00137	0.00454
Sótano			0.00042	0.00107	0.00038	0.00098

Fuente: Propia

Podemos observar que al comparar el segundo y tercer método de estudio los desplazamientos son diferentes para un mismo modelo estructural, ello debido al efecto de la interacción suelo-estructura en el edificio.

4. DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar las características del análisis sísmico en edificaciones con sótano utilizando interacción suelo-estructura y los resultados obtenidos demuestran que las fuerzas internas producidas en el edificio son menores cuando se aplica este análisis y esto es debido a que parte de la energía generada por el sismo en la estructura es absorbida por el suelo de fundación, ya que este trabaja como un resorte en las bases. Esto reafirma lo que menciona Alvaro Rodrigo Peña Fritz, en su Tesis Doctoral “Proyecto de muros de sótano sometidos a cargas verticales originadas por pilares de fachada”, en el cual sostiene que las deformaciones en el cimiento se pueden considerar como la suma de las reacciones producidas en el terreno más las inducidas en los propios elementos estructurales (muros de sótano, zapatas, losas, etc.). Aspecto que no se considera en un análisis sísmico convencional el cual considera que la base de la edificación tiene un empotramiento perfecto sin deformaciones.

Así mismo los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo que menciona Leonardo Herrera Baquero, en su Tesis de Magister “Evaluación de la interacción dinámica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera”, el cual menciona que la interacción suelo-estructura modifica los parámetros dinámicos de la estructura así como las características del movimiento del terreno en el entorno de la cimentación. Estas variaciones pueden producir reducciones en la cortante basal, lo cual ocurre.

Con esta investigación se demuestra que se puede utilizar el programa de análisis estructural Etabs, el cual posee las funciones necesarias para insertar las variables de la interacción suelo-estructura en un análisis sísmico, tal como lo menciona Juan Leon Alvarado, en su Tesis de Magister “Interacción Estática suelo estructura análisis con el método de elementos finitos”, en el cual sostiene que otras investigaciones puedan desarrollar el mismo análisis suelo-estructura para diferentes tipos de suelos, en regímenes especiales. Así mismo menciona que los programas tradicionales ya incluyen esta situación en las estructuras estudiadas.

Por último se concuerda con lo afirmado por el Dr. Villareal Castro, Genner el cual en su obra titulada ““Interacción suelo-estructura en edificios altos”, menciona que una de las soluciones para resolver el problema de la metodología de cálculo de edificios altos es considerar la flexibilidad de la base de la cimentación con el objetivo de determinar las propiedades de esfuerzo-deformación de los suelos para posteriormente estimar desplazamientos verticales y horizontales en la masa del suelo cuando éste se somete a un incremento de esfuerzo. Así mismo considera que este sistema de análisis suelo-estructura se usa con mucha frecuencia en otros países que tiene más avanzado el campo de análisis estructural de edificios y considera un campo abierto en la investigación sísmica.

CONCLUSIONES

- Considerando el modelo I de un edificio que no considera la estructura del sótano, si se obtienen menores desplazamientos y fuerzas internas en los elementos estructurales comparados con el modelo que incluye la interacción del suelo-estructura. Esto es debido a que la estructura ve reducido su peso y por lo tanto se obtiene una menor fuerza cortante.
- Considerando un modelo de un edificio con base empotrada en el nivel del sótano si se obtienen desplazamientos y fuerzas mayores comparadas con un modelo que incluye interacción suelo-estructura, esto debido a que se genera una mayor fuerza cortante en el modelo II producto de la rigidez de la base, mientras que en el modelo III se genera menor fuerza cortante debido al efecto de la interacción suelo estructura.
- Al incluir la flexibilidad del suelo en el análisis sísmico, si se logra que la estructura sea más flexible, esto se nota con el incremento del periodo de vibración del modelo II edificio base comparado con el modelo III que considera la interacción suelo-estructura. Esto debido a que parte de la energía generada por el sismo es absorbida por el suelo de fundación ya que éste trabaja como un resorte en las bases.
- Al comparar los resultados del primer y segundo modelo en lo que se refiere a desplazamientos máximos por piso, la presencia del sótano incrementa las derivas de los pisos, ello debido a que en el modelo II se genera mayor fuerza cortante por el peso que se agrega a la edificación. Por lo tanto se debería rediseñar los elementos estructurales de estos pisos para cumplir la norma E030.
- Para desarrollar un análisis sísmico que considere la Interacción suelo-estructura, se debe contar con un estudio de suelo que brinde las características del suelo donde se construirá la edificación, poniendo énfasis en obtener los coeficientes de rigidez del mismo.

RECOMENDACIONES

- Al realizar el diseño de un edificio se debe considerar disminuir las secciones de los elementos estructurales en los pisos altos para disminuir el peso del edificio y de esta forma generar menor fuerza cortante.
- Para futuras investigaciones sobre análisis sísmico aplicando interacción suelo estructura, se podría pedir que amplíen su horizonte de análisis al considerar diferentes tipos de suelo.
- Se podría recomendar que para futuras construcciones se presenten al menos dos estudios sísmicos uno considerando suelo rígido como base y otro con interacción suelo-estructura y de esa forma tomar la mejor decisión sobre el modelo a aprobar para su construcción.
- En este estudio se buscó conocer y comparar como varían los resultados de un análisis sísmico a un edificio ya diseñado, es decir se contaba con los planos de estructura, por lo tanto los modelos de estudio fueron diseñados con los elementos estructurales ya definidos y solo se utilizó el propio peso de los mismos y el de las cargas vivas. Para futuras investigaciones se podría recomendar aplicar patrones de carga que amplíen las fuerzas y esta forma poder evaluar mejor el desempeño del edificio cambiando las secciones de los elementos estructurales, la rigidez del suelo y la presencia del sótano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, Roberto. 2008. Análisis Sísmico de Edificios. Ed. 1. Quito Ecuador. Centro de investigaciones científicas. Escuela politécnica del ejército.

Alva, Jorge. 2012. Diseño de Cimentaciones. 1ª.ed. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.

Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería “Estudio de micro zonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de lima”. 2011. Apéndice B Características Geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho.

Harsen, Teodoro. 2005. Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú

Hernández, Eliud. 2008. Libro “Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa ETABS v9”.

Herrera, Leonardo. 2013. Evaluación de la interacción dinámica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

León, Juan. 2011. Interacción Estática Suelo Estructura Análisis Con el método de Elementos Finitos. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador.

Norma E.020 Cargas. Reglamento Nacional de Edificaciones. 2012. 4. Ed. Lima: Megabyte.

Norma E.030 Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. 2012. 4. Ed. Lima: Megabyte.

Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Reglamento Nacional de Edificaciones. 2012. 4. Ed. Lima: Megabyte.

Norma E.060 Concreto Armado. Reglamento Nacional de Edificaciones. 2012. 4. Ed. Lima: Megabyte.

Peña, Álvaro. 2004. Proyecto de muros de sótano, sometidos a cargas verticales originadas por pilares de fachada. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

San Bartolomé, Ángel. 1994. Libro "Análisis de Edificios". Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Silva, Daniel y Ipanaque, Gustavo. 2009. Interacción Sísmica Suelo – Estructura en Edificios Aporticados. Piura: Universidad Nacional de Piura.

Tarque, Nicola y Loaiza, Cesar. 2003. Análisis Sísmico de Edificios. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú

U.S. Department of Commerce. National Institute of Standards and Technology. Engineering Laboratory Gaithersburg, MD 20899. September 2012. "Soil-Structure Interaction for Building Structures".

Valderrama, Christian y Meza, José. 2014. "Influencia de la interacción suelo-estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas". Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Vasco, Patricio. 2003. Libro "Guía para Análisis y Diseño Estructural de Edificios de Hormigón Armado".

Villarreal, Genner. 2009. Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Asamblea Nacional de Rectores.

Villarreal, Genner. 2009. Interacción suelo-estructura en edificios altos. Premio Nacional 2006, 2007, 2008. Asamblea Nacional de Rectores.

ANEXO

TURNITIN

Para la presente investigación se solicitó que fuera menor de 25% de similitud y se obtuvo 23%.

REVISIÓN SEMANA 13

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	21%	1%	14%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	5%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	3%
3	www.redsasjl.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	www.um.edu.ar Fuente de Internet	1%
5	myslide.es Fuente de Internet	1%
6	www.cismid.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	eudora.vivienda.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	1%
9	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	1%

Tabla 16. Matriz de consistencia de investigación

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
General	General	General	Dependiente	General	General
¿Cuáles son las características del análisis sísmico de edificaciones con sótano utilizando interacción suelo-estructura?	Determinar las características del análisis sísmico de edificaciones con sótano utilizando interacción suelo-estructura	En el análisis sísmico de un edificio con sótano se debe considerar la interacción suelo estructura para tener en cuenta la flexibilidad del suelo.	Edificio con sótano.	Evaluación de muros de concreto armado con sótano	Norma de Edificación E.030 "Diseño Sismorresistente"
Específicos	Específicos	Específicos	Independiente	Aspectos	Específico
¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico el considerar una base empotrada a nivel de la superficie?	Realizar un análisis sísmico de una estructura considerando un modelo con base empotrada a nivel de la superficie.	Considerando un modelo de un edificio que no considera la estructura del sótano, se obtiene desplazamientos y fuerzas menores comparados con un modelo que incluye interacción suelo-estructura.	Análisis Sísmico	- Edificio con base empotrada a nivel superficial	- Desplazamientos - Fuerzas internas en elementos estructurales
¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico de un edificio, considerar un modelo de base empotrada en la cimentación del sótano?	Realizar un análisis sísmico de una estructura considerando un modelo con base empotrada en la cimentación del sótano.	Considerando un modelo de un edificio con base empotrada en el nivel del sótano se obtiene desplazamientos y fuerzas mayores comparadas con un modelo que incluye interacción suelo-estructura.		- Edificio con base empotrada en la cimentación del sótano	- Desplazamientos - Fuerzas internas en elementos estructurales.
¿Cómo afecta en los resultados del análisis sísmico de un edificio, considerar un modelo incluyendo la interacción suelo estructura a nivel de la cimentación del sótano?	Determinar desplazamientos y esfuerzos internos que se producen en el edificio con sótano cuando se incluye la flexibilidad del suelo en el análisis sísmico	Incluyendo la flexibilidad del suelo en el análisis sísmico hace que la estructura sea más flexible.		- Edificio que incluye interacción suelo estructura a nivel de la cimentación del sótano	- Desplazamientos - Fuerzas internas en elementos estructurales

Fuente: Propia

