



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

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA
ESTRUCTURA CON IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO,
MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PARA UNA
EDIFICACIÓN DE 8 PISOS UBICADO EN EL DISTRITO DE
SAN BORJA – LIMA**

**PRESENTADA POR
MANUEL MUÑOZ FERNÁNDEZ
LYSETH KATYANA TAPARA SOTOMAYOR**

ASESOR

ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO

JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2020



CC BY-NC

Reconocimiento – No comercial

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, y aunque en las nuevas creaciones deban reconocerse la autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.

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



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA
ESTRUCTURA CON IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO,
MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PARA
UNA EDIFICACIÓN DE 8 PISOS UBICADO EN EL
DISTRITO DE SAN BORJA – LIMA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

MUÑOZ FERNANDEZ, MANUEL

TAPARA SOTOMAYOR, LYSETH KATYANA

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, hermanas y hermanos por haber compartido con entusiasmo mis ideales, con paciencia mis tensiones, con mente positiva mis esperanzas y deseos de superación personal.

Muñoz Fernández, Manuel

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a todas las personas que confiaron en mi realización como profesional, a mis padres Celso Tapara y Demetria Sotomayor, a mis hermanos por su infaltable apoyo y su motivación constante para alcanzar mis objetivos en diferentes etapas de mi vida.

Tapara Sotomayor, L. Katyana

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestro asesor de tesis Ing. Moreno Sánchez Javier Daniel por la orientación y los consejos brindados para la realización de la presente tesis.

Asimismo, estamos muy agradecidos con el Ing. Villar Gallardo Ernesto Antonio, por su apoyo brindado y compartir sus conocimientos en la mejora de la presente tesis; el Ing. Oblitas Santa María Juan Manuel, por su orientación durante el desarrollo de la presente tesis.

También, no queremos dejar de agradecer a los ingenieros de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por las enseñanzas y experiencias brindadas para formar la base de nuestro desarrollo profesional.

Los autores

Índice

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Situación problemática.....	19
1.2. Formulación del problema.....	22
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. Objetivo general y específicos	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos	24
1.4. Importancia de la investigación.....	25
1.5. Viabilidad de la investigación	26
1.6. Impacto potencial de la investigación.....	27
1.6.1. Impacto teórico	27
1.6.2. Impacto práctico.....	27
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	29
2.1. Antecedentes de la investigación.....	29
2.1.1. Antecedentes internacionales	29
2.1.2. Antecedentes nacionales	35
2.2. Bases teóricas	38
2.2.1. Irregularidad de piso blando según la norma técnica E-030 de diseño sismorresistente del año 2018	38
2.2.2. Irregularidad de piso blando visto por otras normas técnicas	39
2.2.3. Consideraciones de la norma técnica E-030 de diseño sismo resistente del año 2018	42
2.2.4. Análisis estructural	44
2.2.5. Desempeño estructural	53
2.2.6. Niveles de desempeño estructural	57
2.2.7. Desempeño deseado de la edificación	60
2.3. Definición de términos básicos	61
2.4. Hipótesis	62
2.4.1. Hipótesis General.....	62

2.4.2. Hipótesis Específicos	62
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	64
3.1. Diseño metodológico.....	64
3.1.1. Enfoque.....	64
3.1.2. Tipo	64
3.1.3. Diseño de investigación	64
3.2. Definición de variables	65
3.2.1. Irregularidad de piso blando.....	65
3.2.2. Comportamiento sísmico	65
3.3. Operacionalización de variables	65
3.4. Población y muestra.....	66
3.5. Instrumentos de recolección de datos.....	66
3.6. Técnicas de procesamiento de datos.....	67
CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO	68
4.1. Descripción del edificio de estudio.....	68
4.1.1. Ubicación	68
4.1.2. Dimensiones	69
4.1.3. Configuración estructural	69
4.2. Descripción de material y elementos	70
4.3. Descripción de modelos a evaluar	76
4.4. Asignación de datos para el modelo lineal.....	80
4.4.1. Asignación de elementos	80
4.4.2. Asignación de fuerzas externas	82
4.4.3. Cargas utilizadas.....	91
4.5. Modelos estructurales en el programa ETABS	91
4.6. Análisis estático no lineal <i>pushover</i>	93
CAPÍTULO V RESULTADOS	99
5.1.1. Desplazamientos y derivas	102
5.2. Resultados del modelo no lineal	110
5.2.1. Modelo irregular en el eje Y	110
5.2.2. Modelo irregular en el eje X	116
5.2.3. Modelo regular en el eje Y	121
5.2.4. Modelo regular en el eje X	127
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	134

6.1. Análisis dinámico lineal	134
6.1.1. Variación de rigidez en el eje Y	134
6.1.2. Variación de rigidez en el eje X	135
6.2. Análisis estático no lineal	137
6.2.1. Variación en la curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje Y	137
6.2.2. Variación en la curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje X	141
CONCLUSIONES	146
RECOMENDACIONES	148
FUENTES DE INFORMACIÓN	149
ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Registro de los sismos más importantes del Perú</i>	19
Tabla 2 <i>Nivel de amenaza sísmica</i>	59
Tabla 3 <i>Operacionalización de variables</i>	65
Tabla 4 <i>Características del acero corrugado</i>	72
Tabla 5 <i>Dimensiones de muros estructurales</i>	72
Tabla 6 <i>Detalle de columnas</i>	73
Tabla 7 <i>Detalle de vigas</i>	74
Tabla 8 <i>Detalle de losa</i>	75
Tabla 9: <i>Altura de entrepisos de la estructura irregular</i>	78
Tabla 10 <i>Altura de entrepisos de la estructura regular</i>	79
Tabla 11 <i>Parámetros sísmicos de estructura irregular en el eje Y</i>	83
Tabla 12 <i>Periodos y pseudoaceleración de estructura irregular en el eje Y</i> ...84	
Tabla 13 <i>Parámetros sísmicos de Estructura irregular en el eje X</i>	85
Tabla 14 <i>Periodos y pseudoaceleración de estructura irregular en el eje X</i> ...86	
Tabla 15: <i>Parámetros sísmicos de estructura regular en el eje Y</i>	87
Tabla 16 <i>Periodos y pseudoaceleración de estructura regular en el eje Y</i>	88
Tabla 17 <i>Parámetros sísmicos de estructura regular en el eje X</i>	89
Tabla 18 <i>Períodos y pseudoaceleración de estructura regular en el eje X</i>	90
Tabla 19 <i>Metrado de cargas</i>	91
Tabla 20 <i>Patrones de cargas en estructura irregular</i>	94
Tabla 21 <i>Patrones de cargas en estructura regular</i>	95
Tabla 22 <i>Dimensión de rótula para vigas</i>	96
Tabla 23: <i>Dimensión de rótula para columnas</i>	97
Tabla 24 <i>Conversión de curva de capacidad a formato ADRS</i>	98
Tabla 25 <i>Conversión del espectro al formato ADRS</i>	98
Tabla 26 <i>Verificación de piso blando en estructura irregular en el eje Y</i>	100
Tabla 27 <i>Verificación de piso blando en estructura irregular en el eje X</i>	100
Tabla 28 <i>Verificación de piso blando en estructura regular en el eje Y</i>	101
Tabla 29 <i>Verificación de piso blando en estructura regular en el eje X</i>	102
Tabla 30 <i>Desplazamientos absolutos en estructura irregular en el eje Y</i> ...	102
Tabla 31 <i>Derivas en estructura irregular en el eje Y</i>	103
Tabla 32 <i>Desplazamientos absolutos en estructura irregular en el eje X</i> ...	104

Tabla 33	<i>Derivas en estructura irregular en el eje X</i>	105
Tabla 34	<i>Desplazamientos absolutos en estructura regular en el eje Y</i>	106
Tabla 35	<i>Derivas en estructura regular en el eje Y</i>	107
Tabla 36	<i>Desplazamientos absolutos en estructura regular en el eje X</i>	108
Tabla 37	<i>Derivas en estructura regular en el eje X</i>	109
Tabla 38	<i>Desplazamientos vs. cortantes en estructura irregular en el eje Y</i>	111
Tabla 39	<i>Rigidez lateral de estructura irregular en el eje Y</i>	113
Tabla 40	<i>Sobrerresistencia global de estructura irregular en el eje Y</i>	114
Tabla 41	<i>Ductilidad de estructura irregular en el eje Y</i>	114
Tabla 42	<i>Nivel de diseño sísmica de estructura irregular en el eje Y</i>	114
Tabla 43	<i>Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje Y</i>	115
Tabla 44	<i>Desplazamientos vs Cortantes en estructura irregular en el eje X</i>	117
Tabla 45	<i>Rigidez lateral de estructura irregular en el eje X</i>	118
Tabla 46	<i>Sobrerresistencia global de estructura irregular en el eje X</i>	119
Tabla 47	<i>Ductilidad de estructura irregular en el eje X</i>	119
Tabla 48	<i>Nivel de diseño sísmica de estructura irregular en el eje X</i>	120
Tabla 49	<i>Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje X</i>	121
Tabla 50	<i>Desplazamientos vs cortantes de estructura regular en el eje Y</i> ..	122
Tabla 51	<i>Rigidez lateral de estructura regular en el eje Y</i>	123
Tabla 52	<i>Sobrerresistencia global de estructura regular en el eje Y</i>	124
Tabla 53	<i>Ductilidad de estructura regular en el eje Y</i>	125
Tabla 54	<i>Nivel de diseño sísmica de estructura regular en el eje Y</i>	125
Tabla 55	<i>Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje Y</i>	126
Tabla 56	<i>Desplazamientos vs Cortantes de estructura regular en el eje X</i> .	128
Tabla 57	<i>Rigidez lateral de estructura regular en el eje X</i>	129
Tabla 58	<i>Sobrerresistencia global de estructura regular en el eje X</i>	130
Tabla 59	<i>Ductilidad de estructura regular en el eje X</i>	131
Tabla 60	<i>Nivel de diseño sísmica de estructura regular en el eje X</i>	131
Tabla 61	<i>Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje X</i>	132
Tabla 62	<i>Variación de rigidez en el eje Y</i>	134

Tabla 63 <i>Variación de rigidez en el eje X</i>	136
Tabla 64 <i>Desplazamiento vs fuerza cortantes para estructura regular e irregular en el eje Y</i>	137
Tabla 65 <i>Sobrerresistencia global de estructura regular e irregular en el eje Y</i>	138
Tabla 66 <i>Ductilidad de estructura regular e irregular en el eje Y</i>	139
Tabla 67 <i>Niveles de diseño sísmico de estructura regular e irregular en el eje Y</i>	140
Tabla 68 <i>Niveles de desempeño sísmico de estructura regular e irregular en el eje Y</i>	140
Tabla 69 <i>Desplazamiento vs Fuerza cortantes para estructura regular e irregular en el eje X</i>	141
Tabla 70 <i>Sobrerresistencia global de estructura regular e irregular en el eje X</i>	142
Tabla 71 <i>Ductilidad de estructura regular e irregular en el eje X</i>	143
Tabla 72 <i>Niveles de diseño sísmico de estructura regular e irregular en el eje X</i>	144
Tabla 73 <i>Niveles de desempeño sísmico de estructura regular e irregular en el eje X</i>	144

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Mapa temático de los últimos sismos presentados en el Perú	20
<i>Figura 2.</i> Colapso por piso blando en países sísmicos	21
<i>Figura 3.</i> Diagrama de Ishikawa	23
<i>Figura 4.</i> Histograma de viabilidad de la investigación	27
<i>Figura 5.</i> Variación del periodo fundamental con la disminución de la rigidez	30
<i>Figura 6.</i> Variación del desplazamiento máximo promedio con y sin entrepiso	31
<i>Figura 7.</i> Esquemas de los edificios de 5;6;11;12;17 y 18 pisos.....	34
<i>Figura 8.</i> Efectos sobre el piso blando.....	38
<i>Figura 9.</i> Estructura colapsada por falla de piso blando	39
<i>Figura 10.</i> Irregularidad de piso blando para normas de algunos países	42
<i>Figura 11.</i> Curva de esfuerzo vs deformación	45
<i>Figura 12.</i> Diagrama momento - curvatura de secciones de concreto reforzado	47
<i>Figura 13.</i> Procedimiento general <i>pushover</i>	48
<i>Figura 14.</i> Curva de capacidad	51
<i>Figura 15.</i> Transformación de la curva de capacidad al espectro de capacidad.	53
<i>Figura 16.</i> Espectro de capacidad para sismo de diseño por la norma peruana E-030.	55
<i>Figura 17.</i> Conversión del espectro de respuesta de demanda sísmica.....	56
<i>Figura 18.</i> Intersección de Espectro de capacidad con el espectro de demanda	57
<i>Figura 19.</i> Estados de daño y niveles de desempeño.	59
<i>Figura 20.</i> Nivel de desempeño sísmico vs nivel de diseño sísmico	60
<i>Figura 21.</i> Ubicación del edificio en estudio.....	68
<i>Figura 22.</i> Plano de dimensiones del edificio en estudio	69
<i>Figura 23.</i> Vista en planta del proyecto de los pisos típicos.....	70
<i>Figura 24.</i> Módulo de elasticidad del concreto.....	71
<i>Figura 25.</i> Esfuerzo / Deformación del acero.....	71
<i>Figura 26.</i> Vista en planta de elementos estructurales de pisos típicos.....	76

<i>Figura 27.</i> Vista en elevación de estructura regular e irregular	76
<i>Figura 28.</i> Vista en elevación de estructura irregular	77
<i>Figura 29.</i> Vista en elevación de estructura regular	79
<i>Figura 30.</i> Características de la asignación de losas	80
<i>Figura 31.</i> Características de la asignación de columnas	81
<i>Figura 32.</i> Características de la asignación de muros estructurales	81
<i>Figura 33.</i> Características de la asignación de vigas	82
<i>Figura 34.</i> Características de la asignación de patrón de cargas	82
<i>Figura 35.</i> Espectro sísmico de estructura irregular en eje Y	84
<i>Figura 36.</i> Espectro sísmico de estructura irregular en el eje X	86
<i>Figura 37.</i> Espectro sísmico de estructura regular en el eje Y	88
<i>Figura 38.</i> Espectro sísmico de estructura regular en el eje X	90
<i>Figura 39.</i> Vista 3D del edificio irregular	92
<i>Figura 40.</i> Vista 3D del edificio regular	93
<i>Figura 41.</i> Desplazamiento absoluto de estructura irregular en eje Y	103
<i>Figura 42.</i> Derivas de estructura irregular en eje Y	104
<i>Figura 43.</i> Desplazamientos absolutos de estructura irregular en eje X	105
<i>Figura 44.</i> Derivas de estructura irregular en eje X	106
<i>Figura 45.</i> Desplazamientos absolutos en estructura regular en eje Y	107
<i>Figura 46.</i> Derivas de estructura regular en eje Y	108
<i>Figura 47.</i> Desplazamiento absoluto de estructura regular en eje X	109
<i>Figura 48.</i> de estructura regular en eje X	110
<i>Figura 49.</i> Curva de capacidad de estructura irregular en el eje Y	112
<i>Figura 50.</i> Curva de rigidez lateral en estructura irregular en el eje Y	113
<i>Figura 51.</i> Punto de desempeño de estructura irregular en el eje Y	115
<i>Figura 52.</i> Nivel de desempeño sísmico de estructura irregular en el eje Y	116
<i>Figura 53.</i> Curva de capacidad de estructura irregular en el eje X	117
<i>Figura 54.</i> Curva de rigidez lateral en estructura irregular en el eje X	118
<i>Figura 55.</i> Punto de desempeño de estructura irregular en el eje X	120
<i>Figura 56.</i> Nivel de desempeño sísmico de estructura irregular en el eje X	121
<i>Figura 57.</i> Curva de capacidad de estructura regular en el eje Y	122
<i>Figura 58.</i> Curva de rigidez lateral en estructura regular en el eje Y	124

<i>Figura 59.</i> Punto de desempeño sísmico de estructura regular en el eje Y	126
<i>Figura 60.</i> Nivel de desempeño sísmico de estructura regular en el eje Y	.127
<i>Figura 61.</i> Curva de capacidad de estructura regular en el eje X	.....128
<i>Figura 62.</i> Curva de rigidez lateral en estructura regular en el eje X	.....130
<i>Figura 63.</i> Punto de desempeño de estructura regular en el eje X	.....132
<i>Figura 64.</i> Nivel de desempeño sísmico de estructura regular en el eje X	.133
<i>Figura 65.</i> Comparativo de rigidez lateral en estructura regular e irregular en el eje Y	.....135
<i>Figura 66.</i> Comparativo de rigidez lateral en estructura regular e irregular en el eje X	.....136
<i>Figura 67.</i> Comparativo de curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje Y	.....138
<i>Figura 68.</i> Comparativo de ductilidad en la estructura regular e irregular en el eje Y	.....139
<i>Figura 69.</i> Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje Y	.....140
<i>Figura 70.</i> Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje Y	.....141
<i>Figura 71.</i> Comparativo de curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje X	.....142
<i>Figura 72.</i> Comparativo de ductilidad en la estructura regular e irregular en el eje X	.....143
<i>Figura 73.</i> Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje X	.....145
<i>Figura 74.</i> Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje X	.....145

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia	155
Anexo 2 Análisis dinámico lineal	157
Anexo 3 Análisis estático lineal	159
Anexo 4 Plano de localización y ubicación	167
Anexo 5 Plano de estructura E-02	168
Anexo 6 Plano de estructura E-010	169
Anexo 7 Plano de estructura E-011	170
Anexo 8 Plano de estructura E-012	171

RESUMEN

El desempeño estructural de un edificio presenta el riesgo de colapso ante un evento sísmico y puede ser ocasionado por una inadecuada planificación, ejecución y supervisión, por lo que uno de los problemas, en la primera etapa, es la configuración estructural y, el más habitual, la irregularidad de rigidez o de piso blando. Esta investigación evalúa el comportamiento sísmico de una estructura que presenta irregularidad de piso blando con el propósito de cuantificar la respuesta estructural, por lo cual se analiza la rigidez, ductilidad, sobrerresistencia y el punto de desempeño de dicha edificación. Por tanto, su objetivo es determinar la variación del comportamiento sísmico de una estructura con irregularidad de piso blando mediante un análisis estático no lineal. Para el estudio, se utilizan los planos de un edificio de ocho pisos ubicados en el distrito de San Borja. En este, se realiza una modelación tridimensional con el programa ETABS versión 2017.0.1. A partir de un análisis estático no lineal (*pushover*) y siguiendo las recomendaciones de la norma ATC-40, se determina la curva de capacidad, la misma que permite el cálculo de la rigidez, ductilidad y sobrerresistencia de la estructura. También, se define el nivel de desempeño sísmico, considerando la norma ATC41-13. Los resultados obtenidos se comparan con los de una estructura regular a fin de evaluar la variación del comportamiento sísmico en una que presenta irregularidad de piso blando. Como resultado del análisis, se han encontrado las siguientes variaciones: de rigidez, varía de 52.17 % y 56.86 %, en el primer entrepiso, para la dirección X e Y respectivamente; la ductilidad, en 0.19 y 0.29, para las direcciones de análisis X y Y; y la sobrerresistencia, en 32.59% y 26.53 %, para las direcciones de análisis X y Y. El punto de desempeño no varía para la dirección de análisis X; sin embargo, en la dirección de análisis, Y varía de seguridad de vida, en la estructura irregular, a inmediato ocupacional en el edificio regular. Finalmente, para la interpretación de estos resultados, se debe de considerar que la muestra presenta un sistema estructural de placas.

Palabras clave: irregularidad de piso blando, comportamiento sísmico, *pushover*.

ABSTRACT

The structural performance of a building has the risk of collapse in the event of a seismic event and can be caused by inadequate planning, execution and supervision; one of the problems in the first stage, the structural configuration and the most common, the irregularity of rigidity or soft floor. Investigation is evaluating the seismic behavior of a structure that presents soft floor irregularity in order to quantify the structural response, thus evaluating the stiffness, ductility, resistance and the performance point of said building. The objective is to determine the variation of the seismic behavior of a structure with soft floor irregularity, through a non-linear static analysis. For the development, the plans of an 8-story building located in the San Borja district are used, a three-dimensional modeling is done with the ETABS program version 2017.0.1, from a non-linear static analysis (*pushover*) and following the recommendations of the ATC-40 standard, the capacity curve is determined, the same that allows the calculation of the stiffness, ductility and resistance of the structure, the level of seismic performance is also determined taking into account the ATC41-13 standard, the results obtained they are compared with those of a regular structure in order to evaluate the variation of the seismic behavior in a structure that presents irregularity of soft ground. Variations found: Of stiffness of 52.17 % and 56.86 % in the first floor for the X and Y direction respectively, the ductility varies in 0.19 and 0.29 for the X and Y analysis directions, the over-resistance varies in 32.59 and 26.53 for the directions of X and Y analysis, the performance point does not vary for the X analysis direction; however, in the analysis direction Y it varies from life safety in the irregular structure to immediate occupational in the regular building. For the interpretation of these results, it must be taken into account that the sample presents a structural system of plates.

Keywords: soft floor irregularity, seismic behavior, *pushover*.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas de configuración estructural más comunes es la irregularidad de piso blando o también llamado irregularidad de rigidez. Este problema puede afectar el rendimiento general de un edificio en terremotos severos o incluso moderados, lo cual causa, en la edificación, un gran desplazamiento lateral en el piso blando, producido por las cargas muertas y variables provenientes de los pisos superiores. Estos son más rígidos por tener gran cantidad de tabiquería o muros de albañilería, razón por la que produce un gran efecto destructivo, manifestado a través del colapso total o parcial de la edificación.

La presente investigación tiene como objetivo determinar la variación del comportamiento sísmico, de una estructura con irregularidad de piso blando, mediante un análisis estático no lineal con la finalidad de cuantificar la respuesta estructural. Por tanto, se evaluará la rigidez, ductilidad, sobrerresistencia y el punto de desempeño de dicha edificación.

De esta manera, este estudio es importante porque busca evitar pérdidas materiales y humanas, brindar un nivel de seguridad al edificio en estudio frente a un evento sísmico de gran escala, cuantificar la respuesta de este tipo de estructura con esta característica de irregularidad, informar a la sociedad sobre las condiciones de irregularidad de rigidez o piso blando sobre nuevas construcciones y permitir conocer sobre el comportamiento estructural de la edificación ante terremotos severos o incluso moderados. Una vez

obtenidos los resultados del desempeño sísmico de esta edificación, se podrá decidir mantener u optimizar, estructuralmente, la edificación para mejorar su funcionamiento.

En la presente investigación, se realiza el estudio del comportamiento sísmico, a través de un análisis estático no lineal, a una edificación de concreto armada con ocho pisos, ubicada en el distrito de San Borja. Se utiliza el programa ETABS, versión 2017.0.1, para su interpretación y respuesta frente a eventos sísmicos, con la técnica del *pushover*, la cual consiste en aplicar cargas laterales, a una estructura, de manera incremental hasta provocar el colapso, a fin de determinar una curva de capacidad que responda a las características de la edificación. Así, se podrá determinar la ductilidad, sobrerresistencia y rigidez, y se encontrará el punto de desempeño sísmico. Estos serán evaluados a partir de la comparación de los resultados obtenidos de la misma edificación, pero sin presentar la condición de piso blando.

En cuanto a la distribución de los apartados de la investigación, en el primer capítulo, se plantea la problemática, se describen los objetivos, la importancia y la justificación. En el segundo capítulo, se presentan los antecedentes de investigaciones relacionadas a la presente tesis, se definen términos básicos, se explica la teoría necesaria y se formulan las hipótesis. En el tercer capítulo, se explica el diseño de investigación, la población y muestra, los instrumentos, operacionalización de variables y el procedimiento del estudio. En el cuarto capítulo, se desarrolla y detalla el procedimiento para realizar el análisis sísmico estático no lineal *pushover* según la norma ATC-40. En el quinto capítulo, se muestran los resultados obtenidos del análisis sísmico realizados en el anterior acápite. En el sexto capítulo, se presenta la discusión, analizando e interpretando los resultados, en correspondencia con las bases teóricas establecidas. Finalmente, en el apartado final, se realizan las conclusiones, las recomendaciones y se incluyen los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

El territorio peruano, por encontrarse ubicado en el extremo este del Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, concentra la mayor parte de los volcanes activos del mundo. El 90 % de los terremotos más destructivos ocurren en esta zona, de tal manera que nuestro país está expuesto a eventos sísmicos de gran magnitud que, históricamente, han producido daños importantes, tanto materiales como la pérdida de vidas humanas. En la tabla 1, se muestra el registro de los sismos más importantes sucedidos en el Perú.

Tabla 1
Registro de los sismos más importantes del Perú

Siglo	Año	Día	Magnitud	Ciudad afectada
XVIII	1715	22 de agosto	7.0	Arequipa
	1784	13 de mayo	8.4	Arequipa
XIX	1821	10 de julio	7.9	Lima
	1868	13 de agosto	8.6	Arica
XX	1913	28 de julio	7.0	Chala y Mollendo
	1922	11 de octubre	7.4	Arequipa y Mollendo
	1970	31 de mayo	7.8	Callejón de Huaylas
	2001	23 de junio	8.4	Arequipa
	2007	15 de agosto	7.9	Pisco
XXI	2011	24 de agosto	7.0	Pucallpa
	2019	26 de mayo	8.0	Loreto
	2020	19 de abril	4.0	Chilca- Cañete

Fuente: Sifuentes A. (30 de abril del 2020)

Entre estos eventos de gran escala, el más relevante es el terremoto del año 1746, ocurrido el 28 de octubre en la costa peruana, con una magnitud 9.0 MW. La población de Lima de esa época fue afectada, debido a la destrucción de las edificaciones y el posterior tsunami que devastó el Callao. Sin embargo, este no fue el único terremoto: entre uno de los más significativos tenemos el ocurrido en el año 2007, en la ciudad de Pisco, con una magnitud de 8.0 MW, considerado uno de los más destructivos en la historia peruana.

El Instituto Nacional de Defensa Civil documentó que, el terremoto del 2007, sucedido en Pisco, tuvo un amplio alcance, el cual produjo severos daños en Lima, la provincia del Callao, Ica, Ayacucho, Huancavelica y Junín. Además, provocó 596 fallecidos. En el siguiente mapa, se muestra el último sismo registrado en el Perú.

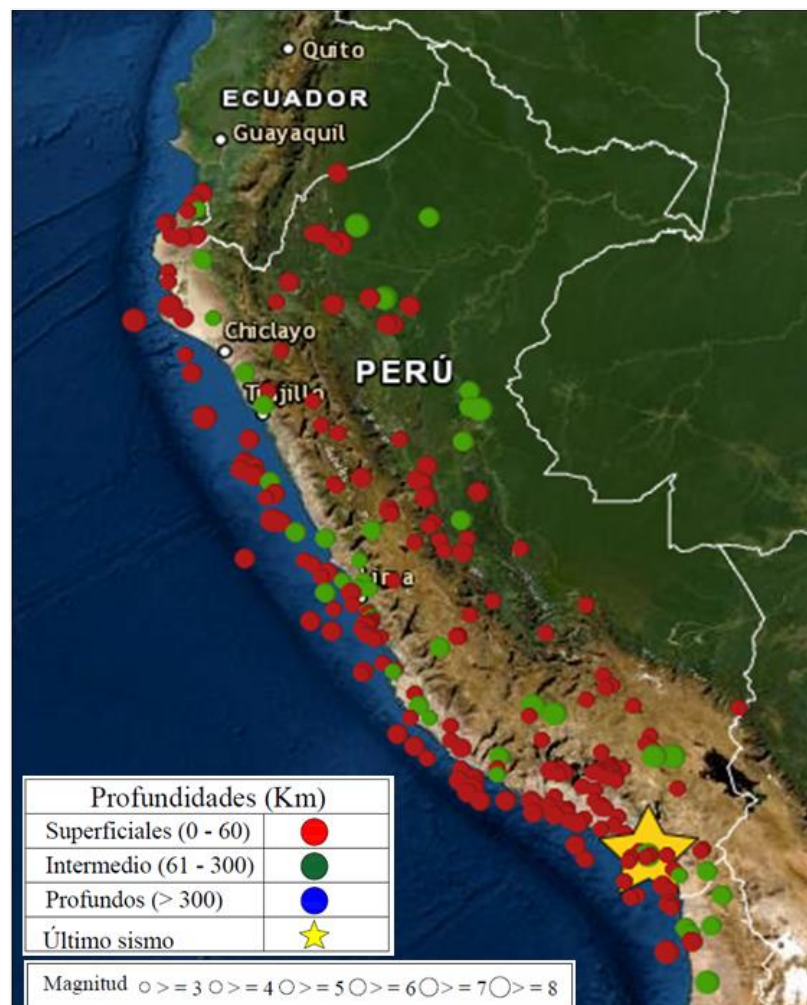


Figura 1. Mapa temático de los últimos sismos presentados en el Perú
Fuente: Adaptado del Instituto Geofísico del Perú – agosto 2020 (IGP)

Debido a estos antecedentes de los últimos terremotos del Perú y del mundo, se ha observado que las irregularidades verticales, a causa del fenómeno del piso blando en las estructuras de los edificios, representan una amenaza para su estabilidad, lo cual cause un colapso en el edificio.

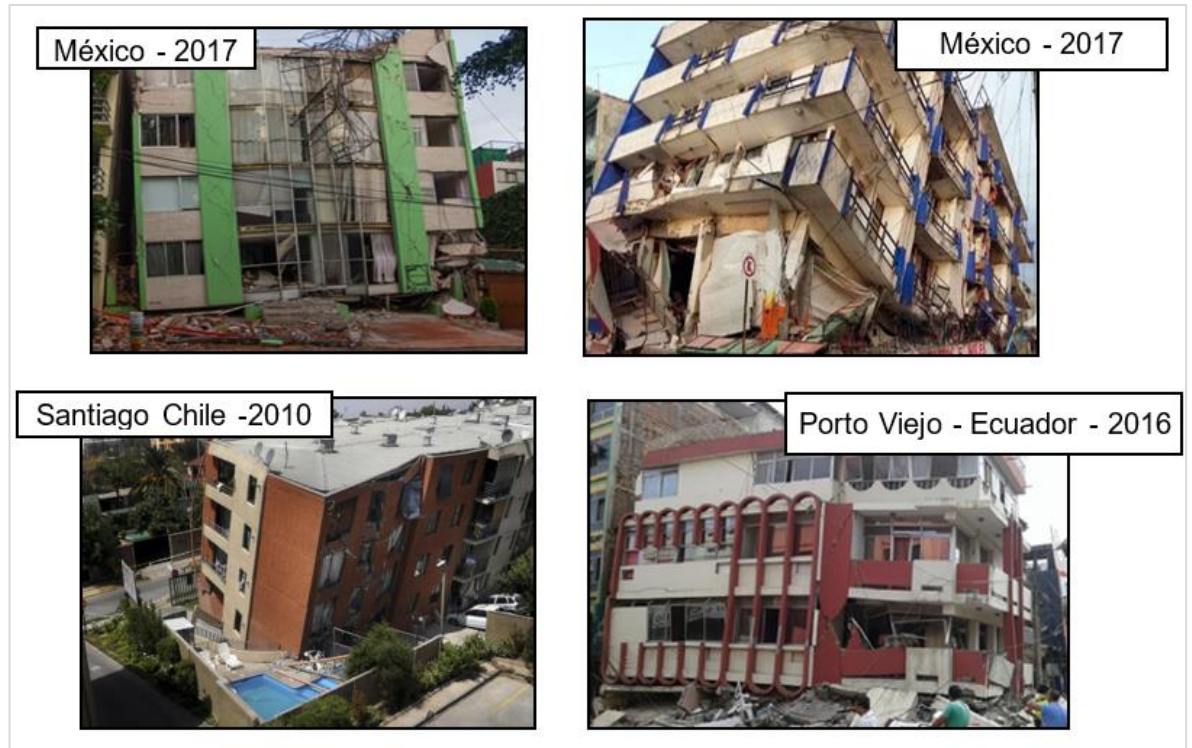


Figura 2. Colapso por piso blando en países sísmicos
Fuente: Adaptado de San Bartolomé (2007)

Asimismo, en la actualidad, los diseños arquitectónicos son cada vez más complejos, lo que demanda nuevas estructuras, las cuales, muchas veces, se elaboran sin considerar irregularidades que pueden presentarse en altura o en planta, las mismas que exigen un análisis complejo y detallado, por encontrarnos en una región altamente sísmica.

El piso débil o blando es una irregularidad que se presenta en la altura del edificio, cuya planta baja está diseñada y destinada para parqueadero vehicular, restaurantes, áreas verdes, *lobbies*, entre otras. Esto significa que existe un cambio brusco de rigidez lateral de un nivel de piso respecto a los pisos adyacentes de la estructura. Asimismo, estos cuentan con columnas y escasa cantidad de muros, mientras que los superiores contienen mayor cantidad de estos, dotándolos de mayor rigidez en comparación con los niveles inferiores. Lo anterior conforma las características importantes del

efecto de piso blando, las cuales son un punto crítico al ser afectadas por un sismo.

Una problemática frecuente, que se ha podido apreciar en las últimas décadas en la construcción de las edificaciones, han sido fallas de estructuras por tener en su diseño piso blando, donde un elemento estructural cesa en su desempeño y deja de funcionar de forma satisfactoria su capacidad resistente (Páez, Rodríguez y Zabala, 2017).

Se sabe que los códigos sismo resistentes de la actualidad pretenden prevenir a las estructuras de colapso; sin embargo, se pueden observar daños importantes en las estructuras diseñadas con normas actuales después de sufrir las fuerzas de un sismo, lo cual provoca pérdidas económicas a los propietarios.

1.2. Formulación del problema

Se realizó una validación externa a cinco expertos en temas estructurales para identificar las causas que generan esta problemática para luego crear el diagrama de Ishikawa e identificar la formulación del problema. Este diagrama se muestra a continuación:

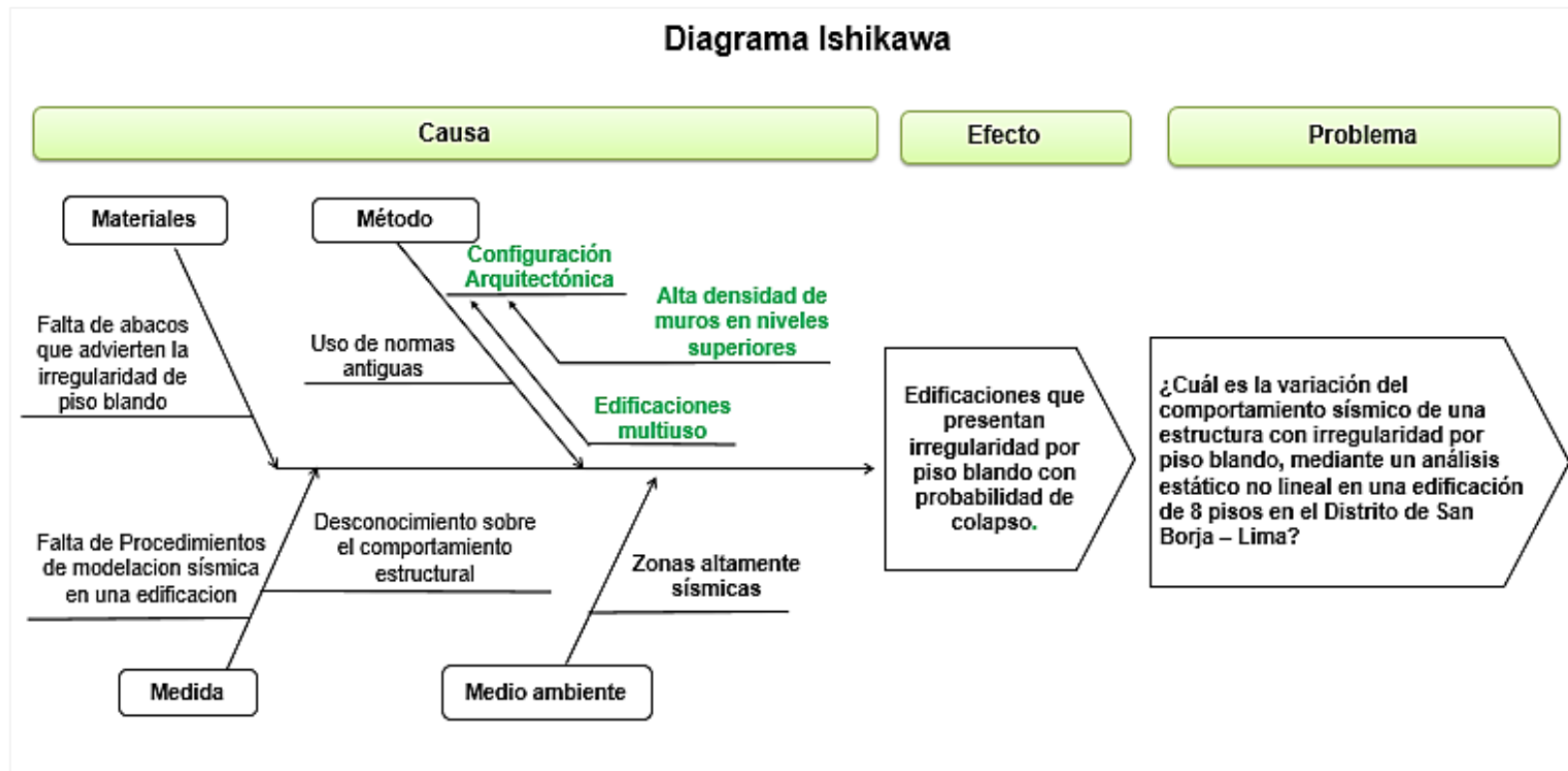


Figura 3. Diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia (2020)

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la variación del comportamiento sísmico de una estructura, con irregularidad por piso blando, mediante un análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la variación de rigidez de una estructura, con irregularidad de piso blando, mediante un análisis estático no lineal de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?
- ¿Cuál es la variación de la ductilidad en una estructura, según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal, en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?
- ¿Cuál es la variación de sobrerresistencia, en una estructura que presenta irregularidad de piso blando, obtenida en el análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?
- ¿Cuál es el nivel de desempeño de una estructura, con y sin irregularidad de piso blando, obtenido del análisis estático no lineal en una edificación 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?

1.3. Objetivo general y específicos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la variación del comportamiento sísmico de una estructura con irregularidad por piso blando, mediante un análisis estático no lineal de una edificación 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de rigidez, de una estructura con irregularidad de piso blando, mediante un análisis estático no lineal de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.
- Determinar la variación de la ductilidad en una estructura según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.

- Determinar la variación de sobrerresistencia en una estructura que presenta irregularidad de piso blando obtenida en el análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.
- Determinar del nivel de desempeño de una estructura con y sin irregularidad de piso blando obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.

1.4. Importancia de la investigación

La región Lima es considerada como una zona de alta actividad sísmica según la Zonificación Sísmica Nacional y cuenta con edificaciones cuyos primeros pisos tienen doble altura, los cuales presentan diversos usos como estacionamiento vehicular, restaurantes, y otros usos de carácter comercial. Así, esta es una característica principal para que se genere un problema de configuración estructural conocido como irregularidad de piso blando. Observando esta realidad, pretendemos evaluar este tipo de edificaciones y determinar el comportamiento sísmico de una estructura que presenta características similares a muchas existentes en la ciudad de Lima.

La importancia de este estudio se debe a los principios universales de salvaguardar la vida de la persona y su integridad física; brindar un nivel de seguridad al edificio en estudio frente a un eventual sismo, considerado de gran magnitud, para cuantificar la respuesta de este tipo de estructura con esta característica de irregularidad, e informar a la sociedad sobre el comportamiento estructural con condiciones de irregularidad de rigidez o piso blando sobres terremotos severos o incluso moderados.

El diseño y uso de edificaciones, con irregularidad de piso blando, es una práctica común que realizan los arquitectos buscando soluciones de espacios, ya que resulta muy beneficioso y rentable contar con esos espacios amplios en la parte baja del edificio, con el fin de ubicar restaurantes, sala de eventos, parqueaderos, entre otros. Sin embargo, desde el punto de vista del suceso de un sismo resistente, este tipo de piso no es recomendado. Debido a esto, las normas sismo resistentes de diferentes países, que están en peligro

sísmico, se están adaptando a mejorar y buscar la manera de evitar estas fallas en el diseño de las edificaciones.

La ingeniería sísmo resistente tiene, en la actualidad, un compromiso importante desde el momento en que se proyecta una edificación. El estudio realizado a la falla por piso blando permite observar que, aun cuando se ha aprendido mucho de las consecuencias de los eventos sísmicos de grandes magnitudes en diferentes países, las edificaciones continúan construyéndose de manera poco adecuada, porque intervienen factores como los cuidados en la construcción, el mantenimiento, la calidad de los materiales, entre otros. Por último, solo nos queda esperar que la ingeniería sísmo resistente logre convencer a la sociedad que la solución y prevención a este tipo de desastres es modificar las técnicas constructivas y diseñar con base en el desempeño sísmico.

A lo largo del tiempo, si comparamos aquellos edificios que colapsaron con los que lograron conservarse, se observa que, ante movimientos sísmicos de intensidades considerables, aquellas edificaciones que carecen de irregularidades en su estructura presentan un mejor comportamiento que aquellas estructuras donde existen secciones irregulares. Por tanto, es evidente que las estructuras que resistieron la eventualidad sísmica del 16 de abril de 2016 contaban con una regularidad en toda su estructura (Páez, Rodríguez y Zabala, 2017, p. 6).

Si bien es cierto que la irregularidad de piso blando, en la actualidad, es un tema conocido y estudiado, existen pocas investigaciones que evalúan la influencia de esta irregularidad mediante de un análisis estático no lineal para edificaciones que presentan irregularidad y sin ella.

1.5. Viabilidad de la investigación

Para establecer si la investigación es viable, se consideró las opiniones de cinco especialistas en estructuras y expertos en docencia universitaria. Dos de ellos indicaron que es viable en tiempo y recursos, mientras que otros tres afirmaron que es viable por presentar un aporte de nivel pregrado. Lo anterior se muestra en la siguiente figura.

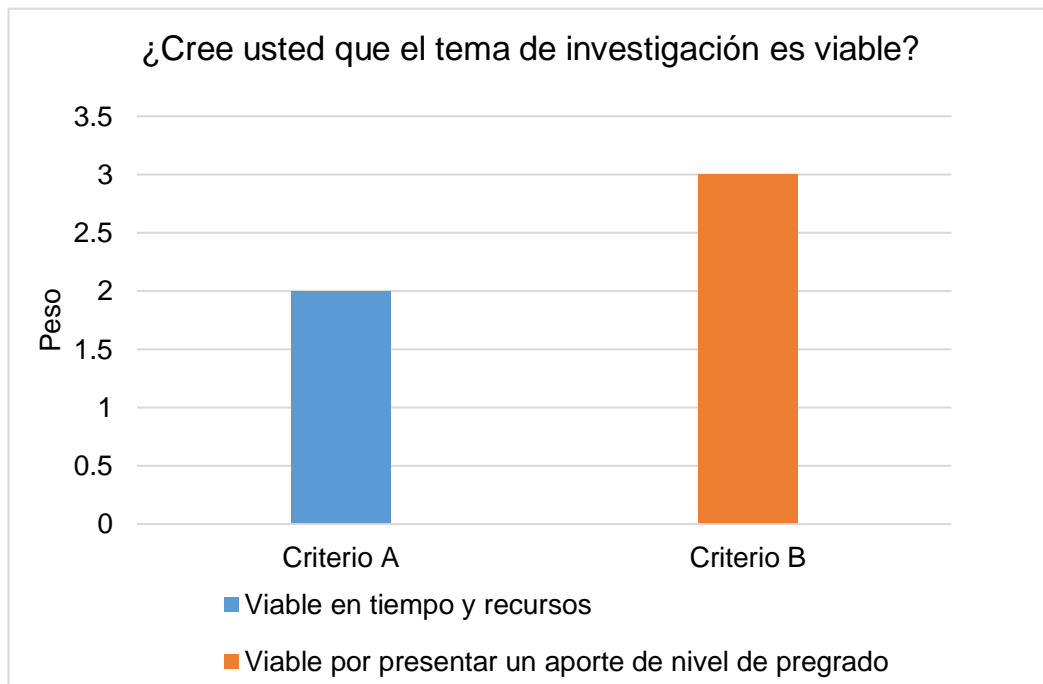


Figura 4. Histograma de viabilidad de la investigación
 Fuente: Elaboración propia – validación externa

1.6. Impacto potencial de la investigación

1.6.1. Impacto teórico

El propósito de la investigación es evaluar el comportamiento sísmico de una edificación con irregularidad de piso blando mediante un análisis estático no lineal.

El aporte de esta tesis estará enfocado, básicamente, en la cuantificación de la respuesta estructural de una edificación que presenta irregularidad de piso blando, por lo que se evaluará la rigidez, ductilidad, sobrerresistencia y el punto de desempeño.

1.6.2. Impacto práctico

Esta tesis beneficia a la sociedad y la comunidad científica, porque realiza una evaluación del comportamiento no lineal de una estructura que presenta irregularidad de piso blando y puede ser utilizado como un antecedente a una investigación más sobre este tipo de estructuras.

Beneficia también a los propietarios y usuarios, debido a que busca salvaguardar la integridad ante cualquier evento sísmico. Una vez obtenidos los resultados del desempeño sísmico de esta edificación, se podrá tomar decisiones de mantener o mejorar estructuralmente la edificación para su mejor funcionamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Páez, Zabala & Rodríguez (2017)

Los autores estudian los daños que las edificaciones han sufrido ante diferentes sismos importantes de América en las últimas décadas. Caracterizan los eventos de manera local y las repercusiones que han tenido en relación con su impacto. Se focaliza el estudio del daño en estructuras con tipo piso débil o blando, las mismas que se caracterizan por la diferencia de sobrerresistencia, rigidez y ductilidad entre los niveles de una edificación. Esta realidad, en el desempeño de las edificaciones durante el tiempo, se la compara con el alto porcentaje de colapso por piso blando de edificaciones por el terremoto de Muisne del 16 de abril del 2016, categorizado como una falla común y causa del colapso de muchas edificaciones.

Fernández Salvador, A., & Subía Carrillo, E. (2014)

En la tesis, comparan el nivel de desempeño estructural de dos edificaciones de concreto armado con sistema estructural de pórtico especial al momento. Una está diseñada según la norma ASCE/SEI 7-10; la otra, con la NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción). Además, toma como muestra una edificación que no presenta irregularidades y cuenta con 15 niveles. Se realizó un análisis estático no lineal, utilizando la técnica del *pushover*,

considerando la norma FEMA 356, por lo que se usó el método de desplazamientos a fin de encontrar el nivel de desempeño sísmico.

González, Aguilar, Narcía & Cruz (2017)

En su investigación, plantean como objetivo principal evaluar los efectos que produce una estructura con irregularidad de piso blando en la ciudad de Chiapas, México. Consideran plantas de 5 modelos estructurales regulares con uno, dos y cuatro niveles en elevación; una cuadrada de 6 metros (m) por 6 metros (m), y las demás de 6 m por 12 m, 6 m por 15 m, 6 m por 24 m y 6 m por 30 m. Para las estructuras de cuatro pisos, se coloca el piso blando en el primer y segundo nivel. El modelamiento se realizó con el programa de análisis estructural SAP 2000 versión 10.0.1 a través del método de elementos finitos.

En mencionado estudio, se desarrollaron 480 corridas computacionales para modelos con tres alturas de entrepiso propias de la zona (2.70 m, 5.40 m y 10.80 m, las alturas). Los desplazamientos absolutos se incrementaron de dos a cinco veces según se aumenta la altura de entrepiso. La demanda de desplazamiento global sufrió un incremento, desde dos y hasta cinco veces. En la figura 5, se puede observar cómo incrementa el periodo de las edificaciones que presentan irregularidad de piso blando respecto a la rigidez.

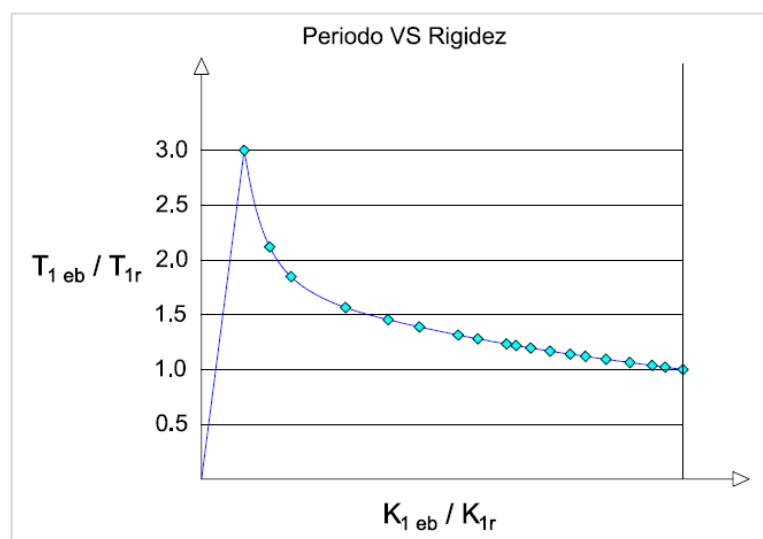


Figura 5. Variación del periodo fundamental con la disminución de la rigidez
Fuente: Adaptado de González H., Narcía L., Cruz D. (2017)

donde:

T_{1be} es el periodo de la estructura con entrepiso blando;

T_{1r} es el periodo de la estructura normal;

K_{1be} es la rigidez de la estructura con entrepiso blando y,

K_{1r} es la rigidez de la estructura normal.

Después de analizar y observar los resultados de los modelos en estudio, se concluye que cuando se coloca un piso blando se flexibiliza la estructura, por lo se presenta un periodo mayor. La demanda de desplazamiento lateral se concentra en el entrepiso blando, provocando que esté presente mayores deformaciones inelásticas. Este, al mismo tiempo, es analizado, de manera inelástica, contra uno similar elástico elaborado para este estudio. En la figura 6, se muestran los efectos de la irregularidad sumados al piso blando, donde se amplifican en más de 2.5 veces.

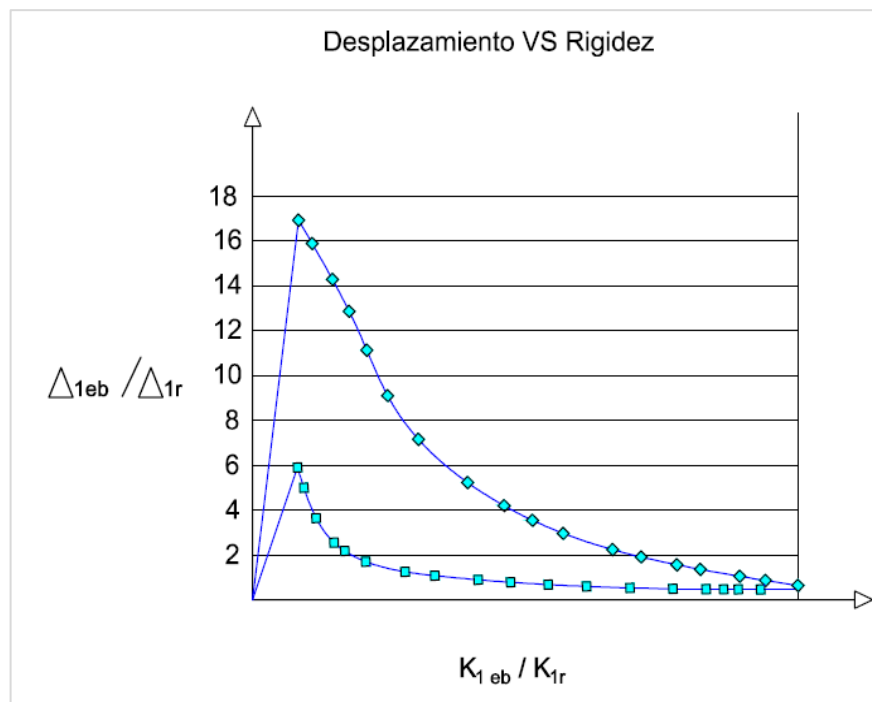


Figura 6. Variación del desplazamiento máximo promedio con y sin entrepiso blando.
Fuente: Adaptado de González H., Narcía L., Cruz D. (2017)

Cuando se presentan grandes deformaciones actuando conjuntamente con cargas axiales, se pueden provocar no linealidades geométricas, además de las no linealidades del material como el efecto P - Δ . La combinación provoca inestabilidad dinámica de la estructura.

Guevara P. (2009)

En esta ponencia, se resume el estudio sistemático que se realizó sobre piso blando y piso débil. Las presencias de estos dos tipos de irregularidades han determinado los deterioros ocasionados por los sismos. Estas han sido comúnmente presentadas en los informes técnicos, en los que se han determinado los deterioros ocasionados por los sismos en los edificios modernos, como factor que influye en el desempeño sísmico de estos y en las decisiones arquitectónicas. Estos dos criterios están relacionados con las características físicas de diferentes tipos de estructuras. Asimismo, los dos conceptos a menudo se confunden y, a veces incluso, se utilizan como sinónimos: el piso blando o piso flexible con la rigidez y el piso débil con la resistencia a las fuerzas producidas por los sismos.

Esta irregularidad, la más común en la arquitectura moderna, suele presentarse en edificios con sistemas estructurales de pórticos, en los que el nivel más bajo, la planta baja (PB), es significativamente más flexible que el resto de los pisos. Cuando en una estructura porticada de concreto armado a las columnas se les adosan componentes rígidos no intencionalmente estructurales —por ejemplo, las paredes de albañilería— se restringe su capacidad de deformación y, por tanto, se modifica el comportamiento estructural del edificio ante fuerzas horizontales.

Si los componentes no estructurales se distribuyen homogéneamente en todos los pisos, al ocurrir un sismo, el desplazamiento total del edificio se realiza de la misma forma. Sin embargo, la falta de estos muros en la PB cambia el comportamiento sísmico del edificio: se genera una gran diferencia entre su flexibilidad y la de los pisos superiores más rígidos con mayor masa, por lo que las columnas del nivel inferior sufrirán una mayor deformación.

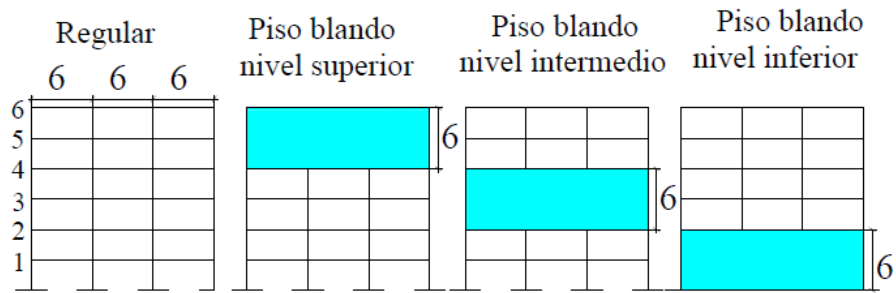
Cuando ocurre un terremoto, la mayor parte de la energía de entrada será absorbida por la parte más flexible y el resto se distribuirá a los pisos superiores más rígidos, lo que producirá como resultado una mayor deformación en el piso inferior.

El sistema estructural y la altura de los entresijos son iguales en un edificio estructuralmente regular, en el cual el sistema estructural no se modifica en ningún piso y la altura entre sus losas es igual. La PB flexible se puede generar cuando, en los pisos superiores, se presentan las siguientes condiciones:

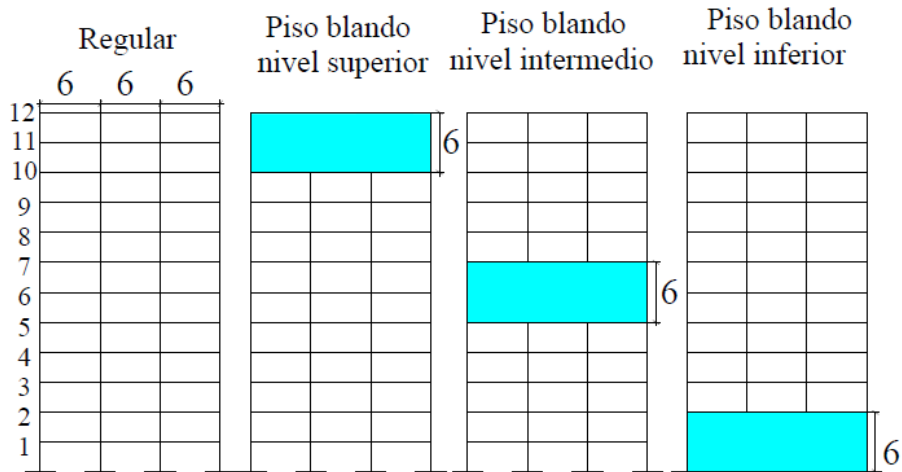
- a. Muros rígidos adosados a los elementos estructurales en los pisos superiores y PB sin dichos muros
- b. Aberturas más abundantes y grandes en los muros externos de la PB que en los pisos superiores
- c. Menos muros interiores que las de los pisos superiores

Cerda, Rivero, & Quintero (2006)

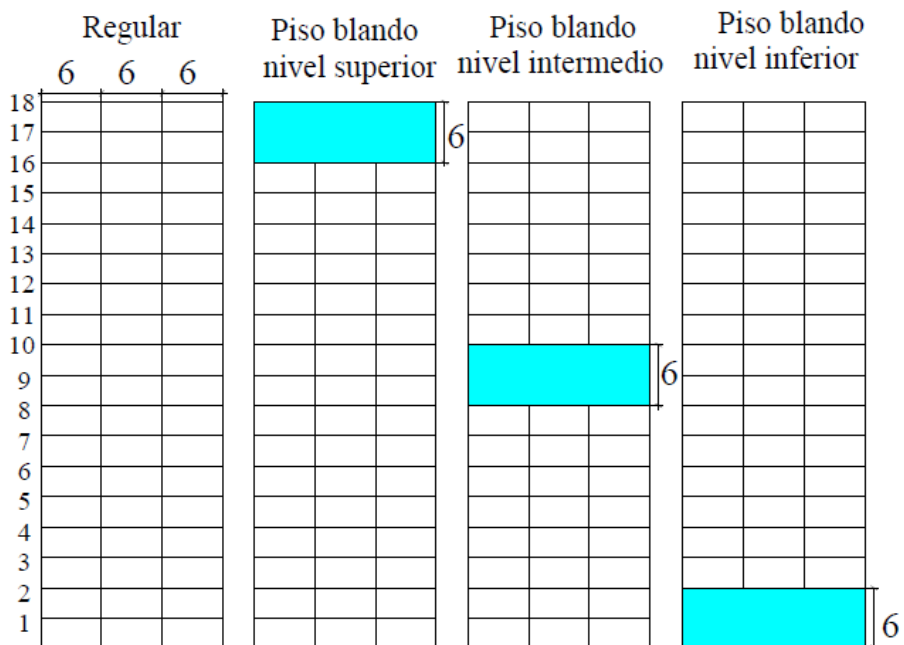
Realizan su investigación a partir de las edificaciones en 3D, las cuales presentan irregularidad de piso blando en diferentes ubicaciones. Se realizó un diseño considerando un factor de reducción de fuerzas sísmicas $R = 6$ y un nivel de diseño ND3. Se realiza la investigación diseñando y analizando doce edificios de concreto armado, con tres alturas diferentes, presentándose, así, los siguientes datos: cuatro edificios de 18 metros, cuatro de 36 metros y otros cuatro de 54 metros. Como se puede observar en la figura 7, se realiza el análisis del comportamiento sísmico para cada estructura y se evalúa la influencia de la irregularidad, en la respuesta general, mediante una comparación con los resultados de los edificios que no presentan irregularidad. Los medios utilizados, para encontrar estos resultados, son el análisis estático no lineal y el análisis dinámico no lineal. Además, cada estructura fue sometida a tres sismos diferentes.



Edificio de 18 m de altura 5 y 6 pisos



Edificio de 36 m de altura 11 y 12 pisos



Edificio de 54 m de altura 17 y 18 pisos

Figura 7. Esquemas de los edificios de 5;6;11;12;17 y 18 pisos
Fuente: Adaptado de Revista Ciencia e Ingeniería.Vol.27 (2006)

Esta investigación concluye que la determinación de la influencia de la irregularidad en estudio se evidencia siempre que se ubique en el primer nivel o en los intermedios. Los valores de deriva siempre son mayores en los pisos donde se presenta irregularidad de piso blando. La presencia de esta, en los últimos niveles, afecta de manera insignificante la respuesta a sollicitaciones sísmicas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Janampa, J. y Fernández, V. (2018)

Se plantean determinar con qué alturas se produce la irregularidad de piso blando, considerándolo como una variable crítica a fin de prevenir el colapso de una estructura. Se estudian diversas normas para definir esta irregularidad. Se evalúan edificios de 3, 5, 9 y 15 niveles; todos presentan vanos de cinco metros de ancho por tres metros de alto en dos direcciones. Se diseñaron, estos modelos valorando las consideraciones del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE).

Para comprobar los resultados, se diseñan con la misma forma arquitectónica y estructural, solamente se cambia la altura del primer piso variándola hasta encontrar los elementos débiles. Se plantea como objetivo conocer el límite de la irregularidad para garantizar que las edificaciones se mantengan en pie.

Por tanto, se concluye que los edificios estudiados de tres, cinco, nueve, y quince pisos, bajo los criterios de determinación de irregularidad de piso blando con la norma de EE. UU. —equivalente a la norma peruana del 2018— son irregulares, ya que presentan alturas en el primer nivel de 4.5, 4.0, 4.5 y 5 metros, respectivamente, y, además, el segundo piso tiene una altura recomendada por el RNE del Perú.

Navarro Cieza, E. (2014)

Presenta, en su tesis, la evaluación del desempeño sísmico de una estructura que cuenta con un sistema dual y, además, tiene cinco niveles. Los niveles de desempeño sísmico fueron tomados del SEAOC (Asociación de

Ingenieros Estructurales de California) y del ATC (Concejo de Tecnología Aplicada) a través del documento brindado por el comité Visión 2000. Se realiza una modelación con ayuda del programa computacional SAP 2000, considerando las características de las secciones y la estructura en general, con la finalidad de conocer el comportamiento no lineal. Asimismo, se realizó la técnica de *pushover* y, así, se determinan las fuerzas cortantes en la base del edificio y los desplazamientos obtenidos de la curva de capacidad. Posteriormente, se confrontan con el espectro de un sismo, clasificado por su periodo de retorno como raro, a fin de obtener el punto de desempeño que está asociado a los niveles sísmicos.

Quinto De La Cruz, J. (2019)

Esta investigación muestra la influencia de la irregularidad de piso blando en la estabilidad de edificios de albañilería confinada. Se usa como instrumento el análisis dinámico que permite determinar las características estructurales que provocan esta irregularidad.

Se encontró, a la irregularidad, como característica de gran influencia para causar los efectos de piso blando a edificaciones cuyo primer nivel tiene mayor altura en 42 % en comparación de la altura promedio de los niveles superiores, como también en estructuras que presentan menor rigidez, en los primeros niveles, y mayor, en los superiores. Así mismo, esto sucede con las edificaciones que presentan menor cantidad de muros en el primer nivel. Finalmente, se determinó que los muros de corte son el medio que mejor favorece ante la búsqueda de contrarrestar esta irregularidad.

Huapaya Huertas, R. (2017)

En esta investigación, se evalúan los indicadores de comportamiento sísmico, para edificios que presentan un sistema estructural de pórticos, mediante un análisis estático no lineal. El objetivo principal de esta tesis es evaluar la resistencia y ductilidad como indicadores del comportamiento sísmico, con el propósito de comprender el comportamiento más realista de las edificaciones y comparar el resultado de la sobrerresistencia con el valor de la norma de diseño sismorresistente E-030.

Para ello, se evaluaron edificios de 3, 6, 9, 12, 15 y 18 pisos. Los resultados de esta investigación muestran que, a medida que el periodo fundamental de una estructura aumenta, la sobrerresistencia también, mas no se puede plantear una tendencia clara, como es el caso de la ductilidad, la cual muestra una tendencia polinómica clara en ambas direcciones de evaluación. Además, a medida que el periodo fundamental aumenta, la ductilidad disminuye. Por otro lado, la capacidad real de la estructura es superior al cortante de diseño que se muestra en la norma E-030.

Choque, J. y Luque, E. (2019)

Presentan, en su tesis, la teoría y la aplicación del diseño basado en el desempeño sísmico de un edificio de ocho niveles en la ciudad de Arequipa. Se plantean dos modelos de estudio basados en dos sistemas estructurales en concreto armado: el primero de pórticos y el segundo de muros estructurales. Esto se determinó con el objetivo de estudiar su comportamiento frente a diferentes niveles de amenaza sísmica.

Los modelos estructurales se establecieron en función de los criterios y requerimientos establecidos por la normativa vigente. El análisis estructural para cargas de gravedad y de sismo se desarrolló en el programa ETABS. Adicionalmente, los modelos se validaron mediante un cálculo manual correspondiente al análisis sísmico modal-espectral utilizando el método de rigideces.

Se realiza un análisis estático no lineal *pushover* siguiendo las recomendaciones indicadas por el ASCE/SEI 41-13. Los modelos y el análisis se desarrollaron en el programa ETABS, de los cuales se obtuvieron las curvas de capacidad de los sistemas estructurales de estudio, así como los mecanismos de formación de rótulas plásticas en sus elementos.

Los requisitos de la NTE E.030-2018 conducen estructuras aporricadas con elementos de grandes dimensiones. La anterior norma (E.030-2016), a través del requisito de irregularidad por rigidez —comparación de derivas—, conduce a secciones muy grandes a diferencia de la actual norma que exige la comparación de rigideces, la cual es más adecuada.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Irregularidad de piso blando según la norma técnica E-030 de diseño sismorresistente del año 2018

Se presenta esta irregularidad cuando al hacer un análisis, ya sea en la dirección X o en la dirección Y, la rigidez lateral de entrepiso es menor que el 70 % de la rigidez lateral del entrepiso superior próximo. Se puede hacer la misma afirmación cuando la rigidez lateral de entrepiso es menos que el 80 % de la rigidez lateral de los tres pisos superiores más cercanos promediados. Estos cálculos pueden realizarse a partir del cociente de fuerza (V) y el desplazamiento (D) correspondiente en el centro de masas. Asimismo, las dos son evaluadas con la misma carga (Norma E-030, 2018, art.19), donde K_i representa la rigidez lateral de entrepiso.

$$K_i < 0.7 K_{(i+1)} \text{ o } \frac{0.8}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

En la figura 8, se observa cómo las fuerzas laterales incursionan en una estructura cuya rigidez, en el primer nivel, es menor con respecto a la rigidez de los pisos superiores inmediatos.

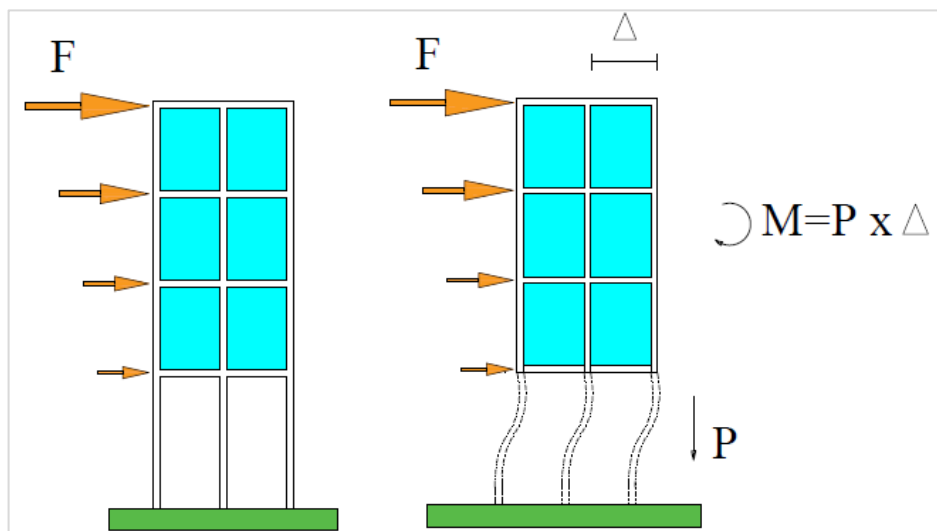


Figura 8. Efectos sobre el piso blando
Fuente: Adaptado de Páez, Zabala & Rodríguez (2017)

Se presenta irregularidad de piso blando en aquellas edificaciones cuya planta baja está diseñada para el uso de parqueadero vehicular, locales

comerciales, áreas verdes, entre otras. Esto ocasiona que las alturas sean dobles o superiores. Además, que existan solamente elementos verticales o columnas en este nivel, mientras que los niveles superiores son diseñados para viviendas que presentan mampostería armada o no, los convierte en estructuras con menor rigidez, siendo lo correcto es lo contrario (Páez, Zabala & Rodríguez 2017).

Cuando se diseña sin tener estas consideraciones y ante la presencia de sismos de regular intensidad, las estructuras pueden colapsar, como se puede evidenciar en la figura 9.



Figura 9. Estructura colapsada por falla de piso blando
Fuente: Adaptado de Páez, Zabala & Rodríguez (2017).

2.2.2. Irregularidad de piso blando visto por otras normas técnicas

El UBC (Código de Construcción Uniforme) y el IBC (Código Internacional de Edificaciones) consideran a la rigidez lateral como principal variable a evaluar para estimar la irregularidad de piso blando. La IBC clasifica las irregularidades de piso blando según el grado de rigidez asignando 1a cuando es menor y 1b para irregularidades de rigidez extrema, considerándola como la más crítica. Así como se muestra en la tabla 2 y, posteriormente en la figura 8, para que se considere irregularidad de piso blando se debe cumplir al menos una de las dos condiciones.

Se muestran las consideraciones que se deben tener en cuenta para determinar que una estructura presenta irregularidad de piso blando en países

expuestos a eventos sísmicos de gran magnitud. Se aprecia la irregularidad de piso blando propuesta por la norma E. 030 – 2003, la cual considera las áreas de las secciones estructurales, y por la E. 030 – 2016 considera derivas.

No se observa la norma actual del E. 030 – 2018; sin embargo, se deduce una similitud con la norma IBC – USA, la cual considera (K_i) rigidez lateral para determinar dicha irregularidad. A continuación, se mostrará la irregularidad de piso blando para normas de diferentes países.

Peruana: E.030-2003

$$\sum A_i < 0.85 \sum A_{i+1}$$

$$\left[\frac{h_i}{h_d} \right] \sum A_i < 0.85 \sum A_{i+1}$$

$$\sum A_i < 0.90 \left[\frac{\sum A_{i+1} + \sum A_{i+2} + \sum A_{i+3}}{3} \right]$$

Peruana: E.030-2016

$$\frac{\Delta_i}{h_i} > 1.4 \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}$$

$$\frac{\Delta_i}{h_i} > 1.25 \left[\frac{\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}}}{3} \right]$$

BC-USA SEAOC

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.90 \left[\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right]$$

México: SEAOC

$$K_{i+1} < 1.5 K_i$$

$$K_i < 0.67 K_{i+1}$$

Colombia: SEAOC

$$0.60 K_{i+1} K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$0.70 \left[\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right] \leq K_i < 0.80 \left[\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right]$$

India SEAOC

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 \left[\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right]$$

SEAOC

$$0.7 \frac{\Delta_i}{h_i} > \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}$$

$$0.8 \frac{\Delta_i}{h_i} > \left[\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}} \right]$$

Nueva Zelanda

$$K_i < 0.70 K_{i+1}$$

$$K_i < 0.80 \left[\frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right]$$

Turquía

$$n_{Ki} > \frac{(\Delta_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1})_{ort}} > 1.5$$

A continuación, se muestran las condiciones de rigidez como características en las edificaciones —para ser consideradas como estructuras que presentan irregularidad de piso blando— en las normas de algunos países considerados de importancia sísmica como EE. UU., Perú, México, Colombia, Nueva Zelanda, India.

En la figura 10, se indica el factor de rigidez establecido, según las fórmulas, para diferentes países.

$$K_i < \gamma_{K1} K_{i+1}$$

$$K_i < \gamma_{K2} \left[\frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3} \right]$$

Donde

K_1 = Rigidez lateral de piso

Δ_1 = Distorsión de entrepiso

$\sum A_1$ = Suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte en un entrepiso

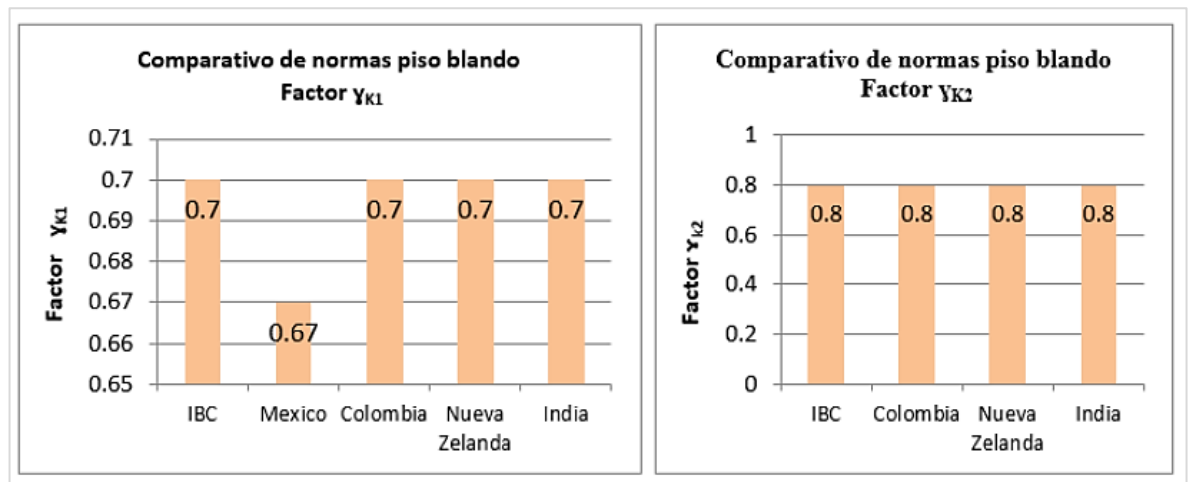


Figura 10. Irregularidad de piso blando para normas de algunos países
Fuente: Janampa, J. y Fernández, V. (2018)

2.2.3. Consideraciones de la norma técnica E-030 de diseño sismo resistente del año 2018

Nuestra norma técnica E-030 de diseño establece una filosofía que fija, como prioridad, asegurar el funcionamiento de los servicios básicos —estos pueden ser de luz y agua—, y evitar pérdidas de vidas humanas —en caso de que hubiera daños en la propiedad deben ser mínimos. Se desarrolla considerando la presencia de un sismo clasificado como raro para el lugar del proyecto, donde las estructuras no deberían colapsar, como también no causar daños de gravedad a las personas que lo habitan; sin embargo, puede presentarlos. La estructura debe presentar agravios capaces de ser reparados

y que se encuentren en el límite de aceptación, ante la presencia de movimientos clasificados como moderados, en el lugar donde se ejecute el proyecto (Norma E-030, 2018, art.19).

Análisis estático con la norma E-030

Se calcula la fuerza cortante basal de la edificación, el cual representará las solicitaciones sísmicas mediante fuerzas que actúan en el centro de masa de la estructura (Norma E-030, 2018, art. 28).

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

Donde:

V= Fuerza cortante en la base de la edificación

Z= Factor asignado por su tipo de zona

U= Factor de uso de edificación

C= Factor de amplificación sísmica

R= Factor de reducción sísmica

P= Carga o peso de la estructura en análisis (Norma E-030,2018, art. 28)

Estructura regular

Son aquellas estructuras que, dentro de su configuración resistente a cargas laterales, no presenta ningún tipo de irregularidades (Norma E-030, 2018, art. 19).

Estructura irregular

Estos problemas de configuración, también llamados irregularidades, pueden ser de planta o altura. Cuando se diseña una estructura sismo resistente, se tiene en cuenta uno de los principios básicos tanto para la distribución en planta, donde se busca la simetría o configuración cuadrada, ovalada o circular, como también la regularidad en la elevación, la más cercana a la rectangularidad. Se obtiene, así, una simetría en volumen y en forma. Esta es una condición para que la estructura presente un comportamiento ideal ante la presencia de fuerzas sísmicas y, si el diseñador

no cumple este principio, la edificación, posiblemente, muestre problemas de colapso, el cual puede ser parcial o total (Páez, Zabala & Rodríguez 2017).

Irregularidad estructural en altura

Estas pueden ser irregularidad de resistencia, de rigidez, de masa, de geométrica vertical y de discontinuidad en los sistemas resistentes. Se establece que las irregularidades en altura no son más que grandes cambios de la rigidez de dos pisos continuos. Ante la presencia de un terremoto, los esfuerzos por disipar energía sísmica se focalizan en los elementos estructurales, que pueden ser principalmente columnas, las mismas que definen la presencia de fenómenos como los de pisos blandos (Pujades, 2003, citado por Páez, Zabala & Rodríguez 2017).

Irregularidad estructural en planta

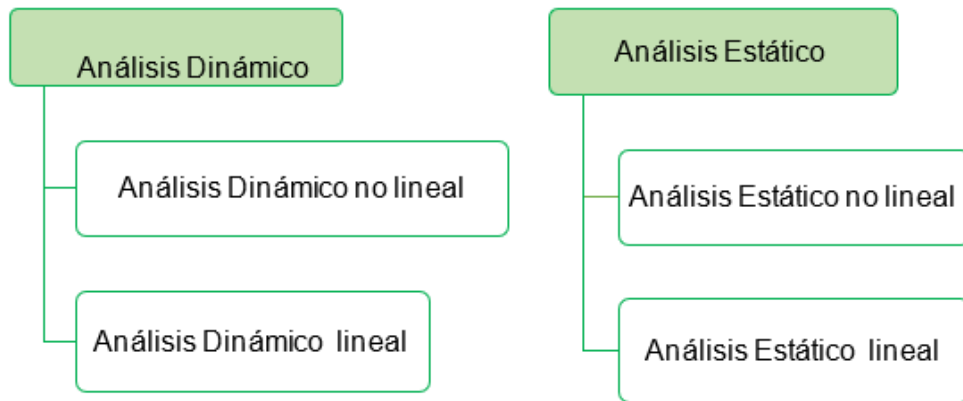
Estas pueden ser irregularidad de esquinas entrantes, discontinuidad del diafragma y sistemas no paralelos, y torsional.

2.2.4. Análisis estructural

Se inicia su desarrollo, como ciencia, a inicios del siglo XIX, en la construcción de naves industriales, puentes y vías ferroviarias. El análisis estructural surge en busca de estructuras económicas, ligeras y seguras.

El análisis estructural, visto como ciencia, se define como la elaboración de métodos de cálculo a fin de determinar características estructurales como la rigidez, sobrerresistencia, fragilidad y ductilidad. Estos brindan al diseñador resultados con los que convertirá una estructura económica y segura.

A través de un análisis estructural, es posible encontrar respuestas acerca de las edificaciones sometidas a patrones de cargas que son equivalentes a fuerzas sísmicas. El análisis estructural puede clasificarse como se presenta a continuación.



Se muestra, en la figura 11, la curva de esfuerzo vs. deformación de los materiales. En ella, se puede evidenciar el comportamiento lineal (deformación elástica) y no lineal (deformación plástica) de los materiales.

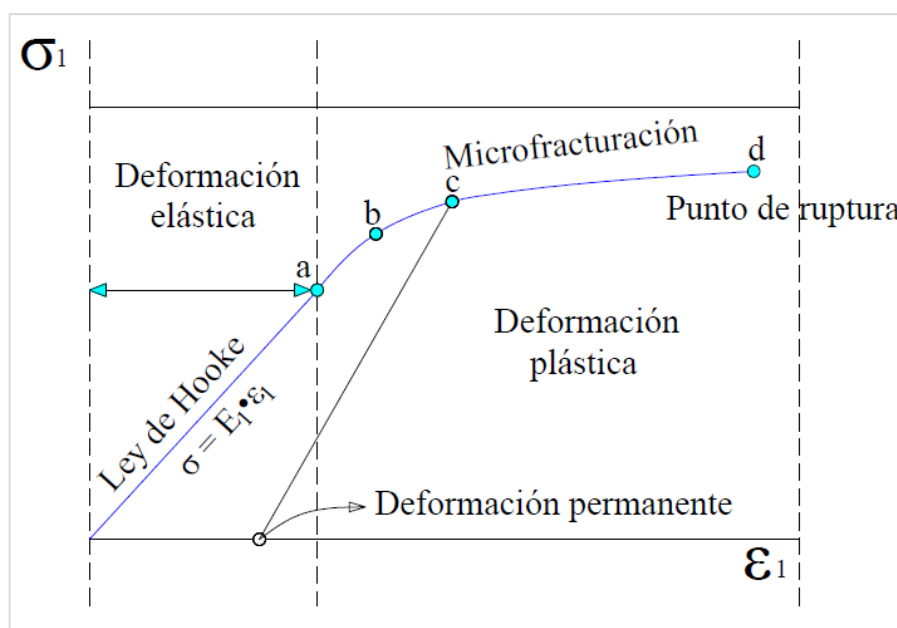


Figura 11. Curva de esfuerzo vs deformación
Fuente: Adaptado de La Rosa & Vila (2019)

a) Análisis estático no lineal

Hacer un análisis estático del comportamiento no lineal de una estructura es un avance más que mejora aquel basado en la teoría lineal. Se le considera como un avance intermedio entre el análisis estático lineal y el dinámico no lineal.

Relación momento vs. curvatura

Esta relación momento vs. curvatura se grafica para comprender, de manera más clara, el comportamiento elástico y plástico de las secciones estructurales cuando se le aplican esfuerzos de diseño. Muestra, también, la forma menos complicada de comprender la ductilidad y sobrerresistencia de las secciones para poder calcular su energía interna representada por el área bajo la curva momento – curvatura, que se divide en dos secciones. La primera representa la energía de deformación acumulada y es el área que se encuentra bajo la zona elástica; la segunda representa la energía disipada causada por deformaciones plásticas y se encuentra debajo de la sección post fluencia.

El objetivo de realizar este gráfico es para conocer el momento último (M_u) que siempre se obtiene cuando el concreto es sometido a esfuerzo de compresión falla, correspondiéndole una máxima curvatura (Φ_u). A cada curvatura, le corresponde un momento. Así, se forma una gráfica de momento – curvatura, donde se puede observar algunas características propias de las secciones de concreto armado. Cuando el acero de las secciones incursiona en su rango plástico, se genera el momento de fluencia (M_y), asignándose junto una curvatura. Obtenida esta relación, se puede calcular la ductilidad de momento (μ_m); por lo tanto, ya se puede indicar si las secciones van a presentar falla frágil o falla dúctil. Asimismo, se puede saber si las vigas y columnas serán capaces de formar rótulas plásticas, las mismas que generan gran cantidad de energía permitiendo la redistribución de momentos en la superestructura a la cual pertenece.

La relación momento vs. curvatura es obtenida de las curvas esfuerzo vs. deformación del acero y el concreto. Esta relación está ligada a la geometría, que es igual a decir el dimensionamiento de vigas, columnas u otras secciones del acero longitudinal y del confinamiento de la sección (Aguiar, 2003, p. 23).

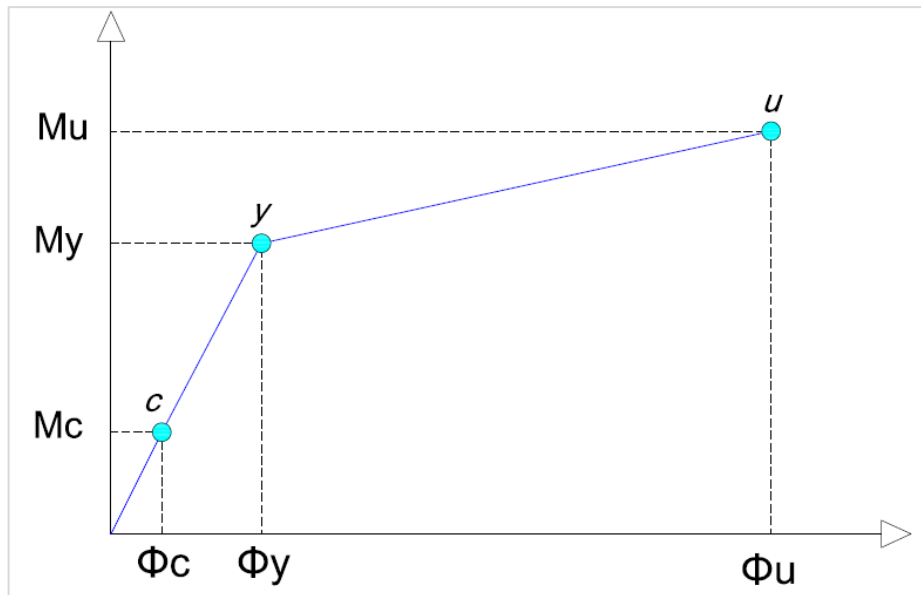


Figura 12. Diagrama momento - curvatura de secciones de concreto reforzado
Fuente: Adaptado de García & Calderón (2018, p. 75)

Donde:

C = Representa el agrietamiento del concreto

Y = Fluencia del acero a tracción

u = Representa la deformación última de las secciones; esta sucede cuando la estructura colapsa y provoca la rotura del acero.

La técnica del *pushover*

Rodríguez, Portillo, y Martínez (2011) indican que los análisis *pushover* están basados en la aplicación lateral de patrones de cargas incrementales y crecientes, y cargas gravitacionales, consideradas como cargas muertas y variables, hasta alcanzar un máximo desplazamiento y fuerza cortante basal de la edificación previamente definida a una estructura en estudio. Con esta técnica, es posible evaluar el comportamiento estructural a través de una curva, donde se observa la cortante basal y los desplazamientos; además, se puede evaluar la rigidez, ductilidad, sobrerresistencia y el punto de desempeño sísmico.

En la figura 13, se puede observar, de manera explícita, cargas laterales que provocan un desplazamiento en la edificación y la respuesta estructural graficada en una curva que considera el cortante basal y el desplazamiento.

Las rótulas plásticas que se le asignen dependerán del tipo de falla que presenten los elementos estructurales. Estos pueden ser a flexión, a cortante o por fuerza axial en elementos diagonales. Se aplica un patrón de cargas laterales junto con la carga gravitacional no lineal (esta se mantiene durante el análisis). La respuesta estructural inicia con un comportamiento elástico junto a una rigidez inicial, después, a medida que se incrementan las fuerzas, los elementos van superando la fluencia, En ese momento, disminuye la resistencia y rigidez. Así, la estructura inicia su comportamiento en el rango inelástico, el cual determina su ductilidad. A medida que se incrementan las cargas laterales, se puede ver cómo se generan las rótulas plásticas hasta llegar al colapso total (Choque & Luque 2019).

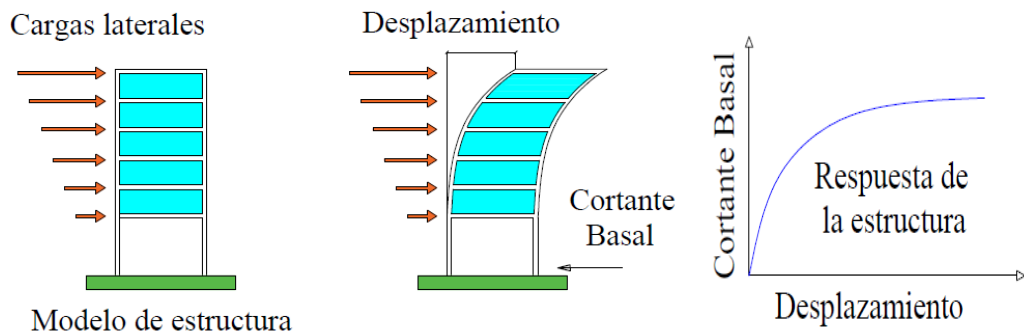


Figura 13. Procedimiento general *pushover*
Fuente: Adaptado de Fernández y Subía (2014)

La técnica del *pushover* transforma un sistema de grados de libertad a un sistema equivalente de un solo grado. A través de esta, se puede encontrar la curva de capacidad, y con ella calcular y evaluar la ductilidad, así como la secuencia de agrietamiento, mecanismos de falla y falla de los elementos estructurales. También, se pueden determinar los estados límites de servicio, la historia de las deformaciones y las fuerzas cortantes de la estructura (Choque, J. F. & Luque, E. D 2019).

b) Procedimiento para aplicar la técnica de *pushover*

Patrón de cargas laterales

Primero, se selecciona el tipo de patrones de cargas monótonicamente crecientes que se van a aplicar, y estos están en función del tipo de estructura.

La Agencia del Manejo de Emergencias Federales (FEMA 356), recomienda aplicar, por lo menos, dos distribuciones verticales de carga lateral, asignándoles el uso de un patrón de cada uno de los dos grupos existentes.

Patrón modal: se les asigna una distribución vertical proporcional a los valores de C_{vx} . Se aplicará este patrón de cargas cuando más del 75 % de la masa total participe en el modo fundamental.

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$$

Donde:

C_{vx} = Factor de distribución vertical de carga

$K = 2.0$ para $T \geq 2.5$ seg. | 1.0 para $T \leq 0.5$ seg.

(Interpolación lineal en valores intermedios de T)

W_x = Porción del peso total de la estructura en el nivel x .

h_x = Altura (en pies) desde la base hasta el nivel x

W_i = Porción del peso total de la estructura en el nivel i

h_i = Altura (en pies) desde la base hasta el nivel i

Se asignará una fuerza lateral proporcional a la forma del modo fundamental en la dirección considerada. Solo se usará esta distribución cuando más del 75 % de la masa total participe en este modo.

Una distribución vertical proporcional a la distribución de la fuerza cortante, calculada mediante la combinación de respuestas modales de un análisis del espectro de respuesta de una estructura, incluye modos suficientes para capturar al menos el 90 % de la masa total del edificio utilizando el espectro de movimiento del suelo apropiado. Esta distribución se usa cuando el período del modo fundamental excede de 1.0 segundo.

Patrón especial

Se le asigna una distribución uniforme colocando fuerzas laterales en cada nivel y estas son proporcionales a la masa total en cada nivel. Esta es una distribución de carga adaptativa que cambia a medida que se desplaza la estructura. Asimismo, se modificará la distribución de carga original utilizando un procedimiento que considera las propiedades de la estructura cedida.

Carga gravitacional

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 41-13) recomienda usar cargas gravitacionales dentro de un análisis no lineal como se indica en la siguiente fórmula, en la cual la carga viva debe ser considerada en 25 %.

$$QG = QD + (0.25) QL$$

Donde:

QG = Es carga gravitacional

QD = Es carga muerta

QL = Es carga viva

Desplazamiento de monitoreo

Para determinar los desplazamientos en estudio, que dependen de la aplicación de cargas incrementales en dirección lateral, se define un punto de monitoreo que coincide con el centro de masa de la edificación. Inicialmente, se debe asumir un desplazamiento que se encuentra en función de la altura de la edificación considerándose así el 10 %.

Rótulas plásticas

Se define a las rótulas plásticas como un punto de la sección estructural, el cual no presenta la capacidad de absorber grandes momentos a flexión, por lo contrario, la sección rota. Este punto se encuentra a una distancia variable, y depende de las propiedades mecánicas de la sección y del tipo de conexión.

Aguilar Falconi (2000), citado por Portillo, Rodríguez y Martínez (2011), menciona que no existe rótula plástica en la realidad; sin embargo, se usa como un instrumento de cálculo en la ingeniería estructural con la finalidad de encontrar fórmulas que faciliten solucionar alguna problemática.

Existen diversas fórmulas que facilitan el cálculo de la distancia que se presenta en la rótula plástica. No obstante, se ha podido observar que se encuentra en las zonas más rígidas de un elemento estructural que se

encuentra en los extremos. El modelo de plasticidad concentrada asume un solo punto donde se concentra el daño y no considera la longitud de este. Para obtener mejores resultados, se puede hacer una modelación de rótulas plásticas mediante un análisis de fibras (Portillo, Rodríguez y Martínez, 2011).

Curva de capacidad

Representa el comportamiento sísmico, de la edificación sometida a cargas, medido desde su desplazamiento del último nivel de la estructura vs. la Fuerza Cortante Basal.

La curva de capacidad está definida como la relación del desplazamiento D vs. la fuerza cortante basal V . La capacidad de las edificaciones para soportar cargas laterales típicamente se expresa mediante una gráfica denominada curva de capacidad. Así, se puede observar algunas características de mucha importancia en la linealidad y no linealidad, iniciando con un tramo elástico hasta encontrarse con el estado de fluencia para luego incursionar en el rango plástico. Posteriormente, llega a la cortante basal máxima y es aquí donde ocurre el colapso de la estructura. Entonces, se afirma que la curva de capacidad muestra la degradación de la resistencia, debido al comportamiento frágil de las secciones que pueden ser vigas, columnas, entre otros (La Rosa y Vila, 2019).

A continuación, se observa la imagen de la curva de capacidad. En la orientación de (x), se coloca la cortante en la base y, en la orientación (y), se representa el recorrido lateral del piso final del edificio.

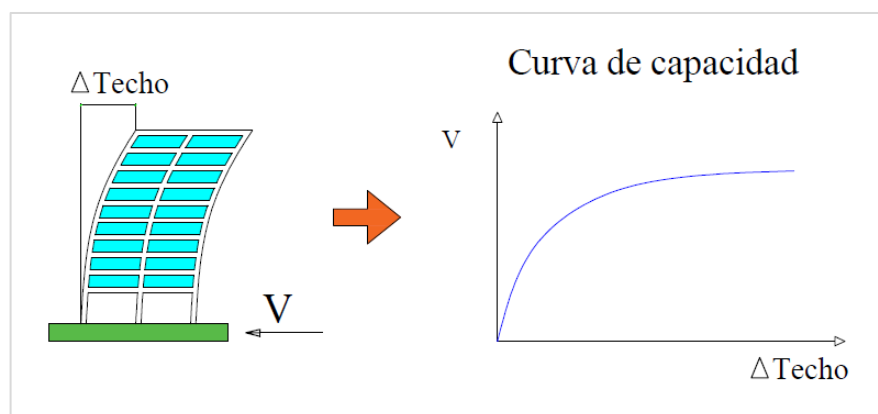


Figura 14. Curva de capacidad
Fuente: Adaptado de Aguilar (2008)

c) Ductilidad

Es definida como la capacidad que tiene un material, estructura o elemento estructural, que puede ser columna, viga, losa u otro, para deformarse inelásticamente, dependiendo, principalmente, del sistema estructural, de las irregularidades que la edificación pueda presentar y de los materiales con los que se construya. La ductilidad del acero de refuerzo es el principal causante del comportamiento dúctil de una sección de concreto armado. Después de superar el límite de elasticidad, se puede lograr grandes deformaciones, los que se pueden estimar a través de la relación desplazamiento último y de fluencia (Choque, J. F. y Luque, E. D. 2019).

$$\mu = DU / DY$$

Donde:

μ es ductilidad
DU es desplazamiento último
DY es desplazamiento de fluencia

d) Sobrerresistencia

Este fenómeno se presenta en la mayoría de las edificaciones o estructuras, y elementos estructurales. Es el incremento de la capacidad más allá del límite elástico que se puede cuantificar mediante la división de fuerzas. Se define la sobrerresistencia de una estructura como el cociente de la fuerza cortante última o del colapso con la fuerza cortante de fluencia efectiva. También, se puede calcular la sobrerresistencia de demanda para un nivel de sismo específico (Choque, J. y Luque, E. 2019).

$$SR = VU / VY$$

Donde:

SR es sobrerresistencia
VU es cortante última
VY es cortante de fluencia

2.2.5. Desempeño estructural

a) Método espectro capacidad

Según Sigmund Freeman (1995), citado por Alcantara & Nalvarte (2016), la técnica espectro capacidad es un procedimiento propuesto por la norma ATC 40. Representa la curva de capacidad en relación con el desplazamiento y las aceleraciones. También, muestra el gráfico a la demanda sísmica, expresada por un espectro de respuesta reducido, con la finalidad de ubicar el punto de rendimiento del edificio cuando se le aplica simulaciones de vibraciones sísmicas de diversas intensidades.

Elaboración de la curva de capacidad

Nos representa la capacidad de una edificación. Establece la correlación entre la carga cortante y el recorrido lateral de una edificación. El análisis de *pushover* requiere la aplicación del modelo de fuerzas contiguas del edificio que se simbolizan por las cargas sísmicas, lo cual aumenta monótonicamente para poder alcanzar la capacidad última de una edificación (Fajardo, 2012).

Transformación de la curva de capacidad al espectro de capacidad

Para realizar el proceso del espectro de capacidad, es indispensable transformar el gráfico de capacidad que se expresa por la carga cortante y el recorrido (relacionado con la fuerza) de la estructura. Debe convertirse en la configuración de desplazamiento – aceleración espectral (formato ADRS) (ver figura 16).



Figura 15. Transformación de la curva de capacidad al espectro de capacidad.
Fuente: Adaptado de Fajardo, 2012

Para la transformación se requieren las siguientes formulas:

Aceleración espectral:

$$S_a = \frac{V/M}{\alpha_1}$$

Desplazamiento espectral:

$$S_d = \frac{\Delta_{tope}}{PF_1 \phi_{tope,1}}$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (\omega_1 \phi_{i,1}) / g}{\sum_{i=1}^N (\omega_1 \phi_{i,1}^2) / g}$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (\omega_1 \phi_{i,1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N (\omega_1) / g] \cdot [\sum_{i=1}^N (\omega_1 \phi_{i,1}^2) / g]}$$

Donde:

PF_1 = Factor de participación modal para el primer modo natural

α_1 = Coeficiente modal a masa para el primer modo natural

g = Aceleración de la gravedad

ω_1 = Peso correspondiente al nivel "i"

$\phi_{i,1}$ = Coeficiente de forma modal del nivel "i" en el modo "1"

V = Fuerza cortante en la base

W = Carga permanente más un porcentaje de la carga viva total del edificio

Δ_{tope} = Desplazamiento en el tope de la estructura

S_a = Aceleración espectral

S_d = Desplazamiento espectral

b) Demanda sísmica

Según la norma peruana E-030 pertenece a un sismo llamado como sismo de diseño. A continuación, los siguientes parámetros:

$$S_{aD} = ZUSC_g$$

Donde:

$Z = 0.4$ (Zona 3, suelo rígido)

$U = 1.0$ (edificaciones comunes)

$S = S1 = 1.0$ (Suelo rígido)

$$C = 2.5 \left[\frac{T_P}{T} \right]; C \leq 2.5$$

S1 = TP=0.4 s

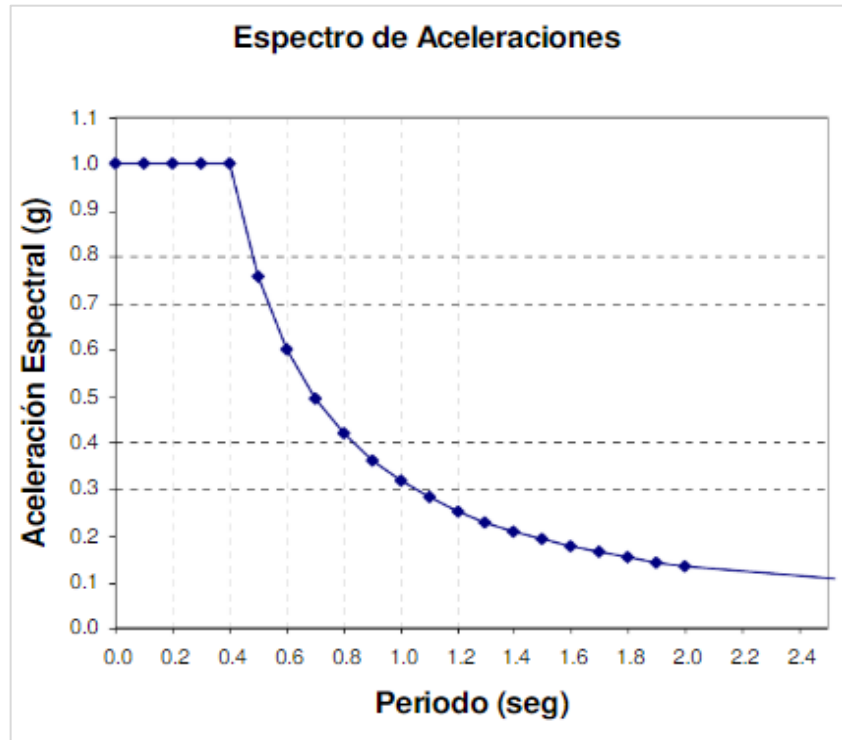


Figura 16. Espectro de capacidad para sismo de diseño por la norma peruana E-030. Fuente: Adaptado de Delgado Alanya, J. E. (2005)

Conversión de la demanda sísmica en espectro de respuesta

A continuación, tenemos el espectro de demanda sísmica. En la configuración del formato ADSR, describimos como el mayor desplazamiento permisible de una edificación bajo un peligro sísmico. Esto se realiza para evaluar el nivel de rendimiento de la edificación.

El estudio de técnica de espectro de capacidad determina el punto de desempeño del edificio que coincide con el espectro de respuesta de demanda definido, para lo cual se ha disminuido por efectos no lineales. Cuando la no linealidad cruza con el espectro de capacidad, su influencia determinará el punto de rendimiento del edificio.

El espectro de demanda es representado por el espectro definido como el sismo en análisis, del cual se obtendrá un periodo de retorno y una aceleración en relación con el nivel de amenaza que se quiere realizar.

El espectro de respuesta que simboliza la demanda, igualmente, debe ser transformado en la configuración de ADRS. Se podrá transformar un espectro de respuesta estándar de S_{ai} , T_i a una configuración semejante a S_{di} , T_i . Se debe establecer cada desplazamiento espectral S_{di} para cada T_i con la siguiente fórmula:

$$S_{di} = \left(\frac{T_i}{2\pi}\right)^2 S_{ai}g$$

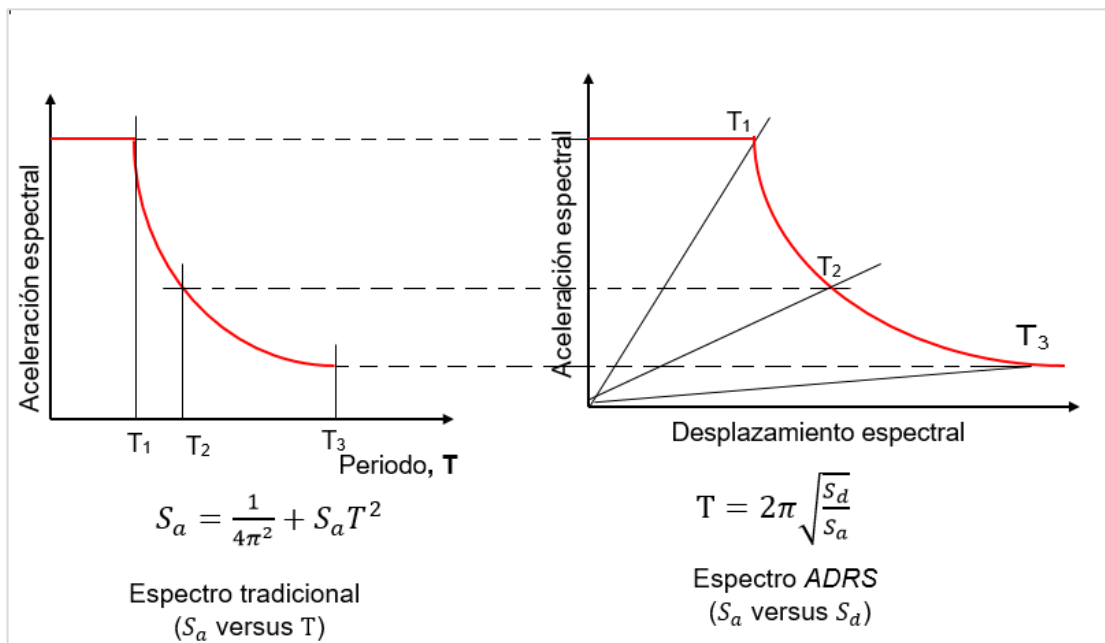


Figura 17. Conversión del espectro de respuesta de demanda sísmica
Fuente: Adaptado de Janampa J. (2016, p. 143).

Intersección de espectro de capacidad con el espectro de demanda

El punto de rendimiento simboliza los desplazamientos estructurales máximos esperados según los requisitos sísmicos especificados.

Notas:

A_{pi} , d_{pi} = Punto de desempeño tentativo

d_1 = Punto de intersección de desplazamiento

El punto de desempeño tentativo a_{pi} d_{pi} es aceptable cuando $0.95 d_{pi} \leq d \leq 1.05 d_{pi}$.

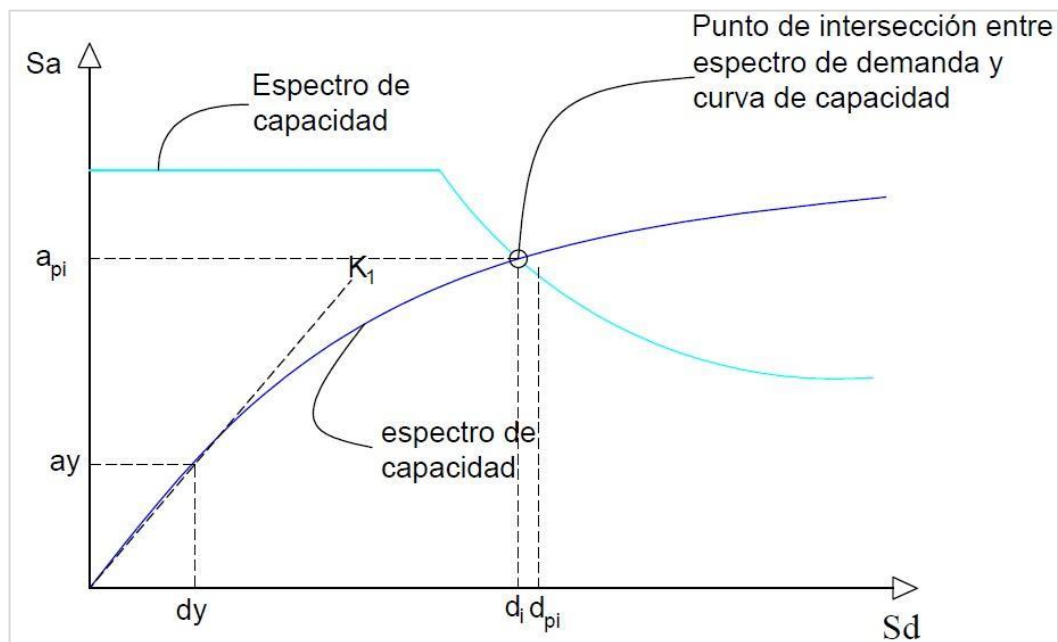


Figura 18. Intersección de Espectro de capacidad con el espectro de demanda
Fuente: Adaptado de Janampa J. (2016, p. 145).

2.2.6. Niveles de desempeño estructural

2.2.6.1. Nivel de desempeño

Representa los límites o las condiciones tolerables establecidas en función del daño físico que pueda sufrir el edificio; el peligro a la protección de los usuarios de la estructura producida por dicho daño, y la función de la estructura ocurrido el sismo. (ATC-40, 1996)

Representa el mayor grado de daño, que tiene presente los componentes estructurales y no estructurales, respecto a la función de la estructura.

2.2.6.2. Niveles de desempeño según el ASCE/SEI 41-13

Totalmente ocupación inmediata

No se produce daño alguno. El efecto sobre las personas que usan las instalaciones es insignificante. La estructura y sus servicios continúan siendo

completamente seguros para los habitantes. Usualmente, no se necesita arreglo o mantenimiento.

Ocupación inmediata

Se producen deterioros módicos en los elementos no estructurales y, en los elementos estructurales, se producen daños leves. El deterioro es reducido y no implica daño en la protección del edificio que deberá mantenerse en condiciones de cumplir sus funciones posteriores a un evento sísmico; no obstante, los deterioros en los componentes no estructurales alcanzan a impedir parcialmente ciertas funciones. Usualmente, se necesitan ciertos arreglos menores.

Seguridad de vida

Se producen deterioros medidos en componentes estructurales y no estructurales de la estructura.

La dureza lateral y la resistencia del sistema se reducen. Será necesaria la suspensión de la instalación de los servicios básicos fuera de servicio, de las rutas de salida de la estructura, y la aplicación de arreglos significativos.

Prevención de colapso

Para este nivel, la reducción de la resistencia y la rigidez lateral del sistema amenaza la estabilidad estructural del colapso, la suspensión de servicios y las rutas de salida. La estructura es completamente inestable para los residentes y el mantenimiento puede no ser económicamente viable

En las referencias anteriores, se mencionan los conceptos de los niveles de desempeño. Se resumen ciertas características relacionadas con estos niveles de rendimiento y su correlación con el periodo de daño.

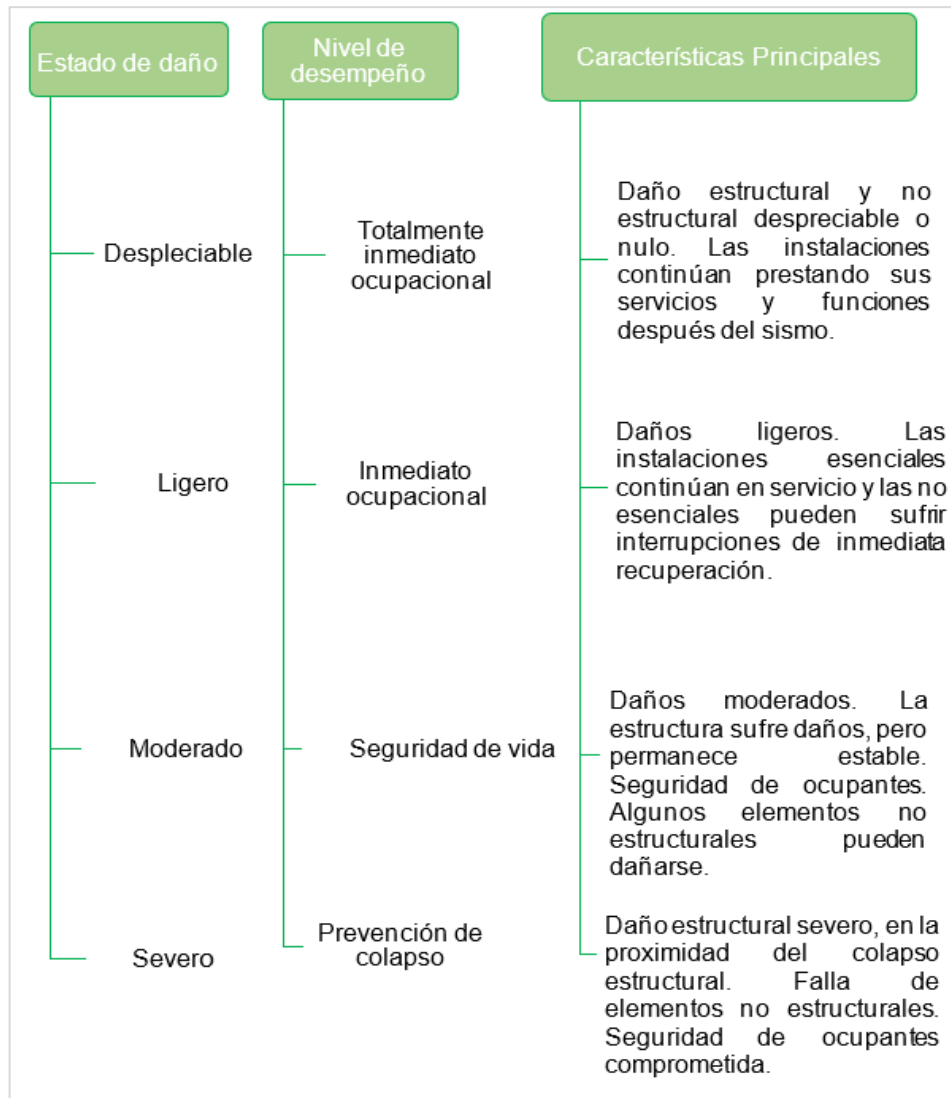


Figura 19. Estados de daño y niveles de desempeño.

Fuente: Adaptado de ASCE 41-13 (2014)

2.2.6.3. Nivel de amenaza sísmica propuesto ASCE 41-13

La siguiente tabla muestra el resumen de movimientos sísmicos de diseño con su frecuencia de ocurrencia y su probabilidad de excedencia.

Tabla 2
Nivel de amenaza sísmica

Movimiento Sísmico de diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Excepcional	950 años	10% en 100 años

Fuente: Adaptado de ASCE 41-13 (2014)

2.2.7. Desempeño deseado de la edificación

El rendimiento deseado del edificio detalla la conducta sísmica y puede considerarse apacible para edificios sujetos a vibraciones sísmicas de distintas magnitudes.

Por otro lado, esta es el término del rendimiento deseado que un edificio idóneo, sometido a un cierto grado de vibraciones sísmicas, debe de lograr. Su elección debe de fundamentar en las características y el tipo de ocupación de la estructura.

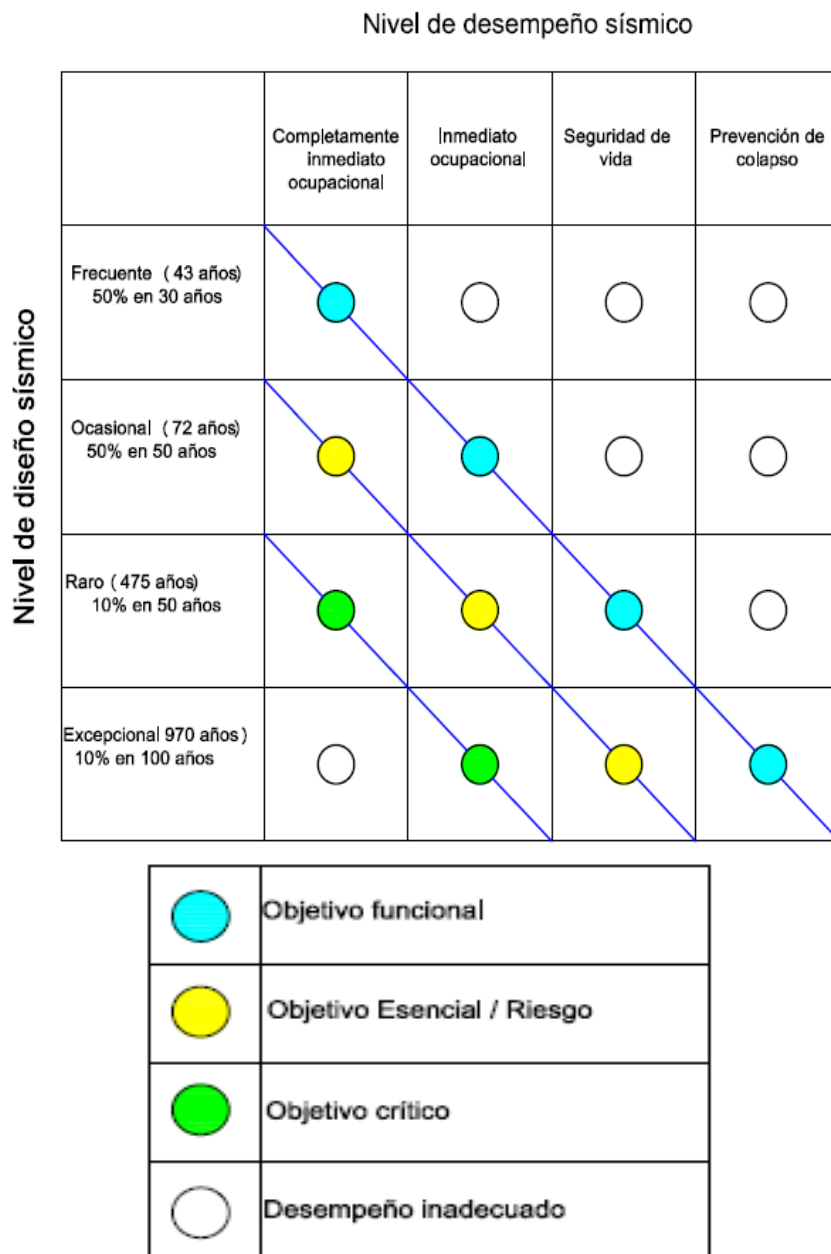


Figura 20. Nivel de desempeño sísmico vs nivel de diseño sísmico
Fuente: Adaptado del Instituto CCIP. (2018)

2.3. Definición de términos básicos

Comportamiento estructural

Es el análisis de la edificación para evaluar la vulnerabilidad ante daños funcionales.

Técnica de *pushover*

Es una técnica de análisis estático no lineal que consiste en aplicar patrones de cargas laterales monotónicamente crecientes hasta que la estructura llegue al colapso. Así, incursiona en el comportamiento no lineal de la estructura y su resultado es la obtención de la curva de capacidad.

Derivas

Es la diferencia del desplazamiento de dos entrepisos divididos entre la altura del piso. También es conocida como distorsión angular de piso (SENCICO, 2018).

Rigidez lateral

La rigidez lateral (K_i) para un entrepiso (i) es la relación entre la fuerza cortante de piso o nivel (V_i) y el desplazamiento relativo del entrepiso (Δ_i).

$$K_i = V_i / \Delta_i$$

Donde:

$$\Delta_i = D_i - D_{i-1}$$

D_i es desplazamiento de entrepiso del nivel en estudio

D_{i-1} es desplazamiento de entrepiso del nivel inferior

Ductilidad

Es la máxima deformación que puede presentar una estructura en el rango inelástico sin llegar al colapso. Es obtenida de la curva de capacidad.

Cortante basal

Es la sumatoria de las fuerzas cortantes de cada piso tomando como valor máximo en la base del edificio (SENCICO, 2018).

Colapso estructural

Desplome de algún elemento que resiste la edificación. Es provocado por alguna fuerza externa o por factores de resistencia y rigidez, lo cual evita cumplir la función para la que ha sido diseñada.

Articulaciones o rótulas plásticas

Se forma en una sección estructural cuando se obtienen altos niveles de deformación sin un incremento notable de las cargas.

Análisis estático

Es el estudio de la respuesta estructural ante la acción de cargas estáticas.

Sistemas estructurales

Es el tipo de sistema con el cual la edificación está construida y es la encargada de soportar las fuerzas de gravedad, sismo o viento a la cual la edificación va ser sometida (Sencico, 2018).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La irregularidad de piso blando influye negativamente en el comportamiento sísmico de una estructura al realizar un análisis no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- La rigidez de la estructura se reduce en un 30 % cuando presentan irregularidad de piso blando según el análisis estático no lineal de una edificación 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.
- La ductilidad de la estructura es menor a 4 cuando presenta irregularidad de piso blando según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.

- La sobrerresistencia de la estructura se reduce en un 10 % cuando presenta irregularidad de piso blando según el análisis estático no lineal de una edificación 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.
- El desempeño sísmico obtenido muestra un nivel de seguridad para estructuras regulares y un nivel de precolapso para estructuras con irregularidad de piso blando, obtenidas del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Enfoque

Es cuantitativo, porque toma datos medibles, ya sea de las características estructurales del edificio como de las características de zonificación, por ejemplo, el tipo de suelo. Además, los resultados también son medibles.

3.1.2. Tipo

Es descriptivo, porque realizaremos un análisis estático no lineal de la estructura en estudio con la finalidad de describir el comportamiento sísmico. Así, se cumple con el propósito u objetivo de esta investigación.

3.1.3. Diseño de investigación

Es no experimental, porque la muestra es un edificio ya construido. Después de terminar el estudio, la muestra no es modificada, ya que no se puede intervenir en sus variables. Además, es transversal, porque la obtención de datos sucede en un determinado momento. Finalmente, es retrospectivo en la medida que utiliza métodos y teorías ya creadas para el procedimiento del análisis sísmico.

3.2. Definición de variables

3.2.1. Irregularidad de piso blando

El piso blando es una irregularidad que se muestra en la altura de una estructura. Significa que existirá un cambio repentino en la rigidez lateral de un nivel de piso respecto a los pisos adyacentes de la estructura. Asimismo, la escasa densidad de muros impide controlar los desplazamientos laterales causados por los terremotos.

3.2.2. Comportamiento sísmico

Consiste en evaluar la conducta de un edificio frente un determinado movimiento sísmico que podría causar daño a una estructura.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de variables

Variable		Variable Independiente	
Indicadores	Índice	Instrumentos	
Irregularidad de piso blando	Rigidez lateral de entrepiso	$K_i < 0.8K_{(i+1)} \text{ o } \left[\frac{0.8}{3}\right] K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}$	-Norma E030 Sismorresistente -Software ETABS
	Deriva	$0.7 \frac{\Delta_i}{h_i} > \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}$ $0.8 \frac{\Delta_i}{h_i} > \left[\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}}\right]$	-SEAOC. - Software ETABS
	Resistencia entre piso	$R_i < 0.8R_{i+1}$	-Norma E030 Sismorresistente - Software ETABS
Variable Dependiente		Variable Independiente	
Indicador	Índice	Instrumentos	
Comportamiento sísmico	Rigidez	Pendiente de la curva de capacidad.	-Norma ATC-40 -Software ETABS
	Ductilidad	$\mu = \frac{Dy}{Du}$	-Norma ATC-40 -Software ETABS

	Sobrerresistencia	Fuerza cortante de la curva de capacidad.	-Norma ATC-40 - Software ETABS
	Nivel de desempeño	Intersección de espectro de capacidad con espectro de demanda sísmica.	- Norma Visión 2000 - Software ETABS

Fuente: Elaboración propia

3.4. Población y muestra

Población

La investigación tiene como población a todas las edificaciones del sistema estructural de placas con uso múltiple que presenten irregularidad de rigidez o piso blando en el primer nivel.

Muestra

Un edificio de 8 pisos de concreto armado de uso múltiple (oficinas y local comercial) ubicado en el distrito de San Borja – Lima

3.5. Instrumentos de recolección de datos

Programa AutoCAD

Es un *software* que se usa para estudiar los planos y entender el proyecto. Se determinarán las características de los materiales para crear un modelo tridimensional en ETABS.

Programa ETABS

Es un *software* que sirve para crear el modelo tridimensional, ingresar los datos referentes a propiedades de los materiales, cargas, coeficientes y definir los tipos de análisis que serán desarrollados por el programa ETABS. Posteriormente, este mostrará los resultados a través de tablas, gráficos y en el propio modelo tridimensional.

Norma E.030 2018

Se utilizará para realizar el análisis estático no lineal de acuerdo con la norma que lo indique. Luego, se evaluarán los resultados conforme a la norma.

Norma ATC-40

Se emplea para realizar el análisis no lineal *pushover* de acuerdo con el procedimiento establecido con la norma que lo indica.

3.6. Técnicas de procesamiento de datos

En la presente investigación se realiza el mismo procedimiento para una estructura que presenta irregularidad de piso blando y para otra estructura regular. En relación a lo anterior, se ejecuta el siguiente procedimiento:

1. Realizar el modelo matemático del edificio para realizar un análisis lineal con el fin de observar si se presenta la irregularidad de piso blando
2. Realizar el diagrama de momento curvatura de cada elemento estructural con la finalidad de aplicar rótulas plásticas
3. Aplicar patrones de carga lateral y gravitacional según la metodología del *pushover*
4. Generar la curva de capacidad de la estructura modelada con análisis no lineal (*pushover*)
5. Comparar los resultados obtenidos de las dos estructuras en relación a la ductilidad, sobrerresistencia, rigidez y desplazamiento
6. Determinar la demanda sísmica
7. Determinar el nivel de desempeño de la estructura según el nivel de daño (sísmico de diseño) empleado
8. Comparar los resultados del desempeño sísmico de una estructura irregular frente a una estructura regular
9. Concluir cómo afecta la irregularidad de piso blando en el comportamiento de la estructura

CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Descripción del edificio de estudio

El siguiente proyecto es una edificación, destinado para oficinas, de 8 pisos.

4.1.1. Ubicación

El edificio de estudio se encuentra ubicado en la av. San Luis n.º 2538 en el distrito de San Borja. Limita con propiedades de uso comercial y con la avenida San Luis, y está ubicada a media cuadra de la avenida San Borja Sur.

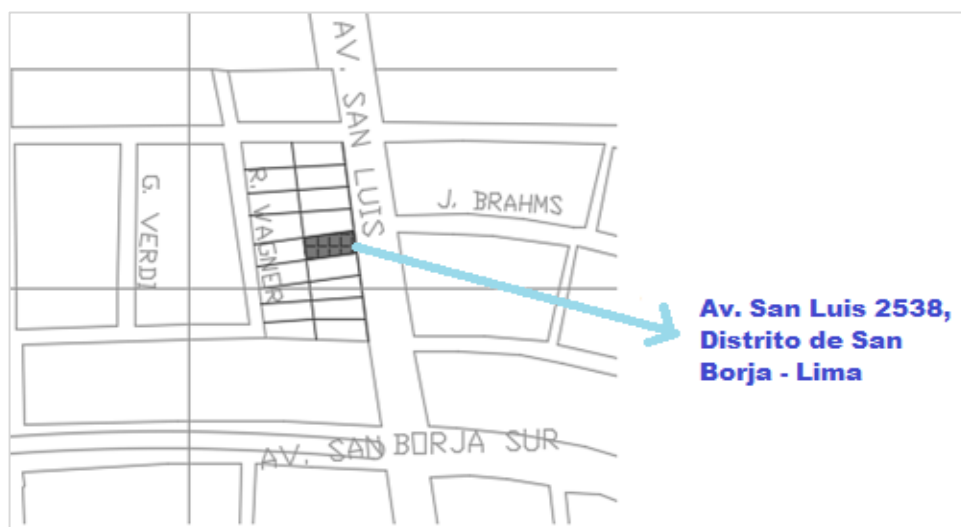


Figura 21. Ubicación del edificio en estudio
Fuente: Planos de constructora Las Viñas S. A. C. (2016)

4.1.2. Dimensiones

El edificio presenta un ancho de 12.00 metros y 30 metros de largo; consta con 8 pisos y 4 sótanos con un área de terreno de 360 00 m².

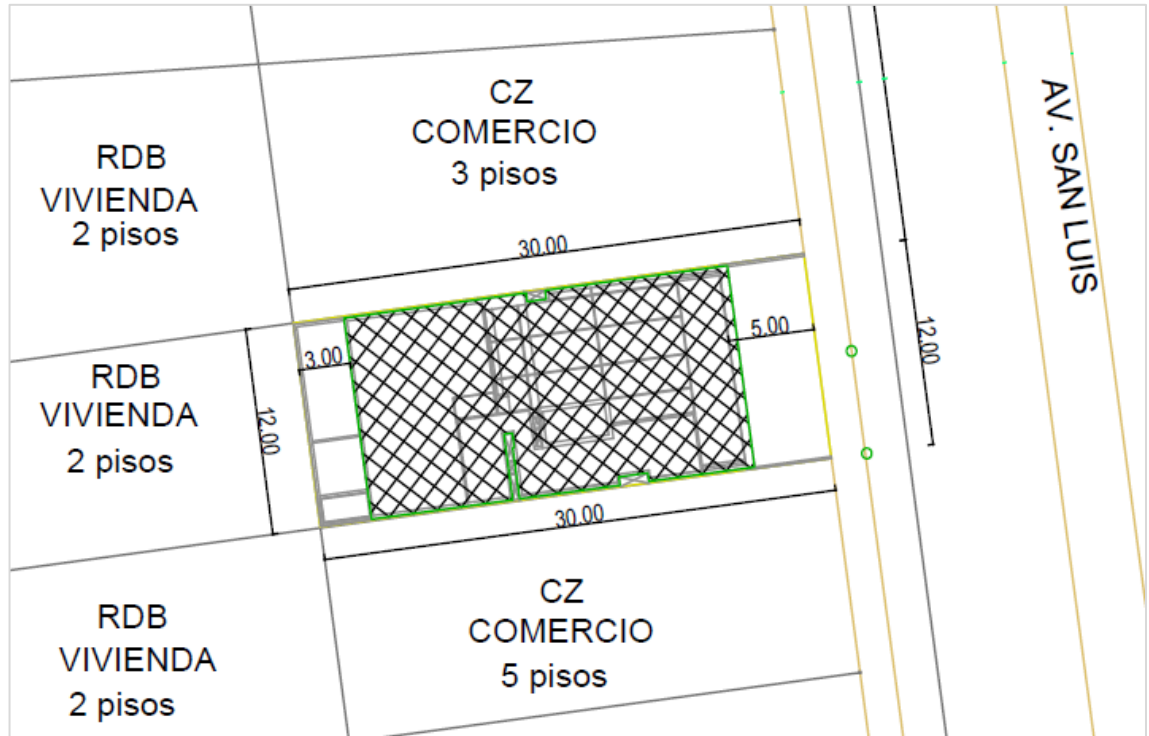


Figura 22. Plano de dimensiones del edificio en estudio
Fuente: Planos de constructora Las Viñas S. A. C. (2016)

4.1.3. Configuración estructural

Número y dirección de los ejes

Doce ejes en el sentido "X" (A; B; C; D; E; F; G; H; I; J; K y L)

Seis ejes en el sentido "Y" (1, 2, 3, 4, 5 y 6)

Tipos de oficina

Oficina tipo 1

Oficina tipo 2

Oficina tipo 3

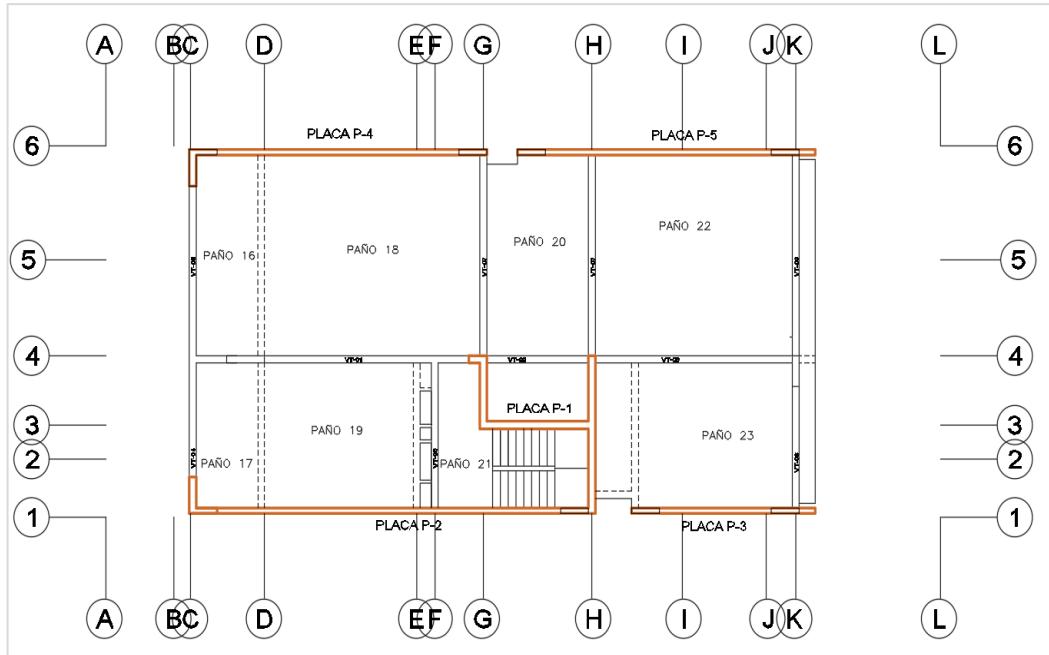


Figura 23. Vista en planta del proyecto de los pisos típicos
Fuente: Planos de constructora Las Viñas S. A. C. (2016)

4.2. Descripción de material y elementos

Concreto $f'c$ 280 kg/cm²

Poisson: 0.2

Peso Específico: 2400 kg/cm³

Módulo de elasticidad según la Norma E.020

$$E = 15000\sqrt{f'c}$$

$$E = 15000\sqrt{280}$$

$$E = 250998.008 \frac{Kg}{cm^2}$$

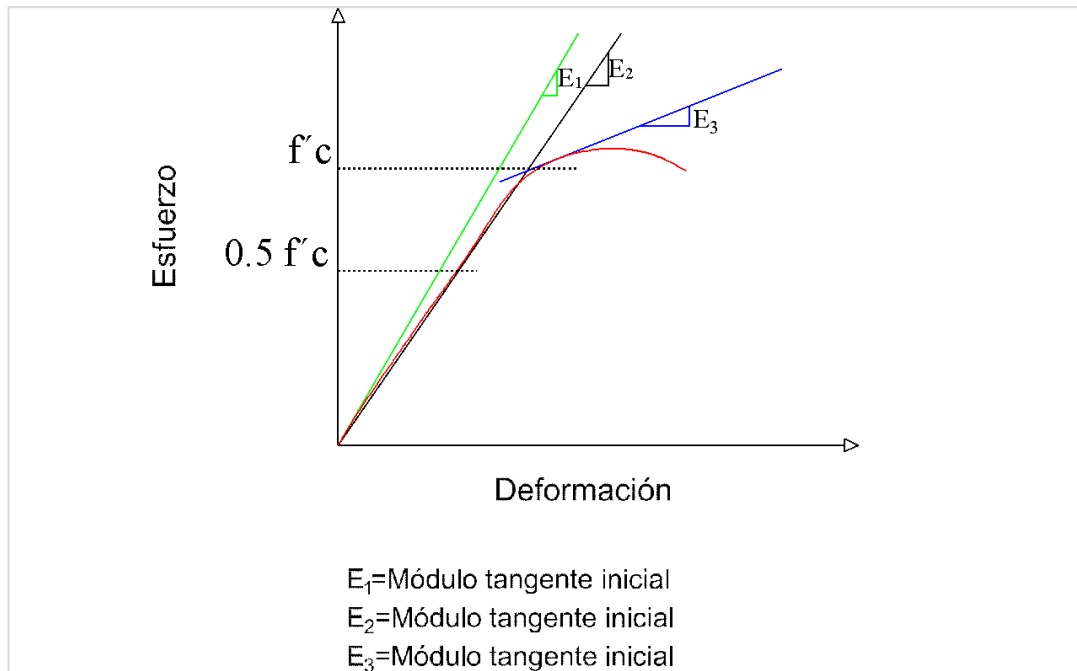


Figura 24. Módulo de elasticidad del concreto
 Fuente: Adaptado de Ottazzi Pasino (2004)

Acero $f_y = 4200 \text{ Kg. /cm}^2$

Módulo de elasticidad según la norma E.20

$$ES = 2 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

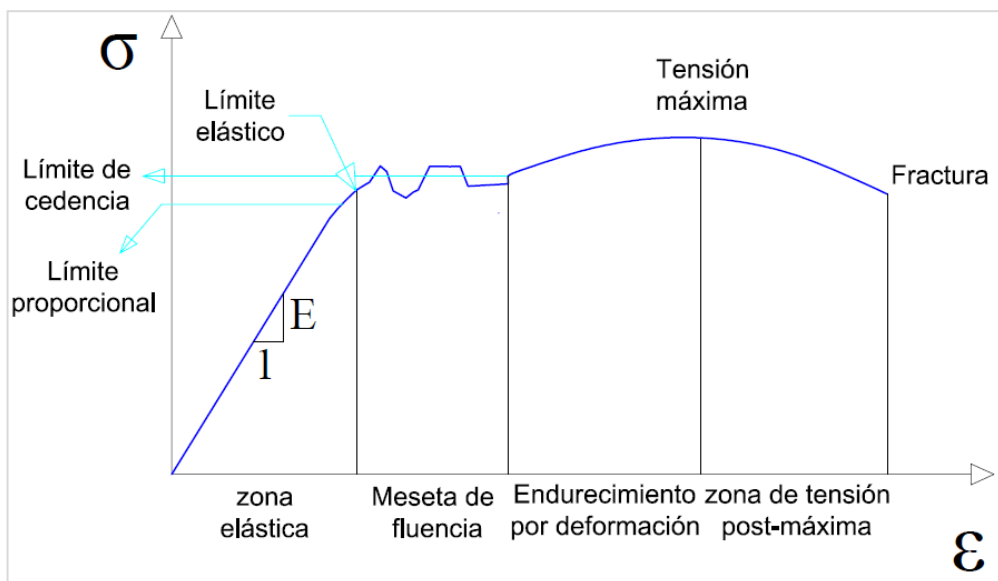


Figura 25. Esfuerzo / Deformación del acero
 Fuente: Adaptado de Celleri Calle, A. (2014).

Tabla 4
Características del acero corrugado

	A (cm ²)	d (cm)	Peso (kg/m)
1/4"	0.32	0.64	0.994
3/8"	0.71	0.95	0.56
1/2"	1.29	1.27	0.994
5/8"	1.99	1.59	1.552
3/4"	2.84	1.91	2.2235
1"	5.1	2.54	3.973
1 3/8"	10.06	3.49	7.907

Fuente: *Manual Aceros Arequipa*

Muros estructurales

La estructura cuenta con cinco muros estructurales laterales en los ejes A – C y en el contorno del ascensor. Para su construcción, se utilizó un concreto de 280 kg/cm².

Tabla 5
Dimensiones de muros estructurales

Tipo de muros estructurales	Ancho	Largo
Placa P-1	Variable	Variable
Placa P-2	0.18	14.35
Placa P-3	0.18	5.97
Placa P-4	0.18	10.70
Placa P-5	0.18	10.12

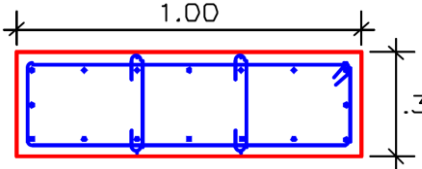
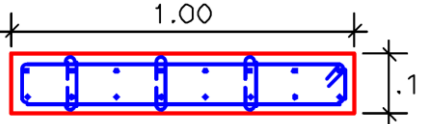
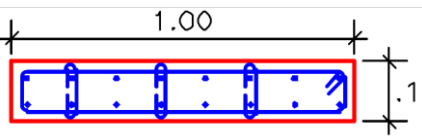
Fuente: Elaboración propia

Columnas

La estructura cuenta con ocho tipos de columnas a continuación el detalle de cada una de ellas.

Tabla 6
Detalle de columnas

Tipo de columna	Ancho (m)	Largo (m)	Ubicación	f'c	Dimensiones
C1	0.25	1.35	Semisótano	280 kg/cm ²	
C1	0.25	1.35	1.er piso	210 kg/cm ²	
C1	0.25	1.35	2.º piso	210 kg/cm ²	
C1	0.25	1.35	3.º piso	210 kg/cm ²	
C1	0.25	1.35	4.º piso	210 kg/cm ²	
C3	0.25	1.00	5.º piso	210 kg/cm ²	
C3	0.25	1.00	6.º piso	210 kg/cm ²	
C3	0.25	1.00	7.º piso	210 kg/cm ²	
C3	0.25	1.00	8.º piso	210 kg/cm ²	
C4	0.25	0.25	Semisótano	210 kg/cm ²	
C5	0.25	0.50	Azotea	210 kg/cm ²	
C6	0.25	0.70	Semisótano	210 kg/cm ²	
C7	0.30	1.00	Semisótano	210 kg/cm ²	
C7	0.175	1.00	1º piso	210 kg/cm ²	
C7	variable	variable	2.º piso al 8.º piso azotea	210 kg/cm ²	

C8	0.30	1.00	Semisótano	210 kg/cm ²	
C8	0.175	1.00	1.º piso 2.º piso 3.º piso	210 kg/cm ²	
C8	0.175	1.00	4.º piso al 8.º piso azotea	210 kg/cm ²	

Fuente: Elaboración propia

Vigas

Cuenta con 44 tipos de vigas. A continuación, se presenta el detalle de cada una de ellas.

Tabla 7
Detalle de vigas

Nombre	Sección (m)	Ubicación	f'c
V-01	0.25X0.70	Azotea	280 kg/cm ²
V-02	0.25X2.35	Azotea	280 kg/cm ²
V-03	0.25X0.70	Azotea	280 kg/cm ²
V-05	0.25X0.70	Azotea	280 kg/cm ²
V-06	0.25X0.70	Azotea	280 kg/cm ²
VA-01	0.40X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-02	0.40X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-03	0.40X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-04	0.25X0.90	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-05	0.25X0.90	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-06	0.25X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-07	0.25X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-08	0.25X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VA-09	0.25X0.55	Piso 8	280 kg/cm ²
VS-104	0.25X VAR.	Semisótano	280 kg/cm ²
VT-01	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-02	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-03	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-04	0.35X0.90	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-05	0.25X0.90	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-06	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280kg/cm ²
VT-07	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²

VT-08	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VT-09	0.25X0.55	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
VST-01	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-02	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-03	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-04	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-09	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-10	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VST-11	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VSS-101	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VSS-102	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VSS-103	0.25X0.55	Semisótano	282 kg/cm ²
VSS-104	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VSS-105	0.25X0.55	Semisótano	282 kg/cm ²
VSS-107	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
VSS-108	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
CORTE 1	0.10X 0.25	Semisótano	280 kg/cm ²
CORTE 2	0.25X0.25	Semisótano	280 kg/cm ²
CORTE 3	0.25X0.55	Semisótano	280 kg/cm ²
CORTE 4	0.25X0.25	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
CORTE 5	1.35X0.25	Piso 1 al 7	280 kg/cm ²
CORTE 6	0.25X0.20	Azotea	280 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Losa

Del semisótano al piso 7, existe losa aligerada y losa maciza (combinadas); en el piso 8, solo losa maciza. Se utilizó un concreto f'c 210 kg/cm².

Tabla 8
Detalle de losa

Tipo	Espesor (m)	Ubicación
Aligerada	0.25	Semisótano, piso 8
Maciza	0.25	Semisótano, pisos 8

Fuente: Elaboración propia

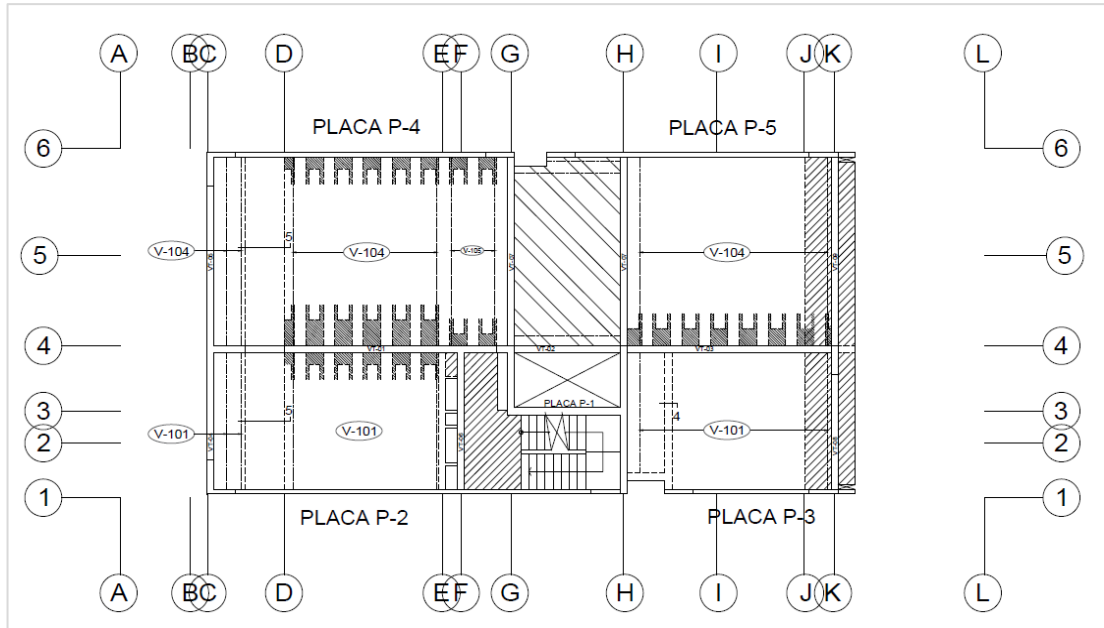


Figura 26. Vista en planta de elementos estructurales de pisos típicos
Fuente: Planos de constructora Las Viñas S. A. C. (2016)

4.3. Descripción de modelos a evaluar

Se consideran dos modelos estructurales para el edificio anteriormente descrito, el cual presenta irregularidad de piso blando ubicado en el primer nivel de la estructura. Partiendo de este, se genera un nuevo modelo que no presenta irregularidad de piso blando. Además, se hacen análisis en direcciones X e Y. La diferencia con mayor importancia, entre las dos estructuras, es la altura en los dos primeros niveles.

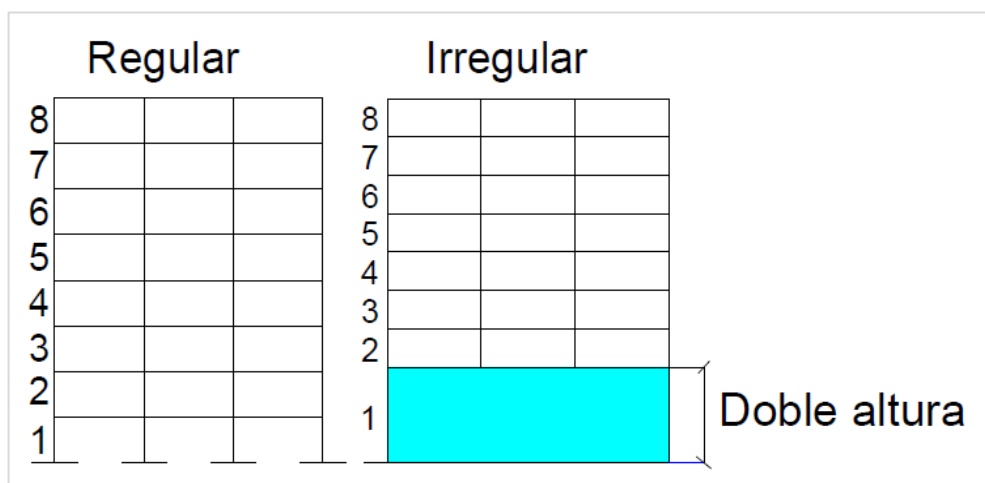


Figura 27. Vista en elevación de estructura regular e irregular
Fuente: Elaboración propia

Estructura irregular

La estructura cuenta con 8 niveles, 1 semisótano y 4 sótanos. El primer nivel tiene un uso comercial y recepción con una altura de 6.20 metros; segundo nivel, una altura de 2.70 metros. Los pisos superiores son típicos y están destinados para el uso de oficinas con una altura de 3.10 metros. Los sótanos y el semisótano tienen uso de estacionamiento con una altura de 2.75 metros. Cuenta con un área edificada de 262.68 m². Tiene un sistema de muros estructurales con una altura de 30.45 metros sobre el nivel del terreno natural.

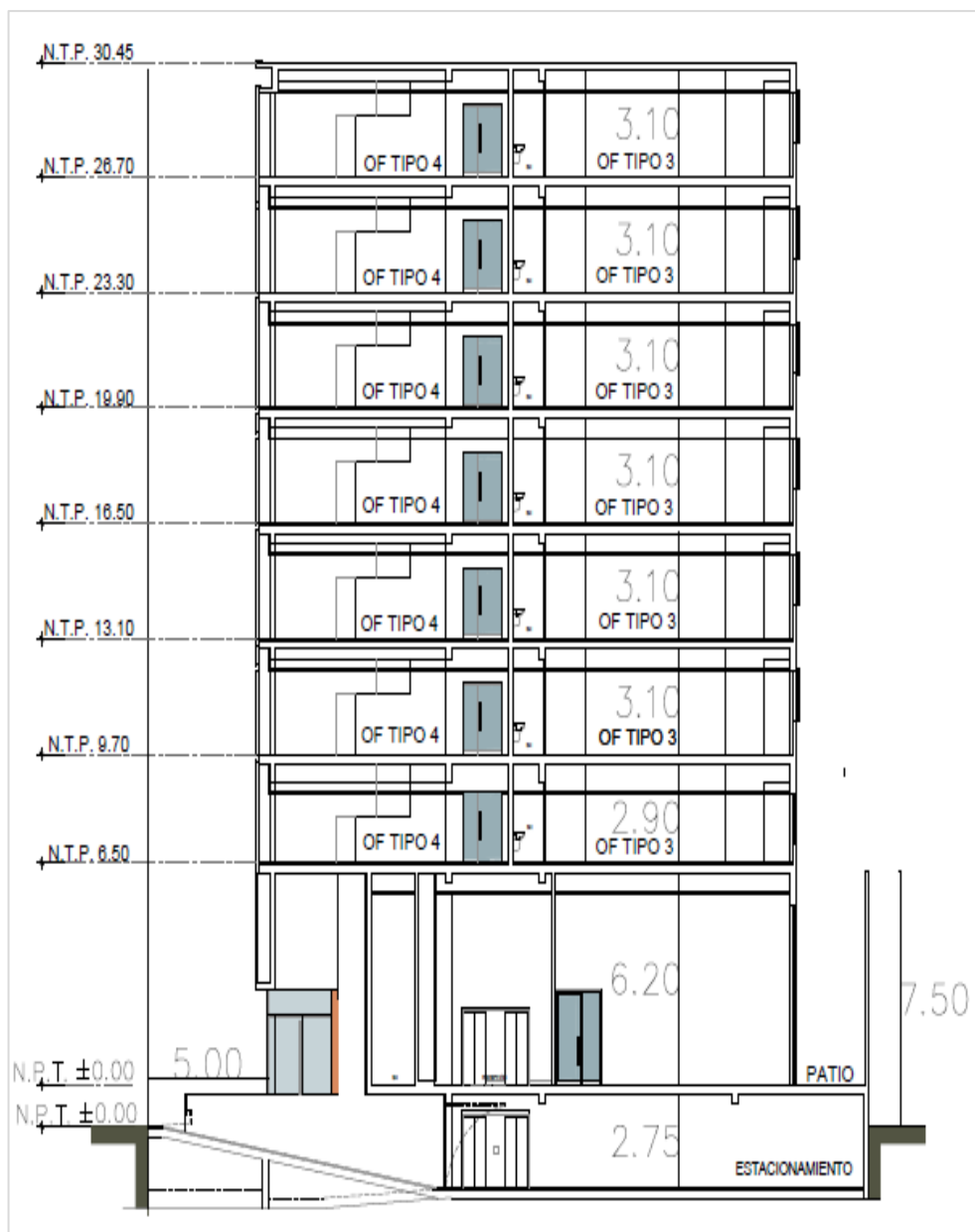


Figura 28. Vista en elevación de estructura irregular
Fuente: Planos de constructora Las Viñas S. A. C. (2016)

Tabla 9:
Altura de entrepisos de la estructura irregular

Resumen		
Pisos	H. entrepiso (m)	NPT (m)
Base	0.00	0.00
Semisótano	2.75	2.75
Piso 1	6.20	8.95
Piso 2	2.90	11.85
Piso 3	3.10	14.95
Piso 4	3.10	18.05
Piso 5	3.10	21.15
Piso 6	3.10	24.25
Piso 7	3.10	27.35
Piso 8	3.10	30.45
Hn	30.45	m

Fuente: Elaboración propia

Estructura regular

La estructura cuenta con 8 niveles, 1 semisótano y 4 sótanos. El primer nivel tiene un uso comercial y cuenta con una recepción de 2.40 metros de altura. El segundo nivel, y los pisos superiores, son típicos y destinan su uso para oficinas. Presenta una altura de 3.10 metros. Además, los sótanos y el semisótano, con una altura de 2.75 metros, se utilizan como estacionamiento.

Asimismo, cuenta con un área edificada de 262.68 m² y tiene un sistema estructural de muros estructurales con una altura de 27.85 metros sobre el nivel de terreno natural.

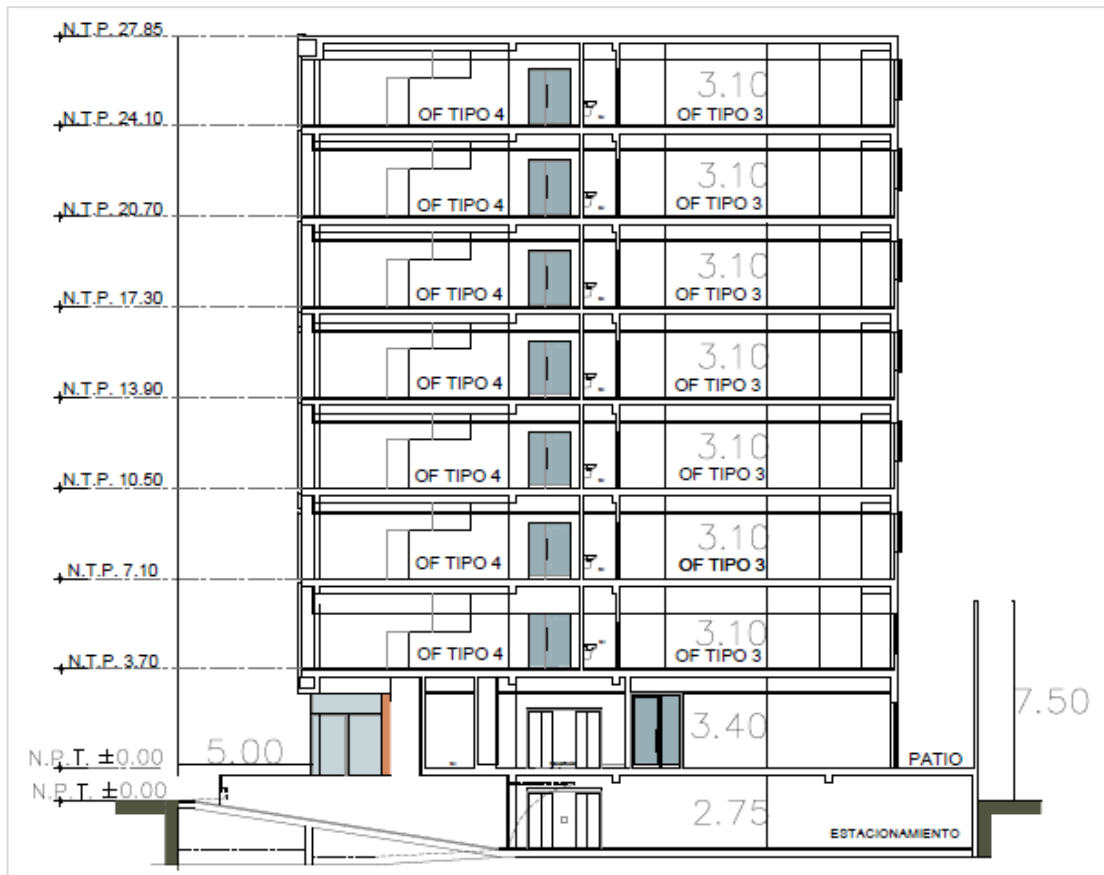


Figura 29. Vista en elevación de estructura regular
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10
Altura de entrepisos de la estructura regular

Pisos	Resumen	
	H. entrepiso (m)	NPT (m)
Base	0.00	0.00
Semisótano	2.75	2.75
Piso 1	3.40	6.15
Piso 2	3.10	9.25
Piso 3	3.10	12.35
Piso 4	3.10	15.45
Piso 5	3.10	18.55
Piso 6	3.10	21.65
Piso 7	3.10	24.75
Piso 8	3.10	27.85
Hn	27.85	m

Fuente: Elaboración propia

4.4. Asignación de datos para el modelo lineal

4.4.1. Asignación de elementos

Losa

Las losas se han modelado con elementos membrana por estar rodeadas de vigas y muros estructurales, y para repartir las cargas uniformemente a cada elemento estructural mencionado.

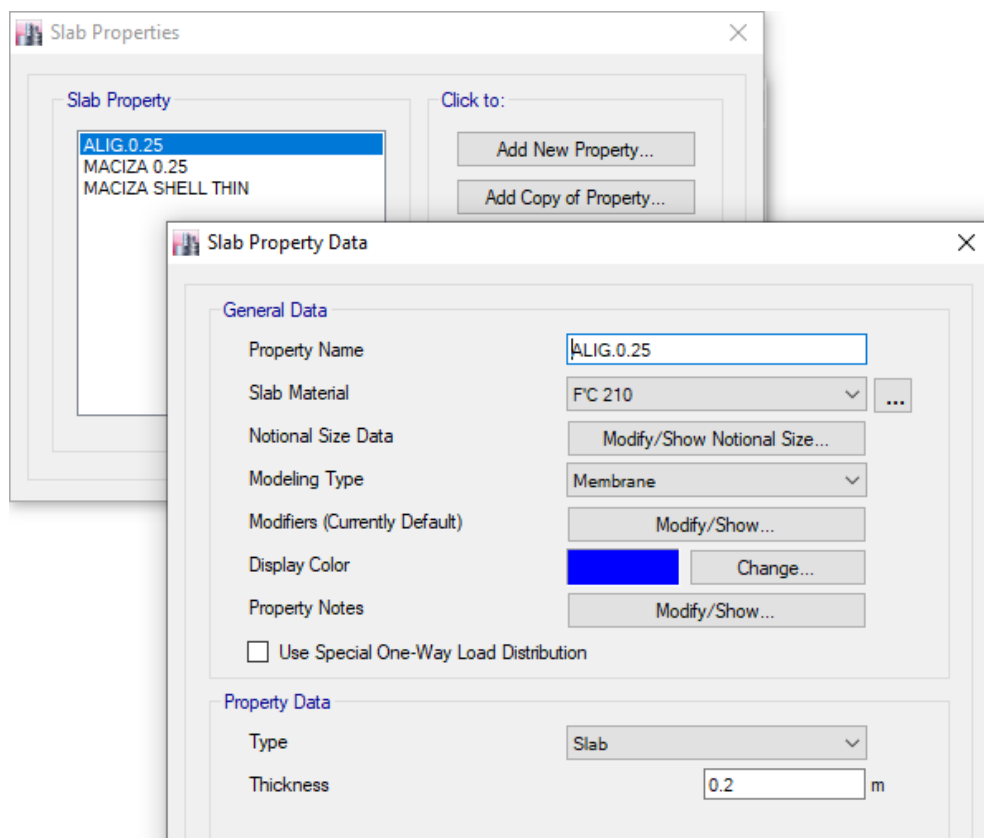


Figura 30. Características de la asignación de losas
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

Columna

Las columnas se han modelado con elementos *frame*.

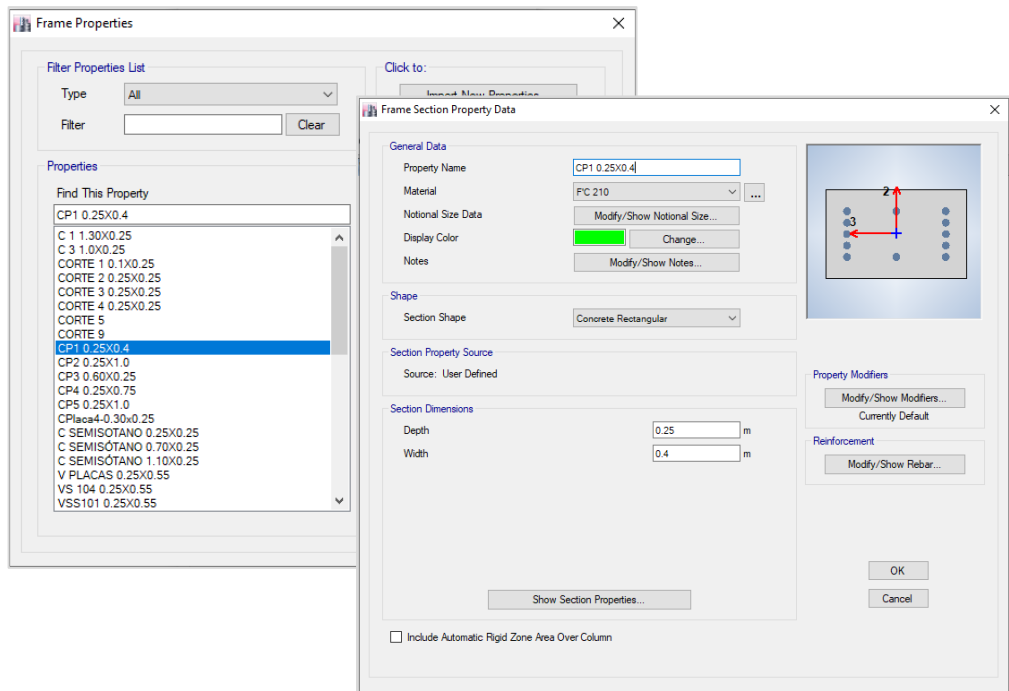


Figura 31. Características de la asignación de columnas
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

Muros estructurales

Los muros estructurales se han modelado con *shell* y *wall section*.

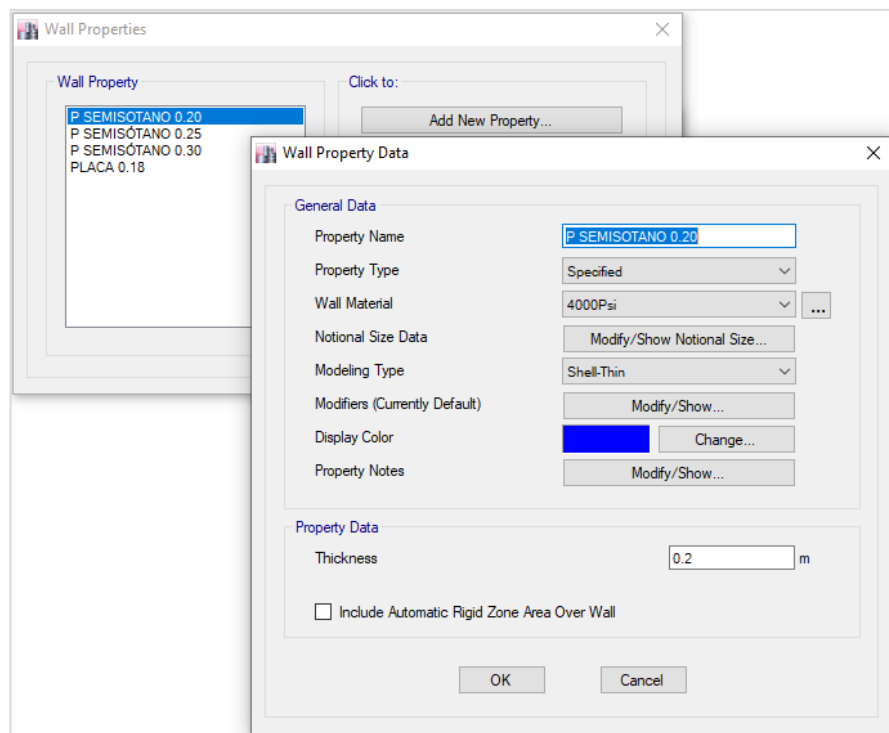


Figura 32. Características de la asignación de muros estructurales
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

Viga

Las vigas se han modelado con elementos *frame*.

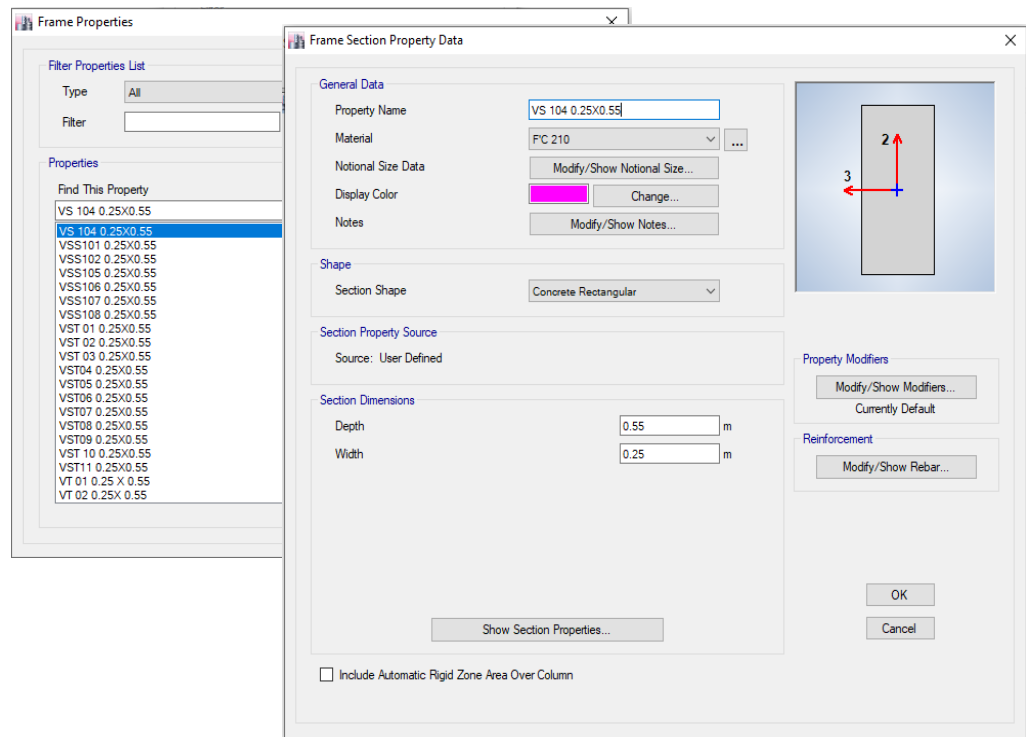


Figura 33. Características de la asignación de vigas
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

4.4.2. Asignación de fuerzas externas

Patrón de cargas

Es la forma en que se organizan un conjunto de cargas con similares características.

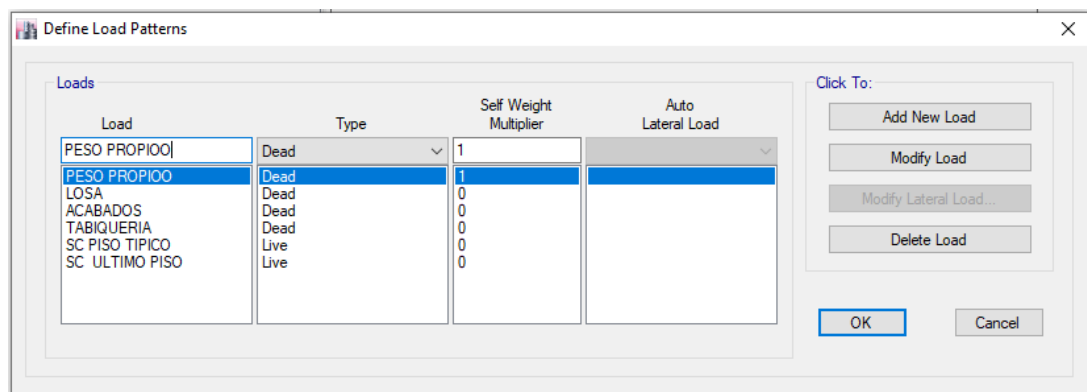


Figura 34. Características de la asignación de patrón de cargas
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

Parámetro sísmico

Estructura irregular en la dirección Y

Se le asigna lo siguiente: una zona (Z) 4, por encontrarse en la región Lima-, categoría (U), por el uso de la edificación que es oficina; suelo (S2), por presentar suelo intermedio; (Tp) y (TL) se determinan en la tabla N° 4 de la Norma E.030 de diseño Sismorresistente y dependen del tipo del suelo y el tipo de zona; (Hn) es la altura total del edificio; (CT) se asigna, porque la estructura en estudio tiene un sistema de muros estructurales; (R) por el sistema estructural de muros; (Ip) no presenta irregularidad en planta e (Ia) irregularidad en altura de piso blando. Posteriormente, se verifica lo anterior a través de un análisis dinámico lineal.

A continuación, se resume lo mencionado en la tabla 11. También, se presenta la tabla 12 con diferentes periodos y pseudoaceleraciones para obtener la figura 36 del espectro sísmico.

Tabla 11
Parámetros sísmicos de estructura irregular en el eje Y

Zona	4
Categoría	C
Suelo	S2
Tp	0.6
TL	2
Hn	30.45
CT	60
T	0.946
Ry	6
Ip	1
Ia	0.75
Z	0.45
U	1
Cy	1.585623
S	679
S	1.05
R	4.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Periodos y pseudoaceleración de estructura irregular en el eje Y

T(seg)	Sa/g	C
0.0000	0.2625	2.5000
0.2000	0.2625	2.5000
0.4000	0.2625	2.5000
0.6000	0.2625	2.5000
0.8000	0.1969	1.8750
1.0000	0.1575	1.5000
1.4000	0.1125	1.0714
1.8000	0.0875	0.8333
2.2000	0.0716	0.6818
2.6000	0.0606	0.5769
3.0000	0.0525	0.5000
3.5000	0.0450	0.4286
4.0000	0.0394	0.3750
4.5000	0.0350	0.3333
5.0000	0.0315	0.3000
6.0000	0.0262	0.2500
7.0000	0.0225	0.2143
8.0000	0.0197	0.1875
9.0000	0.0175	0.1667
10.0000	0.0157	0.1500

Fuente: Elaboración propia

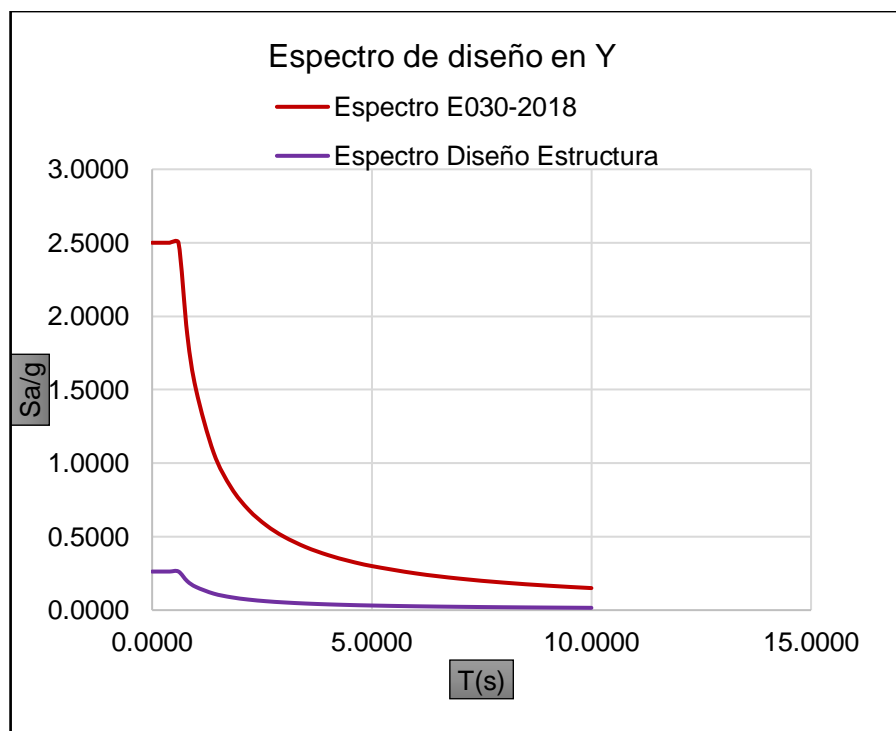


Figura 35. Espectro sísmico de estructura irregular en eje Y

Fuente: Elaboración propia

Estructura Irregular en el eje X

Se le asigna lo siguiente: una zona (Z) 4, por encontrarse en la región Lima; categoría (U), por el uso de la edificación que es oficina; suelo (S2), por presentar suelo intermedio; (Tp) y (TL) se determinan en la tabla 4 de la Norma E.030 de diseño sismorresistente y dependen del tipo del suelo y el tipo de zona; (Hn) es la altura total del edificio; (CT) se determina, porque la estructura en estudio tiene un sistema de muros estructurales; (R) por el sistema estructural de muros; (Ip) no presenta irregularidad en planta e (Ia) irregularidad en altura de piso blando. Posteriormente, se verifican los datos a través de un análisis dinámico lineal. A continuación, se resume lo anterior en la tabla 13. Asimismo, se presenta la tabla 14 con diferentes periodos y pseudoaceleraciones para obtener la figura 37 del espectro sísmico.

Tabla 13
Parámetros sísmicos de Estructura irregular en el eje X

Zona	4
Categoría	C
Suelo	S2
Tp	0.6
TL	2
Hn	30.45
CT	60
T	0.23
Rx	6
Ip	1
Ia	0.75
Z	0.45
U	1
Cx	2.5
S	1.05
R	4.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14
 Periodos y pseudoaceleración de estructura irregular en el eje X

T(seg)	Sa/g	C
0.0000	0.2625	2.5000
0.2000	0.2625	2.5000
0.4000	0.2625	2.5000
0.6000	0.2625	2.5000
0.8000	0.1969	1.8750
1.0000	0.1575	1.5000
1.4000	0.1125	1.0714
1.8000	0.0875	0.8333
2.2000	0.0716	0.6818
2.6000	0.0606	0.5769
3.0000	0.0525	0.5000
3.5000	0.0450	0.4286
4.0000	0.0394	0.3750
4.5000	0.0350	0.3333
5.0000	0.0315	0.3000
6.0000	0.0262	0.2500
7.0000	0.0225	0.2143
8.0000	0.0197	0.1875
9.0000	0.0175	0.1667
10.0000	0.0157	0.1500

Fuente: Elaboración propia

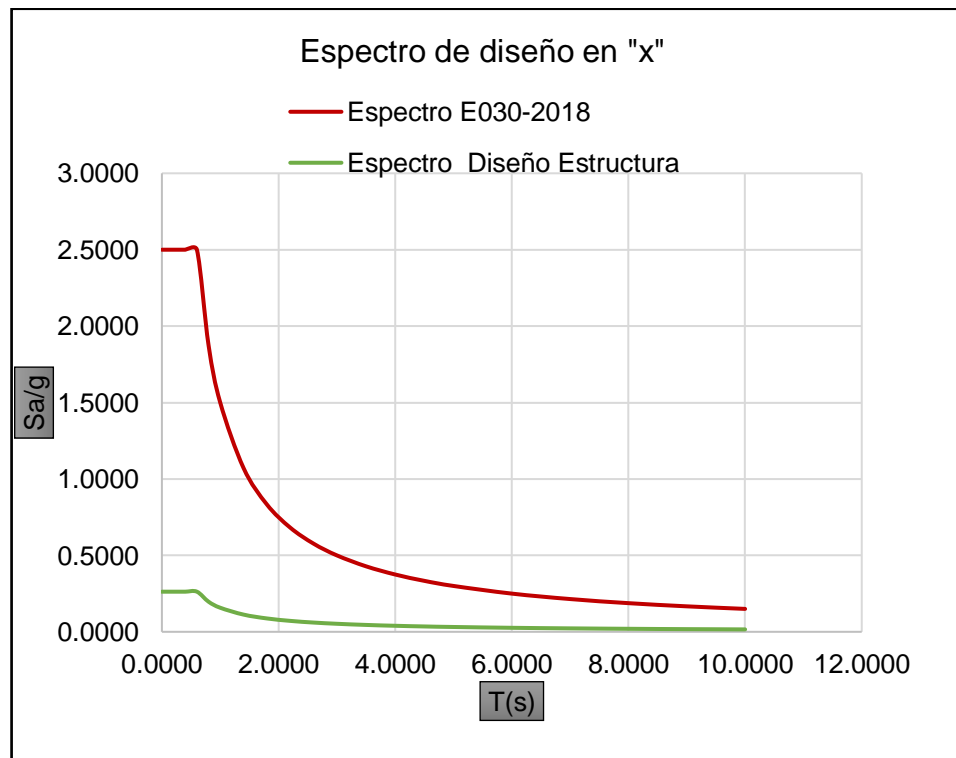


Figura 36. Espectro sísmico de estructura irregular en el eje X
 Fuente: Elaboración propia

Estructura regular en el eje Y

Se le asigna una zona (Z) 4, por encontrarse en la región Lima; categoría (U), por el uso de la edificación que es oficina; suelo (S2) por presentar suelo intermedio, (Tp) y (TL) se determinan en la tabla 4 de la Norma E.030 de diseño sismorresistente y dependen del tipo del suelo y el tipo de zona; (Hn) es la altura total del edificio; (CT) se asigna, porque la estructura en estudio tiene un sistema de muros estructurales; (R) por el sistema estructural de muros; (Ip) no presenta irregularidad en planta e (Ia) no presenta irregularidad en altur. Posteriormente, esta asignación se verifica a través de un análisis dinámico lineal. A continuación, se resume en la tabla 15 como, también, se presenta la tabla 16 con diferentes periodos y pseudoaceleraciones para obtener la figura 38 del espectro sísmico.

Tabla 15:

Parámetros sísmicos de estructura regular en el eje Y

Zona	4
Categoría	C
Suelo	S2
Tp	0.6
TL	2
Hn	27.85
CT	60
T	0.823
Ry	6
Ip	1
Ia	1
Z	0.45
U	1
	1.8226002
Cy	43
S	1.05
R	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16
 Periodos y pseudoaceleración de estructura regular en el eje Y

T(seg)	Sa/g	C
0.0000	0.1969	2.5000
0.2000	0.1969	2.5000
0.4000	0.1969	2.5000
0.6000	0.1969	2.5000
0.8000	0.1477	1.8750
1.0000	0.1181	1.5000
1.4000	0.0844	1.0714
1.8000	0.0656	0.8333
2.2000	0.0537	0.6818
2.6000	0.0454	0.5769
3.0000	0.0394	0.5000
3.5000	0.0337	0.4286
4.0000	0.0295	0.3750
4.5000	0.0262	0.3333
5.0000	0.0236	0.3000
6.0000	0.0197	0.2500
7.0000	0.0169	0.2143
8.0000	0.0148	0.1875
9.0000	0.0131	0.1667
10.0000	0.0118	0.1500

Fuente: Elaboración propia

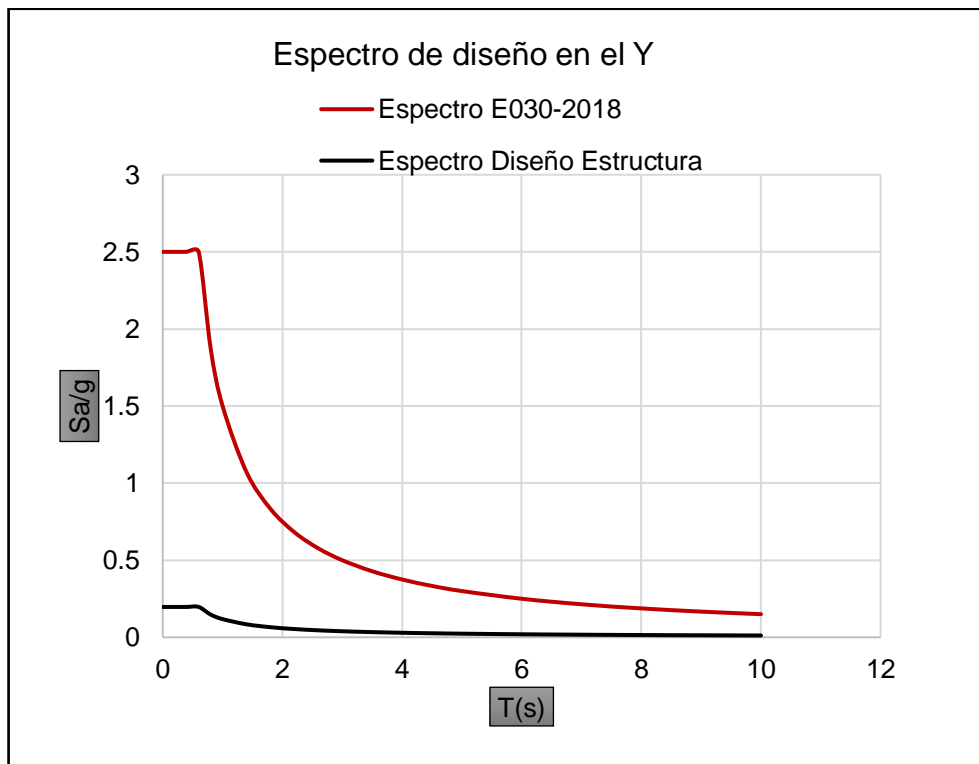


Figura 37. Espectro sísmico de estructura regular en el eje Y
 Fuente: Elaboración propia

Estructura regular en el eje X

Se le asigna una zona (Z) 4, por encontrarse en la región Lima; categoría (U), por el uso de la edificación que es oficina; suelo (S2), por presentar suelo intermedio; (Tp) y (TL) se determinan en la tabla 4 de la Norma E.030 de diseño sismorresistente, y dependen del tipo del suelo y el tipo de zona; (Hn) es la altura total del edificio, (CT) se asigna, porque la estructura en estudio tiene un sistema de muros estructurales; (R) por el sistema estructural de muros; (Ip) no presenta irregularidad en planta e (Ia) no presenta irregularidad en altura. Posteriormente, esto se verifica a través de un análisis dinámico lineal. A continuación, estos aspectos se resumen en la tabla 17. También, se presenta la tabla 18 con diferentes periodos y pseudoaceleraciones para obtener la figura 39 del espectro sísmico.

Tabla 17
Parámetros sísmicos de estructura regular en el eje X

T (seg)	Sa/g	C
0.0000	0.1969	2.5000
0.2000	0.1969	2.5000
0.4000	0.1969	2.5000
0.6000	0.1969	2.5000
0.8000	0.1477	1.8750
1.0000	0.1181	1.5000
1.4000	0.0844	1.0714
1.8000	0.0656	0.8333
2.2000	0.0537	0.6818
2.6000	0.0454	0.5769
3.0000	0.0394	0.5000
3.5000	0.0337	0.4286
4.0000	0.0295	0.3750
4.5000	0.0262	0.3333
5.0000	0.0236	0.3000
6.0000	0.0197	0.2500
7.0000	0.0169	0.2143
8.0000	0.0148	0.1875
9.0000	0.0131	0.1667
10.0000	0.0118	0.1500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18
 Períodos y pseudoaceleración de estructura regular en el eje X

Zona	4
Categoría	C
Suelo	S2
Tp	0.6
TL	2
Hn	27.85
CT	60
T	0.20
Rx	6
Ip	1
Ia	1
Z	0.45
U	1
Cx	2.5
S	1.05
R	6

Fuente: Elaboración propia

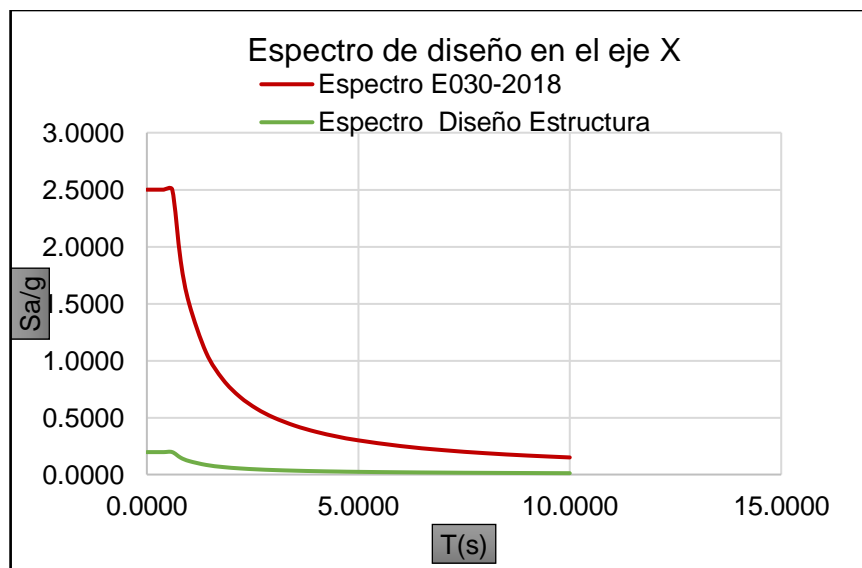


Figura 38. Espectro sísmico de estructura regular en el eje X
 Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Cargas utilizadas

Se utilizan las cargas por elementos estructurales según la recomendación de la norma E.020 de cargas.

Tabla 19
Metrado de cargas

CARGAS	PP (kg/m ²)		CM (kg/m ²)				CV (kg/m ²)		
	Aligerada espesor (25 cm)	Maciza espesor (25 cm)	Acabados	Tabiquería	Tabiquería Móvil	Carga m. techo	s/c	s/c Azotea	s/c T. + Jardín
VALOR	350	600	100	150	100	100	250	200	700
Semisótano	350	600	100	150			250		
Piso 1	350	600	100	150	100		250		
Piso 2	350	600	100	150	100		250		
Piso 3	350	600	100	150	100		250		
Piso 4	350	600	100	150	100		250		
Piso 5	350	600	100	150	100		250		
Piso 6	350	600	100	150	100		250		
Piso 7	350	600	100	150	100		250		
Piso 8		600				100		200	700

Fuente: Elaboración propia

4.5. Modelos estructurales en el programa ETABS

A continuación, se muestran los resultados de la modelación tridimensional en el programa ETABS 17.0.1, en el cual se observa que una de las estructuras presenta irregularidad de piso blando ubicado en el primer nivel. Partiendo de este, se genera un nuevo modelo que no presenta irregularidad de piso blando.

Estructura irregular

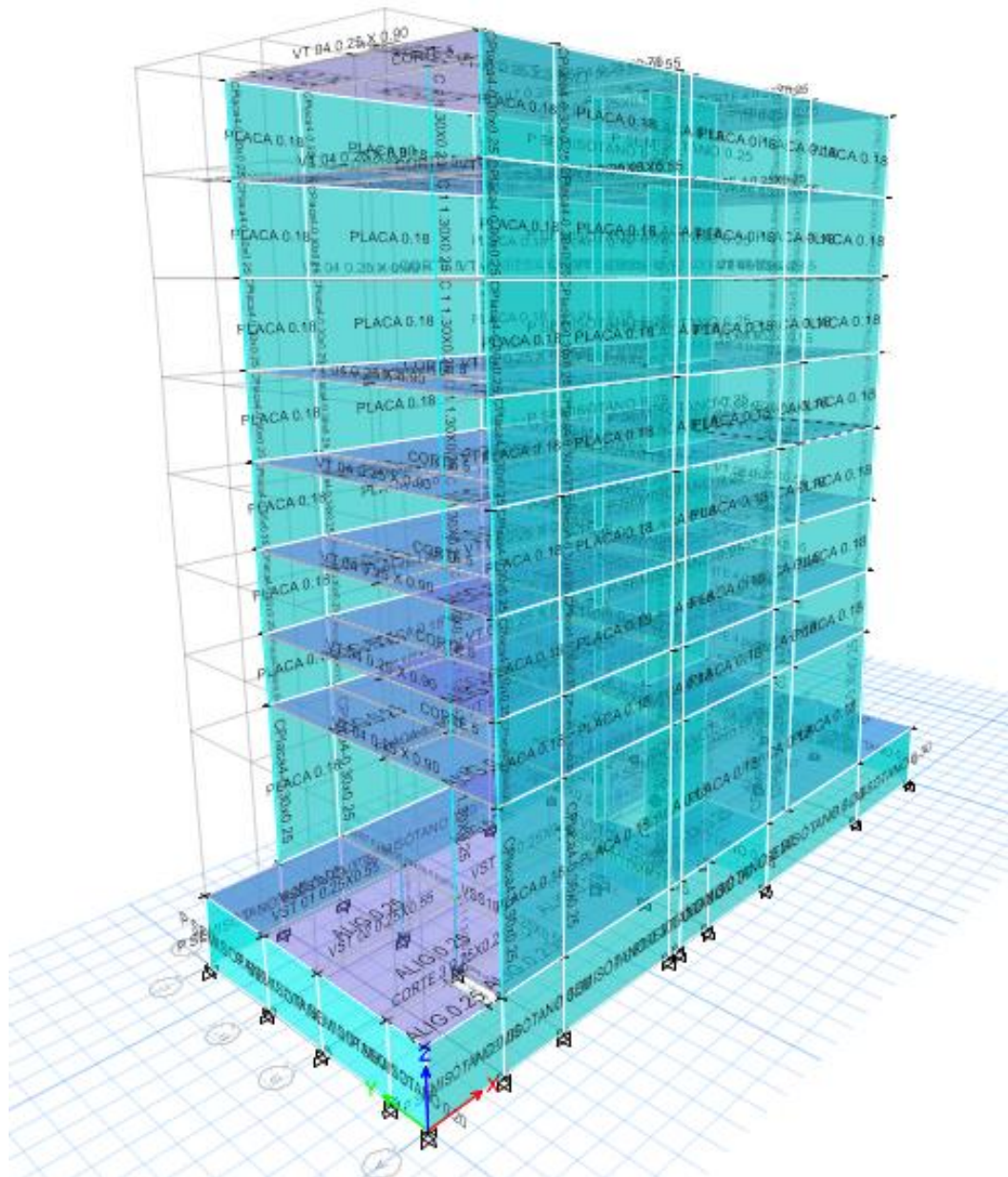


Figura 39. Vista 3D del edificio irregular
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

Estructura regular

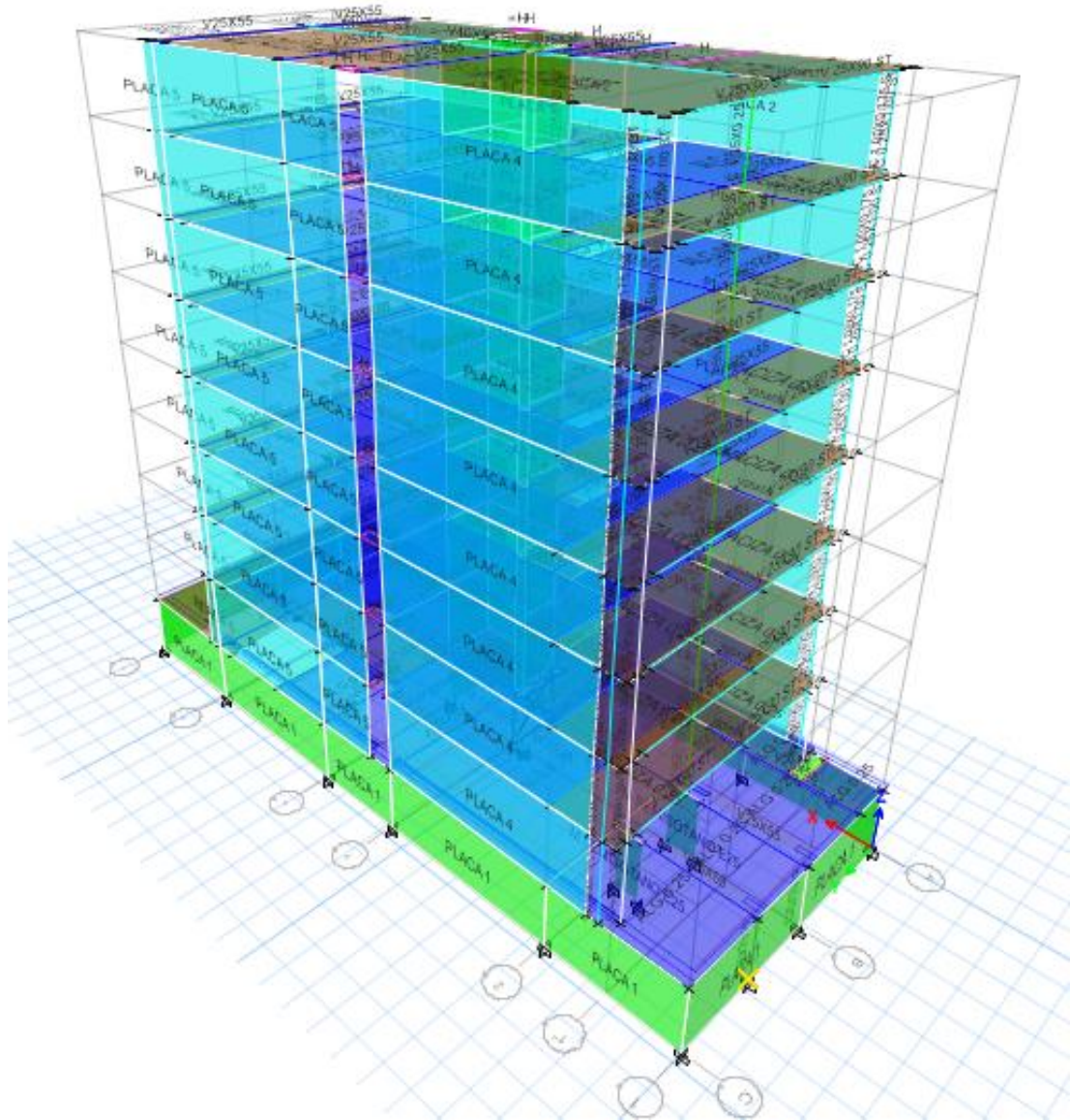


Figura 40. Vista 3D del edificio regular
Fuente: Programa computacional ETABS (2017)

4.6. Análisis estático no lineal *pushover*

Asignación de cargas gravitacional

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE 41-13 recomienda usar cargas gravitacionales dentro de un análisis no lineal como se indica en la siguiente fórmula, en la cual la carga viva debe ser considerada en 25 %.

$$Q_G = Q_D + (0.25) Q_L$$

Donde:

Q_G = Carga gravitacional

Q_D = Carga muerta

Q_L = Carga viva

Patrones de carga lateral para estructura irregular

El patrón de carga considerada es proporcional a la distribución de cortantes por piso. Estas son calculadas combinando respuestas modales de un análisis de espectro de respuesta del edificio.

Tabla 20
Patrones de cargas en estructura irregular

Niveles	Eje X		Eje Y		Unidades
	Cortante	Fuerza	Cortante	Fuerza	
Piso 8	170.311	170.31 1	122.534	122.534	ton
Piso 7	334.873	164.56 3	230.529	107.995	ton
Piso 6	469.649	134.77 6	314.201	83.672	ton
Piso 5	580.035	110.38 6	380.871	66.670	ton
Piso 4	670.079	90.044	435.781	54.909	ton
Piso 3	741.804	71.724	481.695	45.915	ton
Piso 2	796.197	54.393	518.298	36.603	ton
Piso 1	837.567	41.370	546.487	28.189	ton
Semisótano	844.249	6.682	557.070	10.583	ton

Fuente: Elaboración propia

Patrones de carga lateral para estructura regular

El patrón de carga considerada es proporcional a la distribución de cortantes por piso, las cuales son calculadas combinando respuestas modales de un análisis de espectro de respuesta del edificio.

Tabla 21
Patrones de cargas en estructura regular

Niveles	Eje X		Eje Y		Unidades
	Cortante	Fuerza	Cortante	Fuerza	
Piso 8	118.378	118.378	108.732	108.732	ton
Piso 7	228.647	110.270	202.995	94.264	ton
Piso 6	317.722	89.075	276.659	73.664	ton
Piso 5	389.803	72.080	335.297	58.638	ton
Piso 4	447.457	57.655	382.469	47.172	ton
Piso 3	492.737	45.279	419.736	37.267	ton
Piso 2	525.471	32.734	446.739	27.003	ton
Piso 1	544.187	18.717	461.021	14.282	ton
Semisótano	550.437	6.250	464.634	3.613	ton

Fuente: Elaboración propia

Diagrama momento – curvatura

El comportamiento de las secciones de concreto armado, sometidas a acciones de diseño, puede comprenderse de manera más clara mediante el uso de gráficas que relacionen el momento flexionante resistente, en una sección, con la curvatura correspondiente.

El diagrama momento - curvatura es de gran importancia en el diseño de estructuras ante cargas estáticas, ya que, de forma rápida, se visualiza qué tan dúctil y resistente es un elemento. Además, el área bajo la curva representa la energía interna; la parte bajo la región elástica es la energía de deformación acumulada en el elemento, mientras que el área bajo la región de postfluencia corresponde a la energía disipada en las deformaciones plásticas del mismo.

La relación momento - curvatura de una sección de concreto armado se obtiene a partir de las curvas esfuerzo - deformación del concreto y del acero. Dicha relación depende de la geometría, y del refuerzo longitudinal y transversal de la sección.

La deformación del concreto ϵ_c varía desde cero hasta la deformación máxima útil ϵ_{cu} . Para cada una de estas deformaciones, se obtiene un punto del diagrama $M-\phi$ en forma iterativa. Por tanto, se impone una profundidad del

eje neutro C, de tal manera que el eje neutro final debe satisfacer dos condiciones:

- 1.-Equilibrio de fuerzas axiales
- 2.-Equilibrio de momentos en la sección analizada

Longitud de rótulas plásticas para vigas

En la tabla 22, se determina la longitud que se le asigna a las rótulas para las vigas que se encuentra entre el eje C y D. El porcentaje de rótula próximo al eje C se calcula dividiendo la sección de columna C6 entre dos y ese resultado se divide entre la luz de viga. El porcentaje de rótula próximo al eje D se determina dividiendo la sección de columna C6 entre dos y ese resultado se divide entre la luz de viga. Finalmente, se repite el cálculo para todos los pisos y vigas que conforman la edificación.

Tabla 22
Dimensión de rótula para vigas

		Eje C	Eje D
PISO 1	Luz de viga (cm)	277	277
	Sección de columna C6 (cm)	75	75
	% d	0.135	0.865
		Eje C	Eje D
PISO 2	Luz de viga (cm)	277	277
	Sección de columna C6 (cm)	75	75
	% d	0.135	0.865

Fuente: elaboración propia

Longitud de rótulas plásticas para columnas

En la tabla 23, se determina la longitud que se le asigna a las rótulas para la columna que se encuentra en el eje D. El porcentaje de rótula arriba se calcula dividiendo la altura efectiva entre la altura total; el de rótula abajo se determina dividiendo el peralte de viga entre el alto de columna.

Se repite el cálculo para todos los pisos y columnas que conforman la edificación.

Tabla 23:
Dimensión de rótula para columnas

		Eje D
PISO 1	Altura (m)=	620
	V1 (25X55)	55
	V1 (25X55)	55
	% rótula arriba	0.911
	% rótula abajo	0.089
		Eje D
PISO 2	Altura (m)	290
	V1 (25X55)	55
	V1 (25X55)	55
	% rótula arriba	0.810
	% rótula abajo	0.190

Fuente: elaboración propia

Curva de capacidad

Representa el comportamiento sísmico de la edificación sometida a cargas medidas desde su desplazamiento del último nivel de la estructura vs. la fuerza cortante basal.

La curva de capacidad está definida como la relación del desplazamiento D vs. la fuerza cortante basal. La capacidad de las edificaciones para soportar cargas laterales típicamente se expresa mediante una gráfica denominada curva de capacidad. Así, se pueden observar algunas características de mucha importancia en la linealidad y no linealidad. Inicia con un tramo elástico hasta encontrarse con el estado de fluencia para luego incursionar en el rango plástico. Posteriormente, llega a la cortante basal máxima y es donde ocurre el colapso de la estructura. Entonces, se afirma que la curva de capacidad muestra la degradación de la resistencia, debido al comportamiento frágil de las secciones que pueden ser vigas, columnas, entre otros (La Rosa y Vila, 2019).

Desempeño sísmico

Se realiza a través del método de espectro de capacidad y consiste, básicamente, en convertir la curva de capacidad y el espectro de demanda sísmica en un formato ADRS con el que se compara por encontrarse bajo las

mismas coordenadas. Así, se intersecan las dos curvas para determinar el punto de desempeño de la estructura en estudio.

Conversión de la curva de capacidad a ADRS

Tabla 24
Conversión de curva de capacidad a formato ADRS

V (kg)	Δ tope (cm)	Sa	Sd (cm)
0	1.0635	0	7.32E-02
118042.6	2.6875	0.0560697	1.85E-01
234200.3	4.3115	0.111244	2.97E-01
346440.7	5.9355	0.1645577	4.09E-01
366069.4	6.3404	0.1738812	4.36E-01
442275.5	8.242	0.2100788	5.67E-01
503423.6	10.2741	0.2391238	7.07E-01
565532.2	12.7101	0.2686251	8.75E-01
606610.6	14.3341	0.2881372	9.87E-01
653289.1	15.9581	0.3103092	1.10E+00
699698.6	17.5821	0.3323535	1.21E+00
741342.1	19.2061	0.352134	1.32E+00
778240.6	20.8301	0.3696606	1.43E+00

Fuente: elaboración propia

Conversión del espectro a formato ADRS

Tabla 25
Conversión del espectro al formato ADRS

Espectro de demanda			Formato ADR		
Periodo de retorno = 475 años					
T(seg)	Sa/g	C	Sa	Sd (m)	T
0.00001	1.18125	2.5	1.18125	2.9353E-13	3.1321E-06
0.20001	1.18125	2.5	1.18125	0.01174128	0.62642152
0.40001	1.18125	2.5	1.18125	0.04696488	1.25283991
0.60001	1.18124803	2.49999583	1.18124803	0.10567063	1.8792583
0.80001	0.88593639	1.87499766	0.88593639	0.14089412	2.50567669
1.00001	0.70874929	1.4999985	0.70874929	0.17611761	3.13209508
1.40001	0.50624964	1.07142781	0.50624964	0.24656458	4.38493187
1.80001	0.39374978	0.83333287	0.39374978	0.31701155	5.63776865
2.20001	0.32215894	0.68181787	0.32215894	0.38745852	6.89060543
2.60001	0.27259605	0.57692286	0.27259605	0.4579055	8.14344221
3.00001	0.23624992	0.49999983	0.23624992	0.52835247	9.39627899
3.50001	0.20249994	0.42857131	0.20249994	0.61641119	10.962325
4.00001	0.17718746	0.37499991	0.17718746	0.7044699	12.5283709

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Como se pudo apreciar en el capítulo anterior, luego de realizar el modelamiento, la técnica del *pushover* y el desempeño sísmico se obtuvo los resultados del análisis lineal y no lineal.

5.1 Resultados del modelo lineal

5.1.1 Verificación de irregularidades

Estructura irregular en el eje Y

En la tabla 26, se muestra la rigidez lateral de entrepiso y la verificación de irregularidad de piso blando propuestas por la norma E-030 de diseño sismorresistente del año 2018.

$$K_i < 0.7 K_{(i+1)} \text{ o } \frac{0.8}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

Tabla 26
Verificación de piso blando en estructura irregular en el eje Y

Niveles	Rigidez lateral tn/m	Klat (i) / Klat(i+1)	Klat (i) / Klat prom (i+3)	70 %	80 %
Piso 8	13842.603	-	-	-	-
Piso 7	26438.430	1.910	-	-	-
Piso 6	36881.481	1.395	-	-	-
Piso 5	45972.595	1.246	1.787	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 4	54998.984	1.196	1.510	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 3	65886.695	1.198	1.434	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 2	85649.159	1.300	1.540	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 1	68196.446	0.796	0.991	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Semisótano	1308207.188	19.183	17.861	No hay Piso blando	No hay Piso blando

Fuente: Elaboración propia

Estructura irregular en el eje X

En la tabla 27, se muestra la rigidez lateral de entrepiso y la verificación de irregularidad de piso blando propuestas por la norma E-030 de diseño sismorresistente del año 2018.

$$K_i < 0.7 K_{(i+1)} \text{ o } \frac{0.8}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

Tabla 27
Verificación de piso blando en estructura irregular en el eje X

Niveles	Rigidez lateral tn/m	Klat (i) / Klat(i+1)	Klat (i) / Klat prom (i+3)	70%	80%
Piso 8	183381.5104	-	-	-	-
Piso 7	345376.7189	1.883	-	-	-
Piso 6	474095.8904	1.373	-	-	-
Piso 5	585803.7736	1.236	1.752	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 4	695452.5084	1.187	1.485	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 3	815943.1555	1.173	1.394	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 2	1036320.298	1.270	1.482	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 1	741135.9673	0.715	0.873	Hay piso Blando	Hay piso Blando
Semisótano	7263962.609	9.801	8.403	No hay Piso blando	No hay Piso blando

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, en el piso 1, existe una gran variación de rigidez lateral, lo cual provoca una irregularidad de piso blando.

Estructura regular en el eje Y

En la tabla 28, se muestra la rigidez lateral de entrepiso y la verificación de irregularidad de piso blando propuestas por la norma E-030 de diseño sismorresistente del año 2018.

$$K_i < 0.7 K_{(i+1)} \text{ o } \frac{0.8}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

Tabla 28
Verificación de piso blando en estructura regular en el eje Y

Niveles	Rigidez lateral tn/m	Klat (i) / Klat(i+1)	Klat (i) / Klat prom (i+3)	70%	80%
Piso 8	16559.292	-	-	-	-
Piso 7	31343.343	1.893	-	-	-
Piso 6	43499.750	1.388	-	-	-
Piso 5	54178.311	1.245	1.778	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 4	65384.974	1.207	1.520	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 3	79773.904	1.220	1.468	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 2	102823.254	1.289	1.547	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 1	158082.776	1.537	1.912	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Semisótano	1376212.800	8.706	12.119	No hay Piso blando	No hay Piso blando

Fuente: Elaboración propia

Estructura regular en el eje X

En la tabla 29, se muestra la rigidez lateral de entrepiso y la verificación de irregularidad de piso blando propuestas por la norma E-030 de diseño sismorresistente del año 2018.

$$K_i < 0.7 K_{(i+1)} \text{ o } \frac{0.8}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

Tabla 29
Verificación de piso blando en estructura regular en el eje X

Niveles	Rigidez lateral tn/m	Klat (i) / Klat(i+1)	Klat (i) / Klat prom (i+3)	70%	80%
Piso 8	226569.358	-	-	-	-
Piso 7	416718.832	1.839	-	-	-
Piso 6	563804.770	1.353	-	-	-
Piso 5	691150.086	1.226	1.7177	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 4	819339.168	1.185	1.4704	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 3	964540.328	1.177	1.3950	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 2	1173597.942	1.217	1.4225	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Piso 1	1549556.104	1.320	1.5718	No hay Piso blando	No hay Piso blando
Semisótano	7111098.837	4.589	5.7850	No hay Piso blando	No hay Piso blando

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Desplazamientos y derivas

Estructura irregular en el eje Y

Se encuentran desplazamientos absolutos en el piso 1. Del piso 2 al piso 8, los desplazamientos se reducen como se muestra en la tabla 30 y la figura 41.

Tabla 30
Desplazamientos absolutos en estructura irregular en el eje Y

Desplazamientos inelásticos en Y			
Labels	H (m)	Δy max abs	Δy min abs
Piso 8	30.45	0.2001929	0.1532792
Piso 7	27.35	0.1759462	0.1353323
Piso 6	24.25	0.1503531	0.1162609
Piso 5	21.15	0.1240295	0.0964742
Piso 4	18.05	0.0975299	0.0763508
Piso 3	14.95	0.0717035	0.0565335
Piso 2	11.85	0.0476901	0.0379134
Piso 1	8.95	0.0278116	0.0223533
Semisótano	2.75	0.0013808	0.0011322

Fuente: Elaboración propia

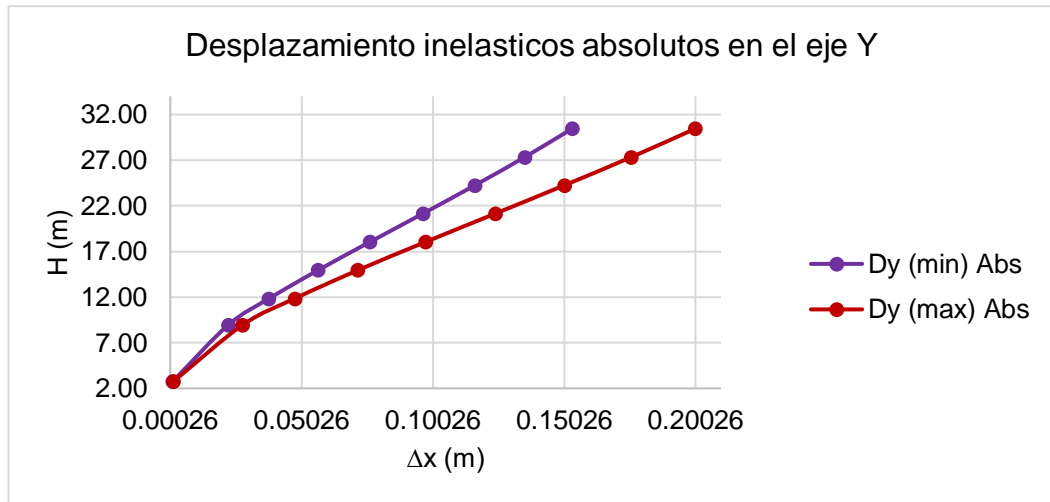


Figura 41. Desplazamiento absoluto de estructura irregular en eje Y
Fuente: Elaboración propia

Las derivas mínimas se encuentran dentro del rango permisible por la norma E 030 de diseño sismorresistente a pesar de ser una estructura irregular evaluada en el eje Y. Se detalla lo anterior, a continuación, en la tabla 31 en la figura 42.

Tabla 31
Derivas en estructura irregular en el eje Y

	Drifts inelásticos en Y			
	NPT	Drift max	Drift min	Drift permisible
Piso 8	30.45	0.008	0.006	0.007
Piso 7	27.35	0.008	0.006	0.007
Piso 6	24.25	0.008	0.006	0.007
Piso 5	21.15	0.009	0.006	0.007
Piso 4	18.05	0.008	0.006	0.007
Piso 3	14.95	0.008	0.006	0.007
Piso 2	11.85	0.007	0.005	0.007
Piso 1	8.95	0.004	0.003	0.007
Semisótano	2.75	0.001	0.000	0.007

Fuente: Elaboración propia

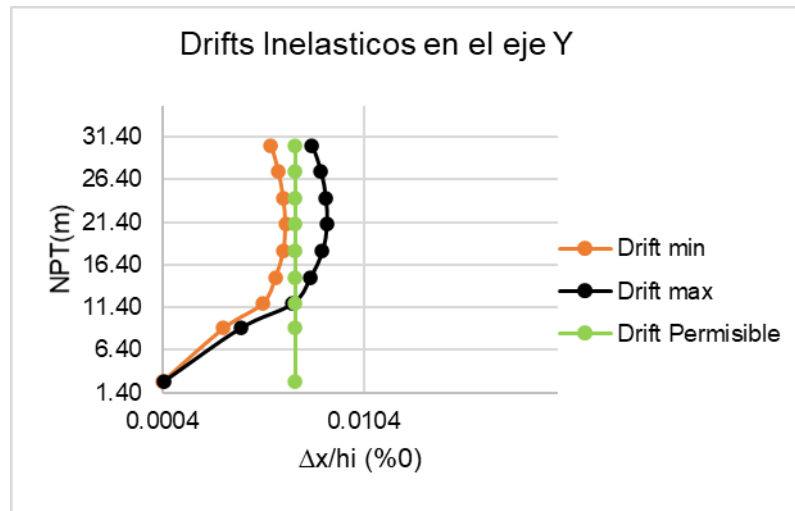


Figura 42. Derivas de estructura irregular en eje Y
Fuente: Elaboración propia

Estructura irregular en el eje X

Se encuentran grandes desplazamientos relativos al piso 1, y del piso 2 al piso 8 los desplazamientos se reducen. Así se muestra en la tabla 32 y la figura 43.

Tabla 32
Desplazamientos absolutos en estructura irregular en el eje X

Desplazamientos inelásticos en X			
Labels	H (m)	Δx max abs	Δx min abs
Piso 8	30.45	0.0201	0.0198
Piso 7	27.35	0.0179	0.0176
Piso 6	24.25	0.0155	0.0153
Piso 5	21.15	0.0130	0.0128
Piso 4	18.05	0.0104	0.0103
Piso 3	14.95	0.0078	0.0078
Piso 2	11.85	0.0054	0.0054
Piso 1	8.95	0.0033	0.0034
Semisótano	2.75	0.0003	0.0003

Fuente: Elaboración propia

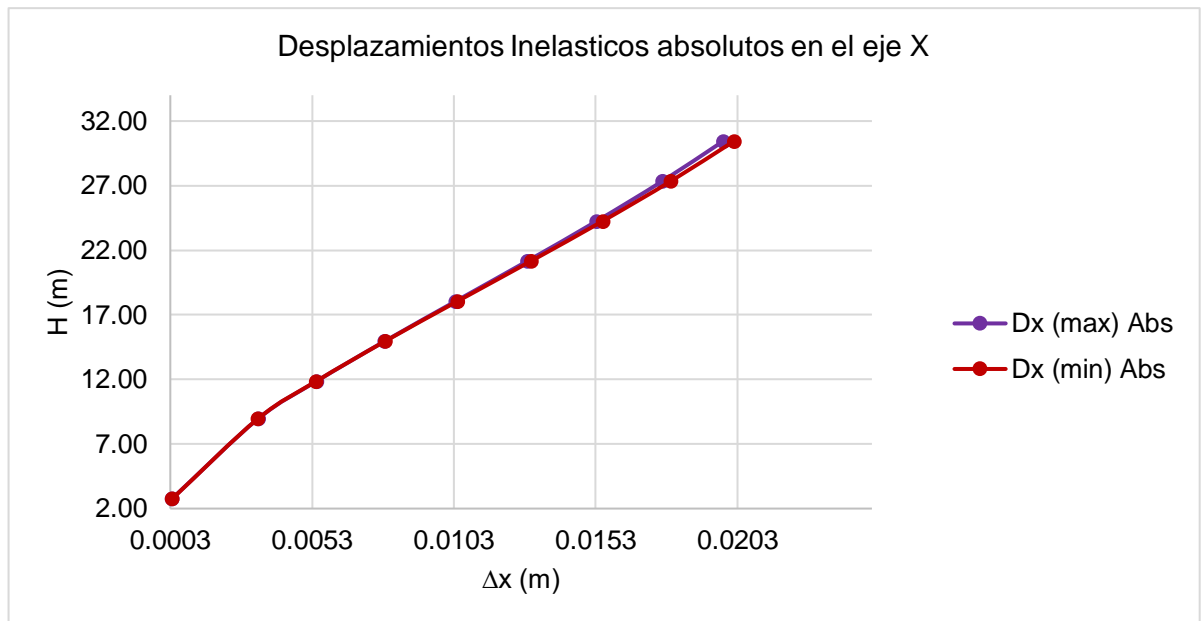


Figura 43. Desplazamientos absolutos de estructura irregular en eje X
Fuente: Elaboración propia

Las derivas mínimas y máximas se encuentran dentro del rango permisible por la norma E-030 de diseño sismorresistente a pesar de ser una estructura irregular evaluada en el eje X. Se detalla, a continuación, en la tabla 33 y en el gráfico 44.

Tabla 33
Derivas en estructura irregular en el eje X

Drifts inelásticos X				
Labels	NPT	Drift min	Drift max	Drift Permissible
Piso 8	30.45	0.001	0.001	0.007
Piso 7	27.35	0.001	0.001	0.007
Piso 6	24.25	0.001	0.001	0.007
Piso 5	21.15	0.001	0.001	0.007
Piso 4	18.05	0.001	0.001	0.007
Piso 3	14.95	0.001	0.001	0.007
Piso 2	11.85	0.001	0.001	0.007
Piso 1	8.95	0.000	0.000	0.007
Semisótano	2.75	0.000	0.000	0.007

Fuente: Elaboración propia

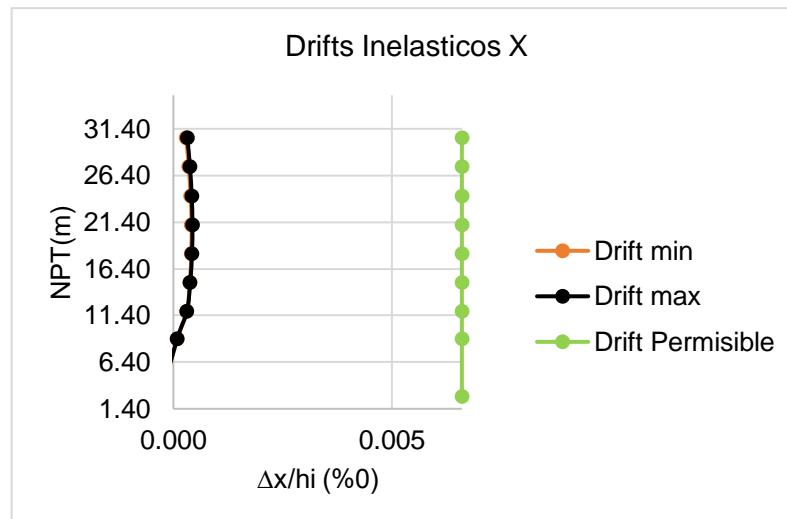


Figura 44. Derivas de estructura irregular en eje X
Fuente: Elaboración propia

Estructura regular en el eje Y

Se encuentran desplazamientos relativos que van aumentando, progresivamente, desde el piso 1 al piso 8, como se muestra en la tabla 34 y la figura 45.

Tabla 34
Desplazamientos absolutos en estructura regular en el eje Y

Desplazamientos inelásticos en Y			
Labels	H (m)	Δy max. abs	Δy min. abs
Piso 8	27.85	0.1576	0.1214
Piso 7	24.75	0.1370	0.1060
Piso 6	21.65	0.1151	0.0895
Piso 5	18.55	0.0926	0.0724
Piso 4	15.45	0.0700	0.0551
Piso 3	12.35	0.0483	0.0383
Piso 2	9.25	0.0286	0.0229
Piso 1	6.15	0.0123	0.0100
Semisótano	2.75	0.0013	0.0010

Fuente: Elaboración propia

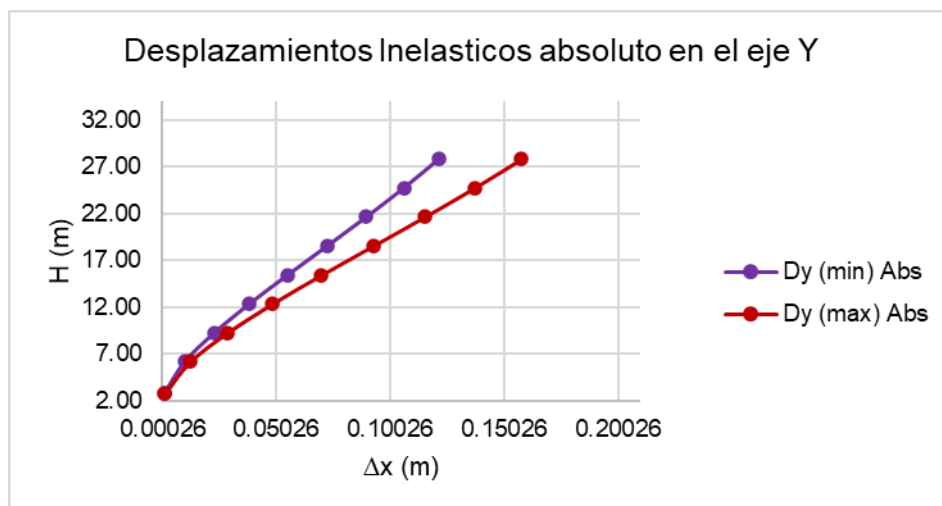


Figura 45. Desplazamientos absolutos en estructura regular en eje Y
Fuente: Elaboración propia

Las derivas mínimas se encuentran dentro del rango permisible por la norma E 030 de diseño sismorresistente a pesar de ser una estructura regular evaluada en el eje Y. Se detalla, a continuación, en la tabla 35 en la figura 46.

Tabla 35
Derivas en estructura regular en el eje Y

Drifts inelásticos Y				
Labels	NPT	Drift max	Drift min	Drift permisible
Piso 8	27.85	0.007	0.005	0.007
Piso 7	24.75	0.007	0.005	0.007
Piso 6	21.65	0.007	0.006	0.007
Piso 5	18.55	0.007	0.006	0.007
Piso 4	15.45	0.007	0.005	0.007
Piso 3	12.35	0.006	0.005	0.007
Piso 2	9.25	0.005	0.004	0.007
Piso 1	6.15	0.003	0.003	0.007
Semisótano	2.75	0.000	0.000	0.007

Fuente: Elaboración propia

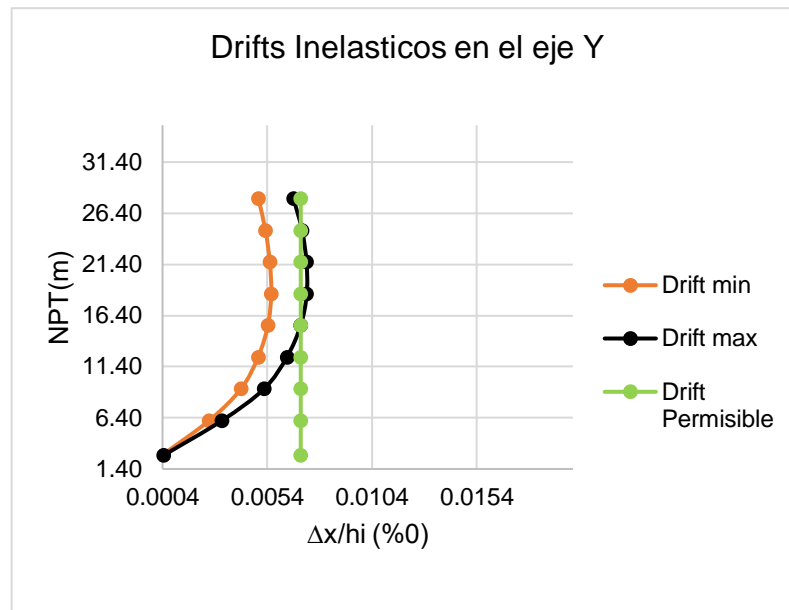


Figura 46. Derivas de estructura regular en eje Y
Fuente: Elaboración propia

Estructura regular en el eje X

Se encuentran desplazamientos relativos que van aumentando, progresivamente, del piso 1 al piso 8. Así se muestra en la tabla 36 y la figura 47.

Tabla 36
Desplazamientos absolutos en estructura regular en el eje X

Desplazamientos inelásticos en X			
Labels	H (m)	Δx max abs	Δx min abs
Piso 8	27.85	0.0138	0.0136
Piso 7	24.75	0.0122	0.0120
Piso 6	21.65	0.0104	0.0103
Piso 5	18.55	0.0085	0.0085
Piso 4	15.45	0.0066	0.0066
Piso 3	12.35	0.0048	0.0048
Piso 2	9.25	0.0030	0.0030
Piso 1	6.15	0.0015	0.0015
Semisótano	2.75	0.0003	0.0003

Fuente: Elaboración propia

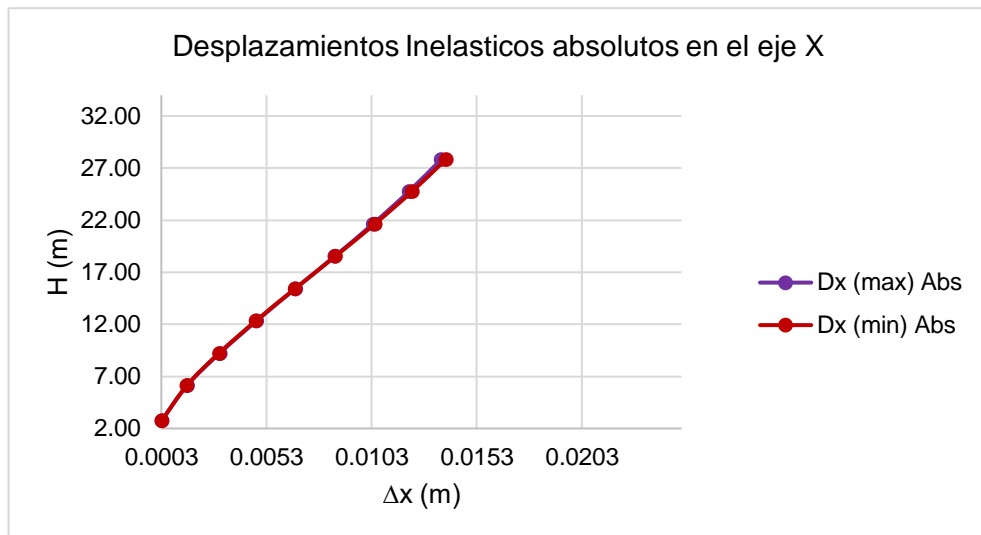


Figura 47. Desplazamiento absoluto de estructura regular en eje X
Fuente: Elaboración propia

Las derivas mínimas y máximas se encuentran dentro del rango permisible por la norma E030 de diseño sismorresistente a pesar de ser una estructura regular evaluada en el eje X. Se detalla, a continuación, en la tabla 37 en la figura 48.

Tabla 37
Derivas en estructura regular en el eje X.

Drifts inelásticos X				
Labels	NPT	Drift min	Drift max	Drift permisible
Piso 8	27.85	0.000	0.001	0.007
Piso 7	24.75	0.001	0.001	0.007
Piso 6	21.65	0.001	0.001	0.007
Piso 5	18.55	0.001	0.001	0.007
Piso 4	15.45	0.001	0.001	0.007
Piso 3	12.35	0.001	0.001	0.007
Piso 2	9.25	0.001	0.000	0.007
Piso 1	6.15	0.000	0.000	0.007
Semisótano	2.75	0.000	0.000	0.007

Fuente: Elaboración propia

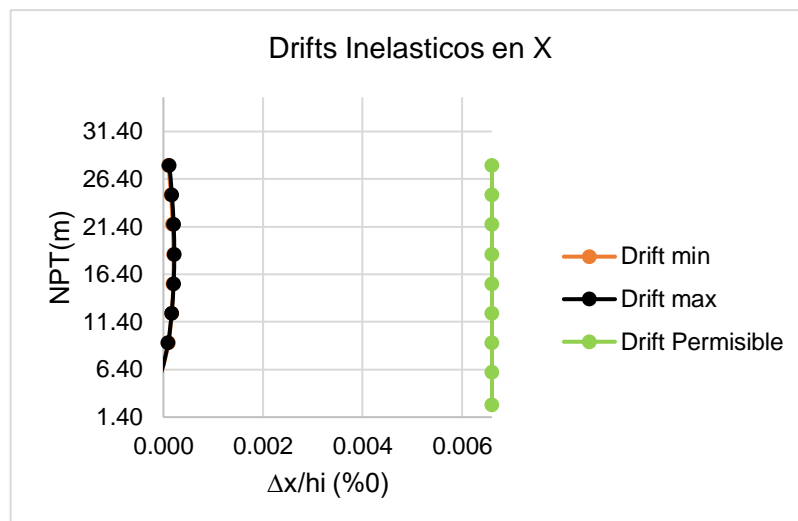


Figura 48. de estructura regular en eje X
Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados del modelo no lineal

5.2.1. Modelo irregular en el eje Y

Paso 1: Curva de capacidad

Después de asignar los elementos estructurales, patrones de carga, rótulas plásticas, se aplica el programa ETABS 2017.0.1 para ver los resultados de desplazamientos y cortantes. Con esa información, se grafica la curva de capacidad, en la cual se puede analizar la ductilidad, sobrerresistencia y rigidez.

Se observa el máximo desplazamiento de 56.7444 cm generado por un esfuerzo cortante de 1449.0839 ton. Esto origina el colapso de la estructura.

El desplazamiento de fluencia (Δy) es de 9.2 cm, el desplazamiento último (Δu) es de 46.92 cm y, con los datos anteriormente mencionados, calculamos la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) equivalente a 37.72.

Tabla 38
Desplazamientos vs. cortantes en estructura irregular en el eje Y

Δ cm	V (ton)
1.0635	0
2.6875	118.0426
4.3115	234.2003
5.9355	346.4407
6.3404	366.0694
8.242	442.2755
10.2741	503.4236
12.7101	565.5322
14.3341	606.6106
15.9581	653.2891
17.5821	699.6986
19.2061	741.3421
20.8301	778.2406
22.4541	813.165
24.0781	846.6925
25.7021	879.602
27.3261	911.3988
28.9501	944.3633
31.4962	997.7453
33.1202	1031.4377
34.8959	1068.47
37.3288	1117.8467
39.5778	1162.0324
41.2395	1193.2314
43.1298	1227.6264
44.7538	1256.3413
46.3778	1284.6403
46.9595	1294.7646
46.9607	1290.4028
47.3476	1297.6541
47.3488	1295.6769
49.7233	1337.0407
49.7245	1333.0674
50.1706	1341.2666
50.1718	1339.2815
52.6078	1380.9958
54.2318	1408.105
55.8558	1434.6423
56.7444	1449.0839

Fuente: Elaboración propia

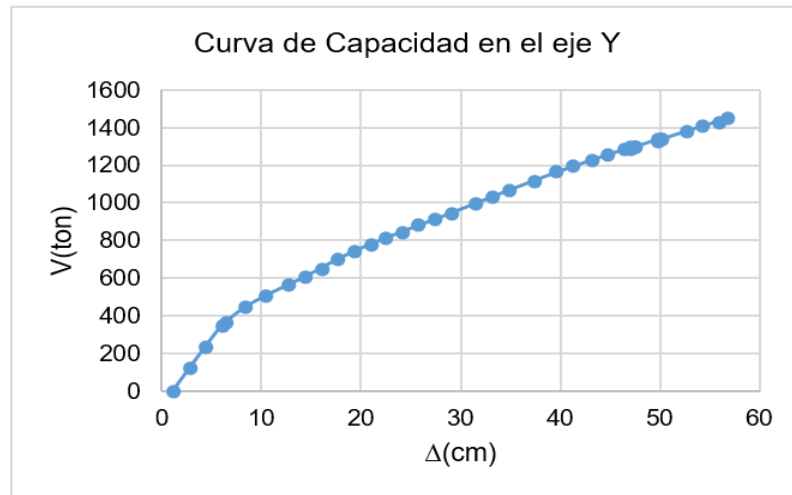


Figura 49. Curva de capacidad de estructura irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Rigidez lateral

La rigidez lateral está determinada por la geometría de la sección transversal de vigas, columnas y placas, con las que se determinan las propiedades geométricas tales como áreas y momentos de inercia. Esto define las propiedades elásticas como módulo de elasticidad (E) y razón de Poisson (μ).

La rigidez es la tangente a un punto cualquiera de la curva de capacidad, no es un valor constante, ya que esta varía de acuerdo al nivel de deformación de la estructura. La pendiente, en cualquier punto de la curva, es la rigidez, la misma que va disminuyendo conforme se deforma la estructura.

Tabla 39
Rigidez lateral de estructura irregular en el eje Y

Niveles	NPT	Vx	Δx max	Rigidez lateral
		ton	m	tn/m
Piso 8	30.45	178.8654	0.224541	796.582
Piso 7	27.35	336.5079	0.195705	1719.465
Piso 6	24.25	458.645	0.166203	2759.547
Piso 5	21.15	555.9649	0.136543	4071.720
Piso 4	18.05	636.1168	0.106998	5945.128
Piso 3	14.95	703.139	0.078049	9008.943
Piso 2	11.85	756.5694	0.050815	14888.702
Piso 1	8.95	797.7169	0.02812	28368.311
Semisótano	2.75	813.165	0.00085	95664.706

Fuente: Elaboración propia

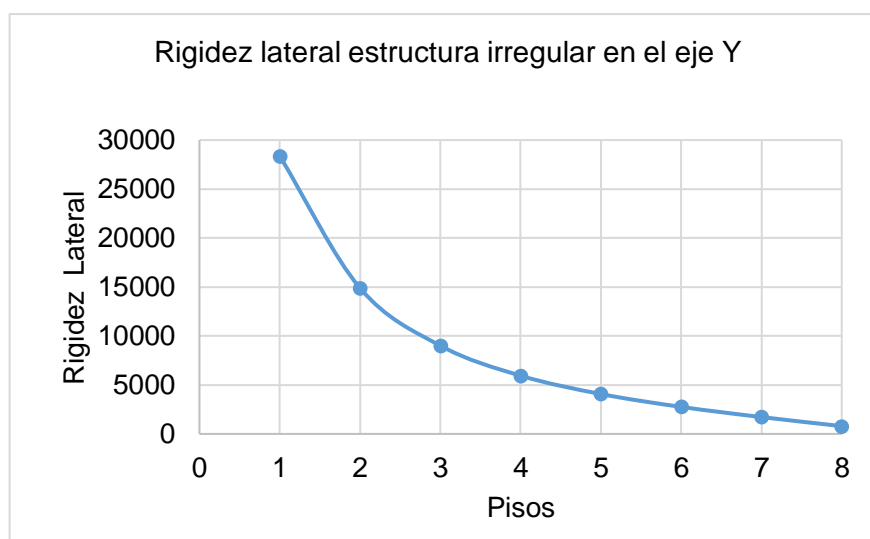


Figura 50. Curva de rigidez lateral en estructura irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Sobrerresistencia global

La sobrerresistencia, de la estructura en estudio, se determina a través del cociente de la fuerza cortante última, o de colapso, con la fuerza cortante de fluencia efectiva.

$$SR = V_u / V_y$$

Tabla 40
Sobrerresistencia global de estructura irregular en el eje Y

Casos	V (TON)
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	565
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	813.16
Sobrerresistencia (SR)	1.44

Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Ductilidad

Es la capacidad que tiene un material, estructura o elemento estructural para deformarse inelásticamente. La ductilidad del acero de refuerzo es el principal causante del comportamiento dúctil de una sección de concreto armado. Después de superar el límite de elasticidad, se pueden lograr grandes deformaciones, las cuales se pueden estimar a través de la relación desplazamiento último y desplazamiento de fluencia.

$$so\mu = \Delta u / \Delta y$$

Tabla 41
Ductilidad de estructura irregular en el eje Y

Casos	Δ (cm)
Desplazamiento de fluencia (Δy)	9.20
Desplazamiento ultimo (Δu)	46.92
Ductilidad (μ)	5.1
R	6.375

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: Desempeño

En la tabla 42 y figura 51, se observan los desplazamientos de la estructura en estudio para diferentes espectros de sismos clasificados según su periodo de retorno.

Tabla 42
Nivel de diseño sísmica de estructura irregular en el eje Y

		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
Normas	Sismos	43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	11.47	22.11	29.37	34.54

Fuente: Elaboración propia

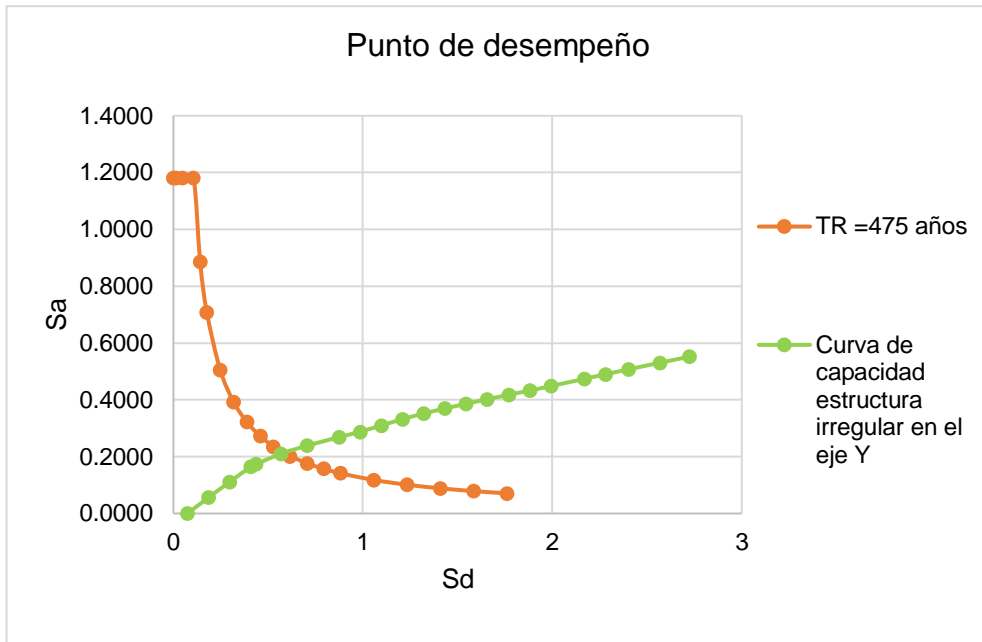


Figura 51. Punto de desempeño de estructura irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 43 y figura 52, se muestran los desplazamientos producidos en la estructura irregular. Para el nivel totalmente inmediato ocupacional, se asigna un desplazamiento de fluencia (Δy) 9.2 cm; para el nivel inmediato ocupacional, se adiciona el 30 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.3 * \Delta p$), del cual se obtiene como resultado 20.516 cm; para el nivel de seguridad de vida, se adiciona el 60 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.6 * \Delta p$), del cual se determina el resultado de 31.832 cm; y para el nivel de prevención de colapso, se asigna el máximo desplazamiento generado 56.74 cm.

Tabla 43
Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje Y

Limites	Totalmente Inmediato Ocupacional	Inmediato Ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
0	9.2	20.516	31.832	56.74
1500	9.2	20.516	31.832	56.74

Fuente: Elaboración propia

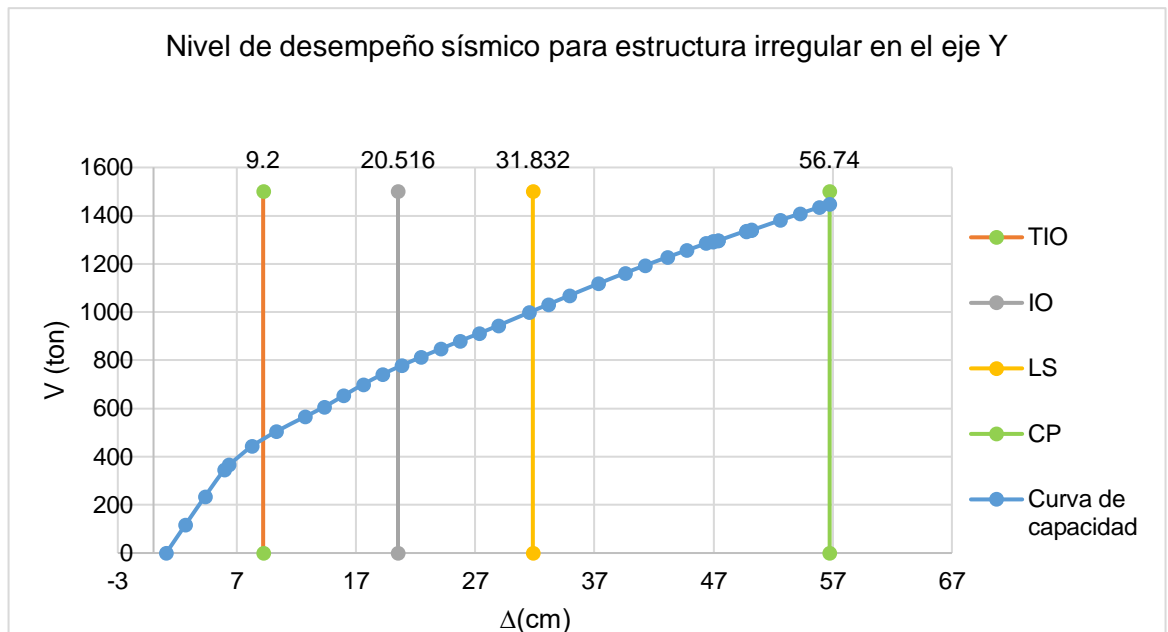


Figura 52. Nivel de desempeño sísmico de estructura irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Modelo irregular en el eje X

Paso 1: Curva de capacidad

Después de asignar los elementos estructurales, patrones de carga, rótulas plásticas, se aplica el programa ETABS 2017.0.1 para ver los resultados de desplazamientos y cortantes. Con esa información, se grafica la curva de capacidad, en la cual se puede analizar la ductilidad, sobrerresistencia y rigidez. Se observa el máximo desplazamiento de 28.1456 cm generado por un esfuerzo cortante de 12032.38 ton, el cual origina el colapso de la estructura.

El desplazamiento de fluencia (Δ_y) es de 5.48 cm y el desplazamiento último (Δ_u) es de 28.04 cm y, con los datos anteriormente mencionados, calculamos la capacidad de desplazamiento inelástico (Δ_p) equivalente a 22.5.

Tabla 44
Desplazamientos vs Cortantes en estructura irregular en el eje X

Δ cm	V (ton)
0	0
1.5869	1786.0636
2.0744	2178.1593
3.7662	3248.5373
6.103	4445.2379
7.9221	5284.2648
9.9134	6150.1056
11.9105	6955.8961
13.5345	7563.4065
15.2679	8179.6523
17.2006	8828.4184
18.8246	9351.4982
20.7806	9951.6625
2.6434	10501.393
24.6053	11063.152
26.7455	11654.012
27.2547	11792.137
27.7786	11933.18
27.7798	11934.258
28.1444	12034.098
28.1456	12032.38

Fuente: Elaboración propia

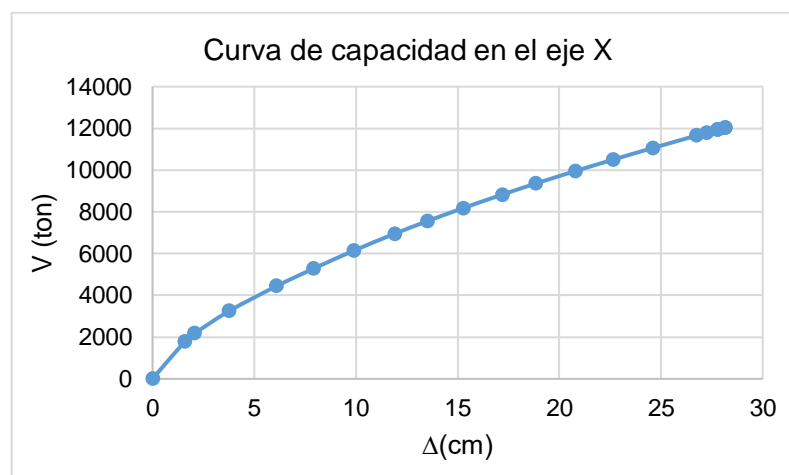


Figura 53. Curva de capacidad de estructura irregular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Rigidez Lateral

La rigidez lateral está determinada por la geometría de la sección transversal de vigas, columnas y placas, con las que se determinan las

propiedades geométricas tales como áreas y momentos de inercia, lo que define las propiedades elásticas como el módulo de elasticidad (E) y la razón de Poisson (μ).

La rigidez es la tangente a un punto cualquiera de la curva de capacidad, no es un valor constante. Esta varía de acuerdo al nivel de deformación de la estructura; la pendiente en cualquier punto de la curva es la rigidez, la misma que disminuye conforme se deforma la estructura.

Tabla 45
Rigidez lateral de estructura irregular en el eje X

Niveles	NPT	Vx	Δx max	Rigidez lateral
		ton	m	tn/m
Piso 8	30.45	72.0091	0.226018	318.599
Piso 7	27.35	133.4371	0.20972	636.263
Piso 6	24.25	182.0337	0.190041	957.865
Piso 5	21.15	221.2448	0.166903	1325.589
Piso 4	18.05	254.4136	0.140907	1805.543
Piso 3	14.95	283.6654	0.112554	2520.260
Piso 2	11.85	309.2104	0.082703	3738.805
Piso 1	8.95	328.9206	0.052708	6240.430
Semisótano	2.75	329.0547	7.20E-05	4570204.167

Fuente: Elaboración propia

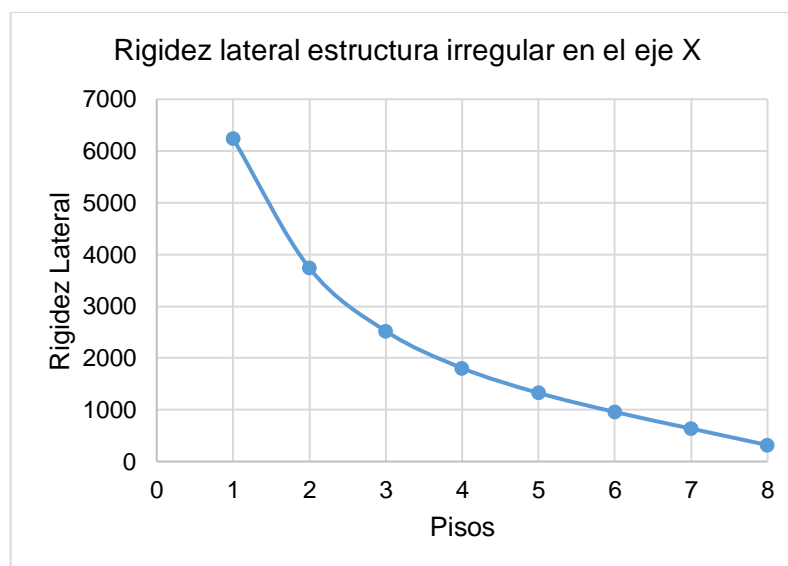


Figura 54. Curva de rigidez lateral en estructura irregular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Sobrerresistencia global

La sobrerresistencia de la estructura en estudio se determina a través del cociente de la fuerza cortante última, o de colapso, con la fuerza cortante de fluencia efectiva.

$$SR = V_u / V_y$$

Tabla 46
Sobrerresistencia global de estructura irregular en el eje X

Casos	V (TON)
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	6955
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	10501
Sobrerresistencia (SR)	1.51

Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Ductilidad

Es la capacidad que tiene un material, estructura o elemento estructural para deformarse inelásticamente. La ductilidad del acero de refuerzo es el principal causante del comportamiento dúctil de una sección de concreto armado. Después de superar el límite de elasticidad, se puede lograr grandes deformaciones, las que se pueden estimar a través de la relación desplazamiento último y el de fluencia.

$$\mu = \Delta u / \Delta y$$

Tabla 47
Ductilidad de estructura irregular en el eje X

Casos	Δ (cm)
Desplazamiento de fluencia (Δy)	5.48
Desplazamiento ultimo (Δu)	28.04
Ductilidad (μ)	5.12
R	6.40

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: Desempeño

En la tabla 48 y figura 55 se observan los desplazamientos de la estructura en estudio para diferentes espectros de sismos clasificados según su periodo de retorno.

Tabla 48

Nivel de diseño sísmica de estructura irregular en el eje X

		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
Normas	Sismos	43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	1.84	3.76	5.45	6.73

Fuente: Elaboración propia

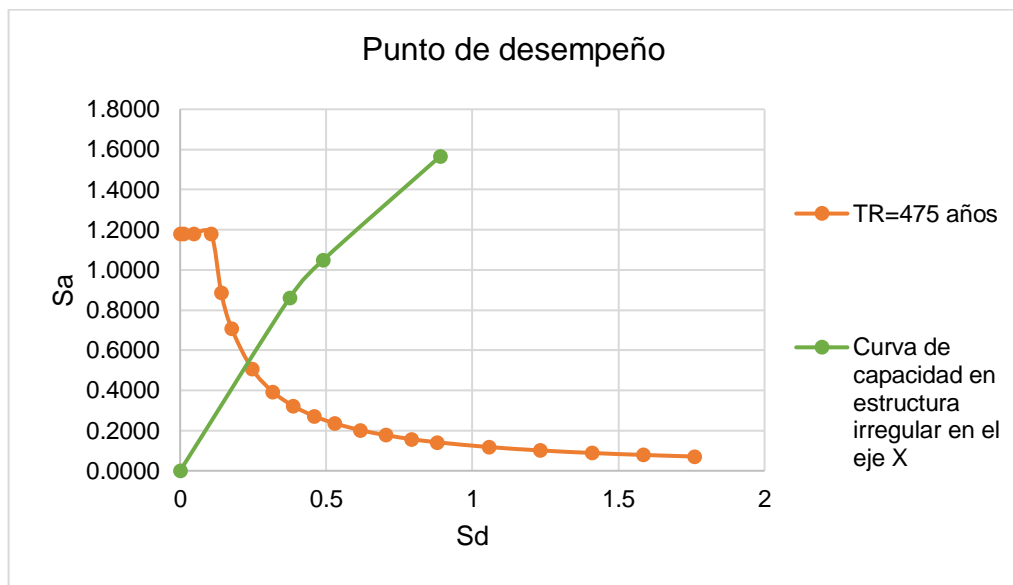


Figura 55. Punto de desempeño de estructura irregular en el eje X

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 49 y figura 56, se muestran los desplazamientos producidos en la estructura irregular. Para el nivel totalmente inmediato ocupacional, se asigna un desplazamiento de fluencia (Δy) 5.48 cm; para el nivel inmediato ocupacional se adiciona el 30% de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.3 * \Delta p$), del cual se obtiene como resultado 12.248 cm; para el nivel de seguridad de vida, se adiciona el 60 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.6 * \Delta p$), a partir del cual se genera como resultado 19.016 cm; y para el nivel de prevención de colapso, se asigna el máximo desplazamiento generado 28.15 cm.

Tabla 49
Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje X

Limites	Totalmente Inmediato Ocupacional	Inmediato Ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
0	5.48	12.248	19.016	28.15
12300	5.48	12.248	19.016	28.1456

Fuente: Elaboración propia

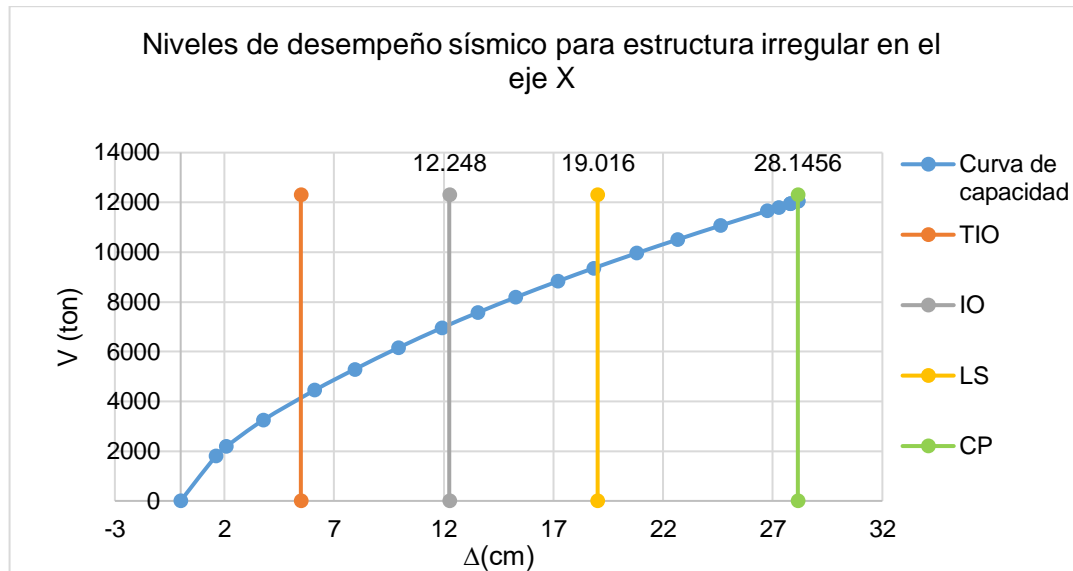


Figura 56. Nivel de desempeño sísmico de estructura irregular en el eje X
 Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Modelo regular en el eje Y

Paso 1: Curva de capacidad

Después de asignar los elementos estructurales, patrones de carga y las rótulas plásticas, se aplica el programa ETABS 2017.0.1 para ver los resultados de desplazamientos y cortantes. Con esa información, se grafica la curva de capacidad, en la cual se puede analizar la ductilidad, sobrerresistencia y rigidez.

Se observa el máximo desplazamiento de 48.4508 cm, generado por un esfuerzo cortante de 2993.5457 ton, el cual se origina el colapso de la estructura.

El desplazamiento de fluencia (Δy) es de 9 cm y desplazamiento último (Δu) es de 48.54 cm. Con los datos anteriormente mencionados, calculamos la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp), que es equivalente a 39.54.

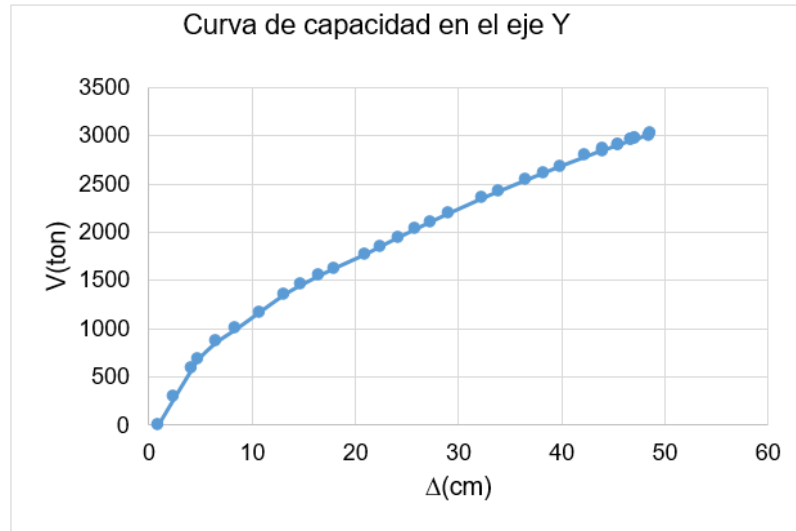


Figura 58: Curva de capacidad de estructura regular en el eje Y

Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Curva de capacidad de estructura regular en el eje Y

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50

Desplazamientos vs cortantes de estructura regular en el eje Y

Δ cm	V (ton)
0.8873	0
2.5113	291.005
4.1353	576.3302
4.8274	686.3533
6.4998	851.9478
8.4138	989.8284
10.7599	1170.8035
13.1686	1351.9308
14.7926	1451.2554
16.4166	1540.5056
18.0406	1623.9209
20.9154	1764.8752
22.5394	1853.4183
24.1634	1940.4808
25.7874	2025.1407
27.4114	2107.9341
29.0354	2188.4716

32.2746	2344.171
33.9967	2422.1601
36.5712	2535.4437
38.1952	2605.6409
39.8829	2677.2989
42.3917	2779.9187
44.0157	2845.3037
44.0169	2841.0838
45.5542	2903.0724
45.5554	2898.8396
46.7994	2948.9025
46.8006	2944.5503
47.2025	2961.281
47.2037	2957.4812
48.752	3019.0304
48.4508	2993.5457

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Rigidez Lateral

La rigidez lateral está determinada por la geometría de la sección transversal de vigas, columnas y placas, con las que se determinan las propiedades geométricas tales como áreas y momentos de inercia, los que definen las propiedades elásticas como módulo de elasticidad (E) y razón de Poisson (μ).

La rigidez es la tangente a un punto cualquiera de la curva de capacidad, no es un valor constante. Esta varía de acuerdo al nivel de deformación de la estructura. La pendiente, en cualquier punto de la curva, es la rigidez, la misma que disminuye conforme se deforma la estructura.

Tabla 51
Rigidez lateral de estructura regular en el eje Y

Niveles	NPT	Vx ton	Δx max m	Rigidez lateral tn/m
Piso 8	27.85	68.0995	0.241634	281.829
Piso 7	24.75	195.237	0.211164	924.575
Piso 6	21.65	368.5112	0.179941	2047.956
Piso 5	18.55	578.5106	0.148102	3906.163
Piso 4	15.45	818.054	0.115628	7074.878
Piso 3	12.35	1080.9384	0.082725	13066.647
Piso 2	9.25	1360.7348	0.050654	26863.324
Piso 1	6.15	1649.4764	0.021519	76652.093
Semisótano	2.75	1940.4808	0.001758	1103800.228

Fuente: Elaboración propia

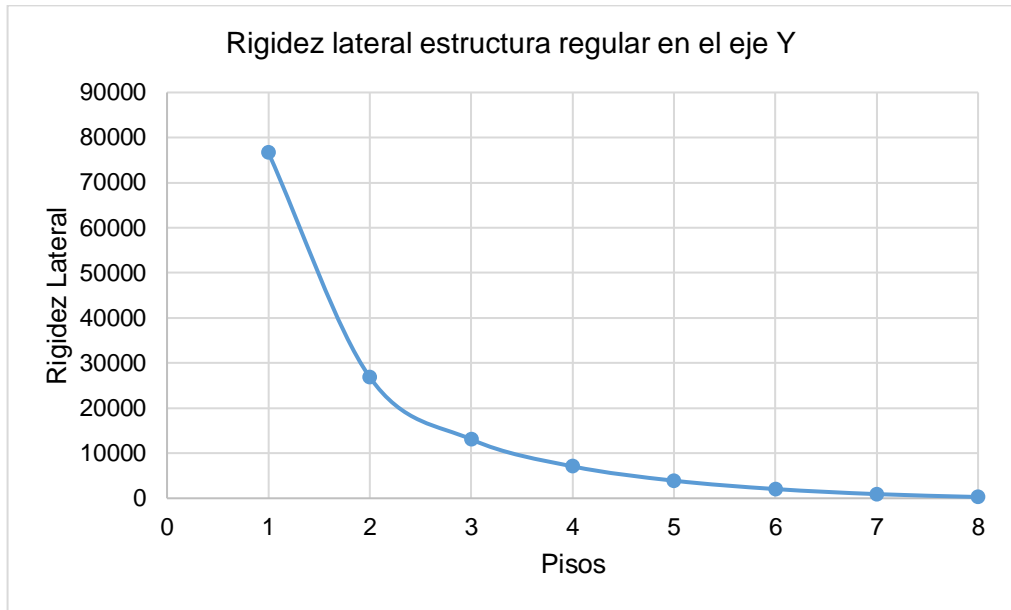


Figura 58. Curva de rigidez lateral en estructura regular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Sobrerresistencia global

La sobrerresistencia de la estructura en estudio se determina a través del cociente de la fuerza cortante última, o de colapso, con la fuerza cortante de fluencia efectiva.

$$SR = V_u / V_y$$

Tabla 52

Sobrerresistencia global de estructura regular en el eje Y

Casos	V (TON)
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	989
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	1940
Sobrerresistencia (SR)	1.96

Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Ductilidad

Es la capacidad que tiene un material, estructura o elemento estructural para deformarse inelásticamente. La ductilidad del acero de refuerzo es el principal causante del comportamiento dúctil de una sección de concreto armado. Después de superar el límite de elasticidad, se puede lograr grandes

deformaciones, las cuales pueden estimar, a través de la relación, el desplazamiento último y el de fluencia.

$$\mu = \Delta u / \Delta y$$

Tabla 53
Ductilidad de estructura regular en el eje Y

Casos	Δ (cm)
Desplazamiento de fluencia (Δy)	9
Desplazamiento ultimo (Δu)	48.54
Ductilidad (μ)	5.393333
R	6.741667

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: Desempeño

En la tabla 54 y figura 59, se observan los desplazamientos de la estructura en estudio, para diferentes espectros de sismos clasificados, según su periodo de retorno.

Tabla 54
Nivel de diseño sísmica de estructura regular en el eje Y

		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
Normas	Sismos	43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	7.38	15.54	21.06	25.68

Fuente: Elaboración propia

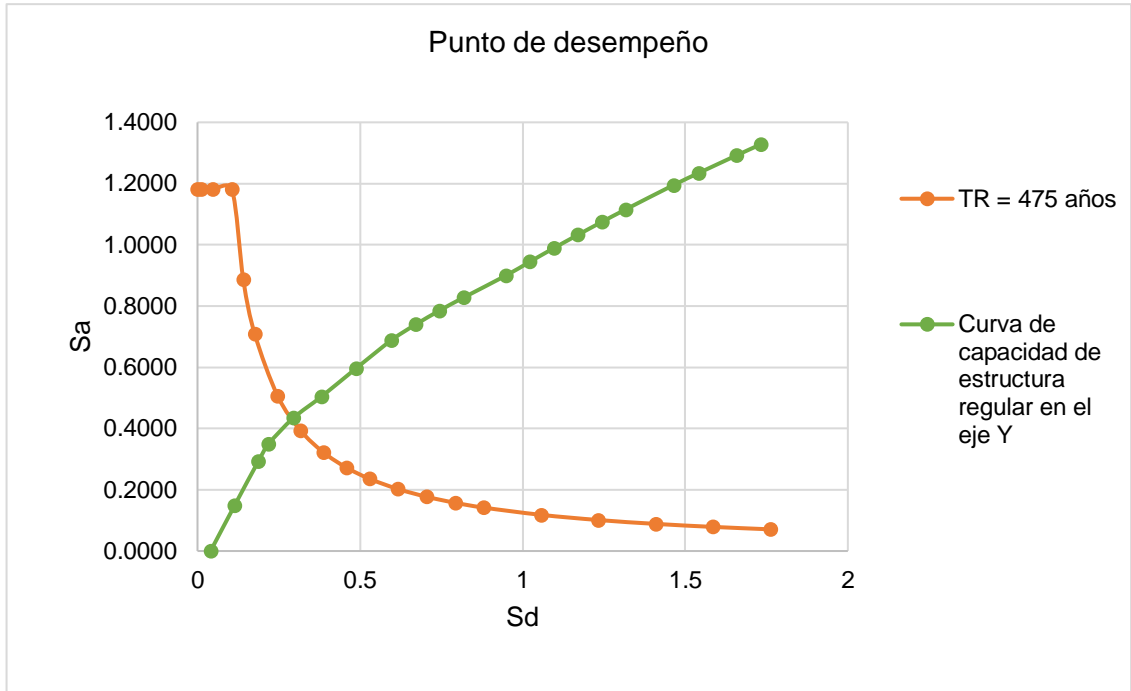


Figura 59. Punto de desempeño sísmico de estructura regular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 55 y figura 60, se muestran los desplazamientos producidos en la estructura regular. Para el nivel totalmente inmediato ocupacional, se asigna un desplazamiento de fluencia (Δy) 9 cm; para el nivel inmediato ocupacional, se adiciona el 30 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.3 * \Delta p$), del cual se obtiene el resultado 20.862 cm; para el nivel de seguridad de vida, se adiciona el 60 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.6 * \Delta p$), a partir del que se genera el resultado de 32.724 cm; y para el nivel de prevención de colapso, se asigna el máximo desplazamiento generado de 48.72 cm.

Tabla 55
Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje Y

Limites	Totalmente inmediato ocupacional	Inmediato ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
0	9	20.862	32.724	48.72
3100	9	20.862	32.724	48.72

Fuente: Elaboración propia

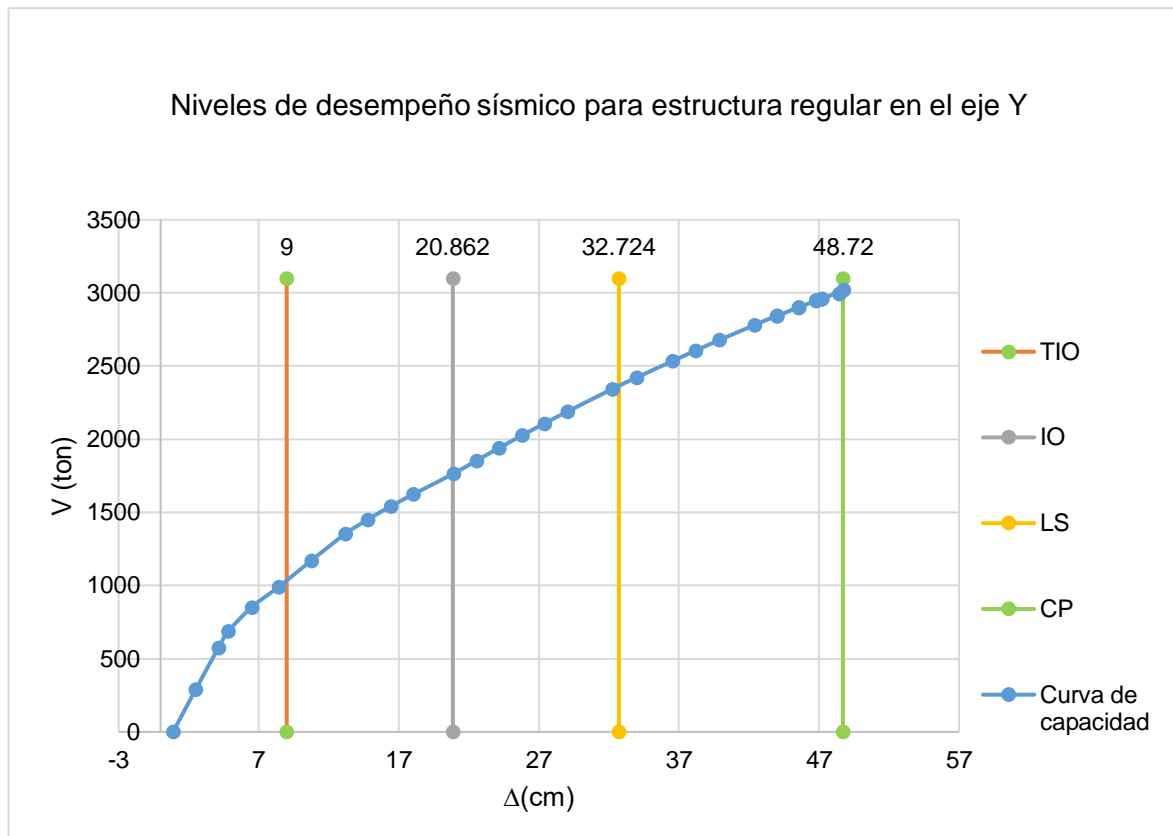


Figura 60. Nivel de desempeño sísmico de estructura regular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Modelo regular en el eje X

Paso 1: Curva de capacidad

Después de asignar los elementos estructurales, patrones de carga y las rótulas plásticas, se aplica el programa ETABS 2017.0.1 para ver los resultados de desplazamientos y cortantes. Con esa información, se grafica la curva de capacidad, en la cual se puede analizar la ductilidad, sobrerresistencia y rigidez.

Se observa el máximo desplazamiento de 29.032 cm, generado por un esfuerzo cortante de 29589.3005 ton, el cual se origina el colapso de la estructura.

El desplazamiento de fluencia (Δ_y) es de 5.45 cm y el desplazamiento último (Δ_u) es de 28.95 cm. Con los datos anteriormente mencionados, calculamos la capacidad de desplazamiento inelástico (Δ_p), el cual es equivalente a 23.5.

Tabla 56
Desplazamientos vs Cortantes de estructura regular en el eje X

Δ cm	V (ton)
-0.0304	0
1.5936	4173.683
2.2193	5326.4174
4.0673	8042.5136
5.8445	10168.515
7.9266	12579.7885
9.5949	14309.7956
11.514	16171.7205
13.3077	17809.5425
14.9317	19207.6359
16.6046	20565.2081
18.2286	21824.9936
21.4599	24178.044
24.4099	26241.4624
27.1997	28244.1846
27.1997	28244.1854
27.1877	28227.7072
27.1985	28243.1085
28.829	29439.4344
29.032	29589.3005

Fuente: Elaboración propia

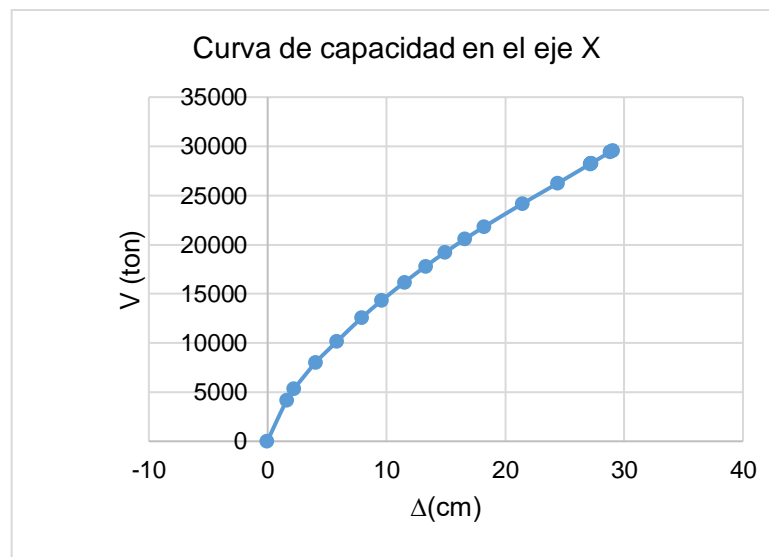


Figura 61. Curva de capacidad de estructura regular en el eje X
 Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Rigidez lateral

La rigidez lateral está determinada por la geometría de la sección transversal de vigas, columnas y placas, con las que se determinan las propiedades geométricas tales como áreas y momentos de inercia, los que definen las propiedades elásticas como módulo de elasticidad (E) y razón de Poisson (μ).

La rigidez es la tangente a un punto cualquiera de la curva de capacidad, ya que no es un valor constante. Esta varía de acuerdo al nivel de deformación de la estructura. La pendiente, en cualquier punto de la curva, es la rigidez, la misma que disminuye conforme se deforma la estructura.

Tabla 57
Rigidez lateral de estructura regular en el eje X

Niveles	NPT	Vx	Δx máx.	Rigidez lateral
		ton	m	tn/m
Piso 8	27.85	924.3913	0.271877	3400.035
Piso 7	24.75	2709.8642	0.238265	11373.320
Piso 6	21.65	5190.9064	0.203898	25458.349
Piso 5	18.55	8234.8172	0.168538	48860.300
Piso 4	15.45	11728.946	0.132291	88660.198
Piso 3	12.35	15576.655	0.095754	162673.677
Piso 2	9.25	19679.993	0.06032	326259.836
Piso 1	6.15	23929.548	0.028799	830915.948
Semisótano	2.75	28227.675	0.005223	5404494.448

Fuente: Elaboración propia

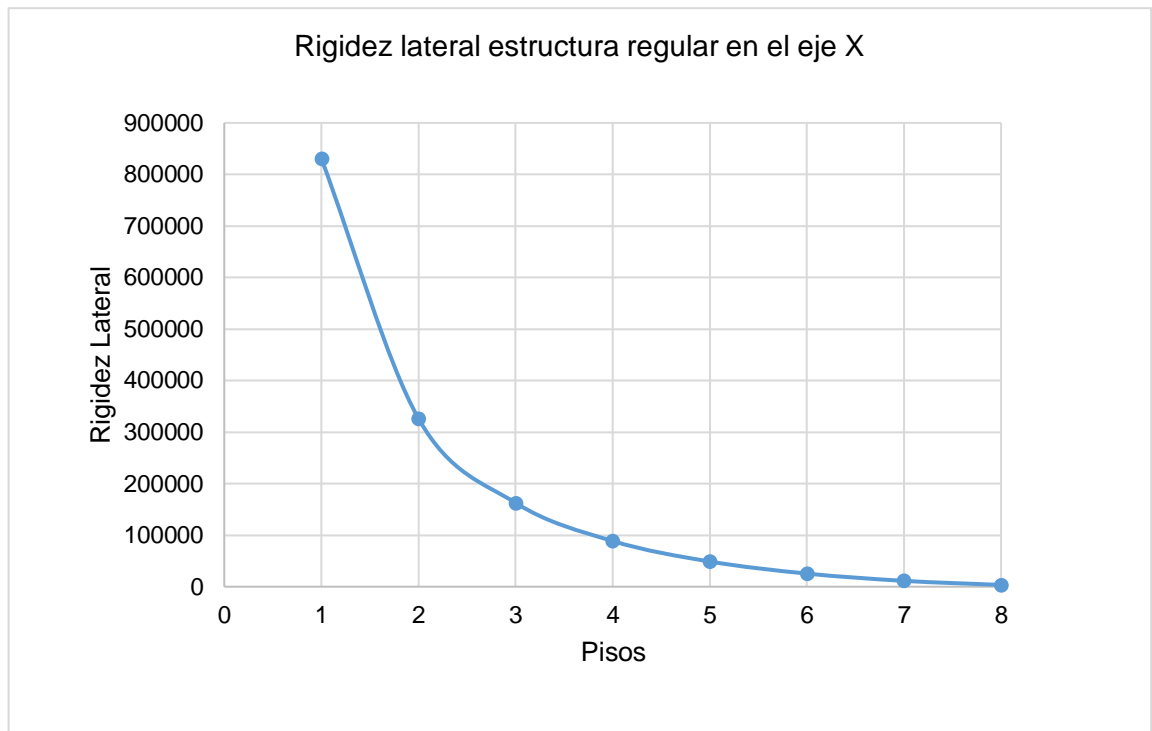


Figura 62. Curva de rigidez lateral en estructura regular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Sobrerresistencia global

La sobrerresistencia de la estructura en estudio se determina a través del cociente de la fuerza cortante última o de colapso con la fuerza cortante de fluencia efectiva.

$$SR = V_u / V_y$$

Tabla 58

Sobrerresistencia global de estructura regular en el eje X

Casos	V (TON)
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	12580
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	28228
Sobrerresistencia (SR)	2.24

Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Ductilidad

Es la capacidad que tiene un material, estructura o elemento estructural para deformarse inelásticamente. La ductilidad del acero de refuerzo es el

principal causante del comportamiento dúctil de una sección de concreto armado. Después de superar el límite de elasticidad, se pueden lograr grandes deformaciones, las que se pueden estimar a través de la relación del desplazamiento último y con el de fluencia.

$$\mu = \Delta u / \Delta y$$

Tabla 59
Ductilidad de estructura regular en el eje X

Casos	Δ (cm)
Desplazamiento de fluencia (Δy)	5.45
Desplazamiento ultimo (Δu)	28.95
Ductilidad (μ)	5.31
R	6.64

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: Desempeño

En la tabla 60 y figura 63, se observan los desplazamientos de la estructura en estudio para diferentes espectros de sismos clasificados según su periodo de retorno.

Tabla 60
Nivel de diseño sísmica de estructura regular en el eje X

		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
Normas	Sismos	43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	0.298	3.76	5.45	6.73

Fuente: Elaboración propia

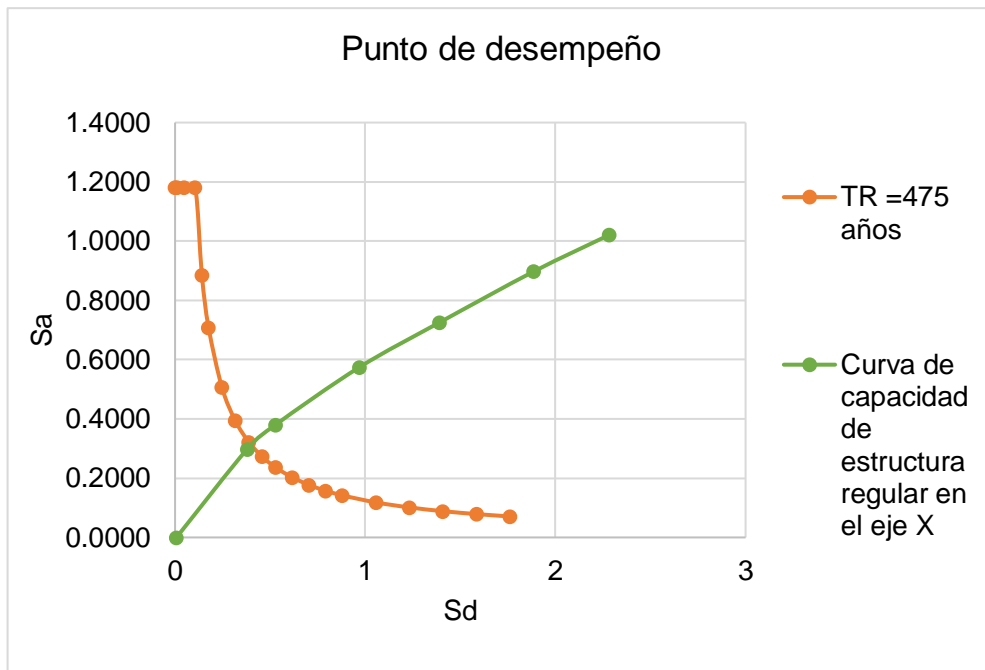


Figura 63. Punto de desempeño de estructura regular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 61 y figura 65, se muestran los desplazamientos producidos en la estructura regular. Para el nivel totalmente inmediato ocupacional, se asigna un desplazamiento de fluencia (Δy) 5.45 cm; para el nivel inmediato ocupacional, se adiciona el 30 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.3 * \Delta p$), del cual se obtiene el resultado de 12.5 cm; para el nivel de seguridad de vida, se adiciona el 60 % de la capacidad de desplazamiento inelástico (Δp) ($IO = \Delta Y + 0.6 * \Delta p$), del cual se determina 19.55 cm como resultado; y para el nivel de prevención de colapso, se asigna el máximo desplazamiento generado de 29.03 cm.

Tabla 61
Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje X

Limites	Totalmente inmediato ocupacional	Inmediato ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
0	5.45	12.5	19.55	29.03
30000	5.45	12.5	19.55	29.032

Fuente: Elaboración propia

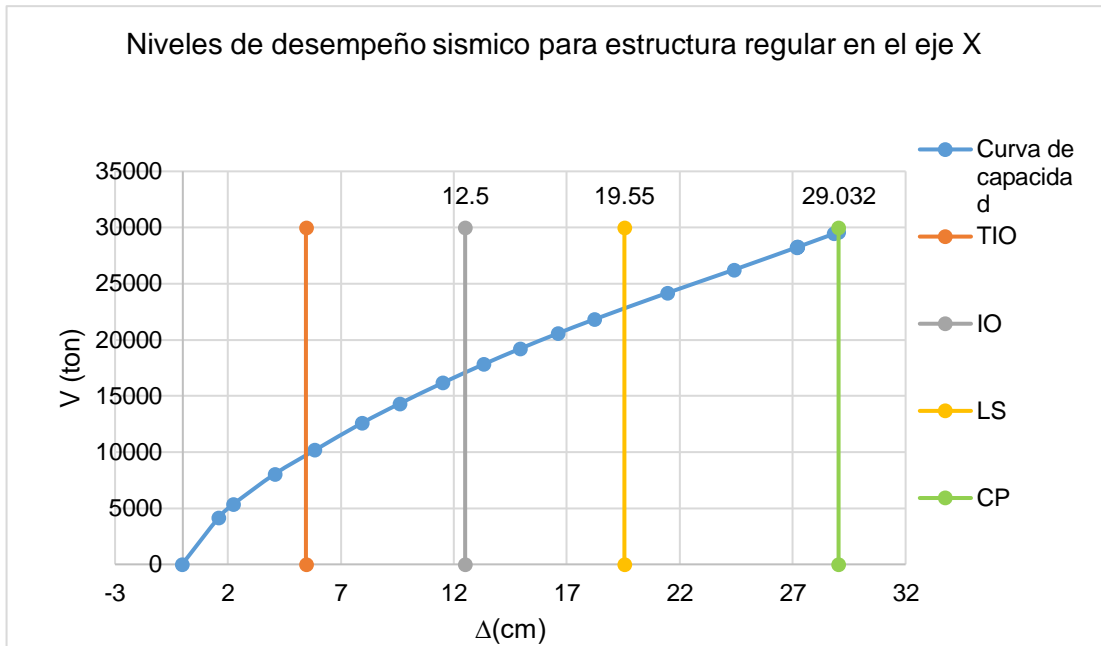


Figura 64. Nivel de desempeño sismico de estructura regular en el eje X
 Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Análisis dinámico lineal

6.1.1. Variación de rigidez en el eje Y

La estructura regular presenta mayor rigidez en comparación a la estructura irregular, la cual varía desde 89886.33 ton/m, en el primer piso, hasta 2716.69 ton/m, en el piso ocho. La estructura irregular presenta en el primer piso una rigidez inferior a la del segundo piso. Esto se debe a la doble altura considerada dentro del diseño arquitectónico del edificio en estudio. La rigidez lateral de entrepiso siempre es menor a la del piso inferior inmediato en la estructura regular, tal como se muestra en la tabla 62 y figura 65.

Tabla 62
Variación de rigidez en el eje Y.

Labels	Rigidez Lateral en estructura Irregular Eje Y	Rigidez Lateral en estructura Regular Eje Y	Variación de rigidez lateral
Semisótano	1308207.2	1376212.8	68005.61
Piso 1	68,196.45	158,082.78	89886.33
Piso 2	85649.16	102823.25	17174.09
Piso 3	65886.69	79773.90	13887.21
Piso 4	54998.98	65384.97	10385.99
Piso 5	45972.59	54178.31	8205.72
Piso 6	36881.48	43499.75	6618.27
Piso 7	26438.43	31343.34	4904.91
Piso 8	13842.6	16559.29	2716.69

Fuente: Elaboración propia

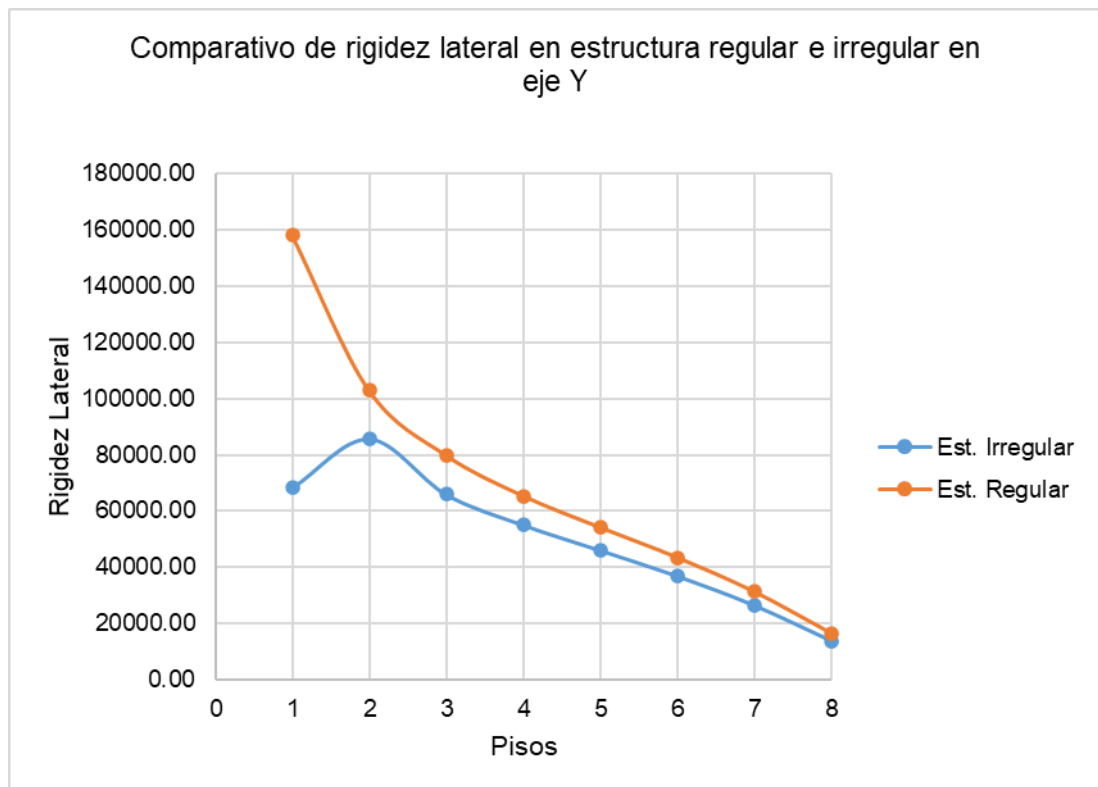


Figura 65. Comparativo de rigidez lateral en estructura regular e irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Variación de rigidez en el eje X

La estructura regular presenta mayor rigidez en comparación a la estructura irregular, la cual varía desde 808420.1367 ton/m, en el primer piso, hasta 43187.8476 ton/m, en el piso ocho. La estructura irregular presenta en el primer piso una rigidez inferior a la del segundo piso. Esto se debe a la doble altura considerada dentro del diseño arquitectónico del edificio en estudio. La rigidez lateral de entrepiso siempre es menor a la del piso inferior inmediato en la estructura regular, tal como se muestra en la tabla 63 y figura 66.

Tabla 63
Variación de rigidez en el eje X.

Labels	Rigidez Lateral en estructura Irregular Eje X	Rigidez Lateral en estructura Regular Eje X	Variación de rigidez
semisótano	7263962.6	7111098.837	152863.764
piso 1	741,135.97	1'549,556.104	808420.1367
piso 2	1036320.3	1173597.942	137277.644
piso 3	815943.16	964540.328	148597.1725
piso 4	695452.51	819339.168	123886.6596
piso 5	585803.77	691150.086	105346.3124
piso 6	474095.89	563804.77	89708.8796
piso 7	345376.72	416718.832	71342.1131
piso 8	183381.51	226569.358	43187.8476

Fuente: Elaboración propia

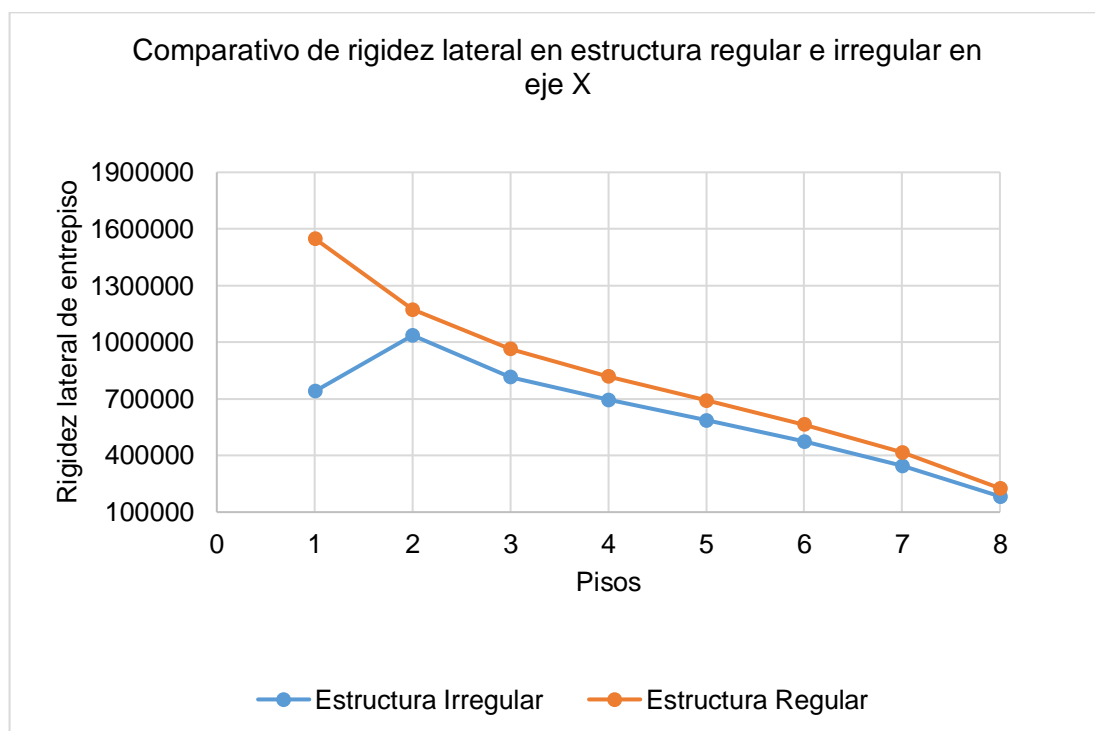


Figura 66. Comparativo de rigidez lateral en estructura regular e irregular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis estático no lineal

6.2.1. Variación en la curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje Y

En la tabla 64 y figura 68, se muestran los desplazamientos y fuerzas cortantes para la estructura regular e irregular. En la estructura regular, se observa menores desplazamientos cuando se le aplica la misma fuerza cortante, lo que produce que la curva de capacidad, de la estructura regular, se encuentre por encima de la estructura irregular. Así, varían, en ambas estructuras, la rigidez, sobrerresistencia, ductilidad y desempeño sísmico.

Tabla 64
Desplazamiento vs fuerza cortantes para estructura regular e irregular en el eje Y

Estructura irregular en el eje Y		Estructura regular en el eje Y	
Δ cm	V (ton)	Δ cm	V (ton)
1.0635	0	0.8873	0
2.6875	118.0426	2.5113	291.005
4.3115	234.2003	4.1353	576.3302
5.9355	346.4407	4.8274	686.3533
6.3404	366.0694	6.4998	851.9478
8.242	442.2755	8.4138	989.8284
10.2741	503.4236	10.7599	1170.8035
12.7101	565.5322	13.1686	1351.9308
14.3341	606.6106	14.7926	1451.2554
15.9581	653.2891	16.4166	1540.5056
17.5821	699.6986	18.0406	1623.9209
19.2061	741.3421	20.9154	1764.8752
20.8301	778.2406	22.5394	1853.4183
22.4541	813.165	24.1634	1940.4808
24.0781	846.6925	25.7874	2025.1407
25.7021	879.602	27.4114	2107.9341
27.3261	911.3988	29.0354	2188.4716
28.9501	944.3633	32.2746	2344.171
31.4962	997.7453	33.9967	2422.1601
33.1202	1031.4377	36.5712	2535.4437
34.8959	1068.47	38.1952	2605.6409
37.3288	1117.8467	39.8829	2677.2989
39.5778	1162.0324	42.3917	2779.9187
41.2395	1193.2314	44.0157	2845.3037
43.1298	1227.6264	44.0169	2841.0838
44.7538	1256.3413	45.5542	2903.0724
46.3778	1284.6403	45.5554	2898.8396
46.9595	1294.7646	46.7994	2948.9025

46.9607	1290.4028	46.8006	2944.5503
47.3476	1297.6541	47.2025	2961.281
47.3488	1295.6769	47.2037	2957.4812
49.7233	1337.0407	48.752	3019.0304
49.7245	1333.0674	48.4508	2993.5457
50.1706	1341.2666		
50.1718	1339.2815		
52.6078	1380.9958		
54.2318	1408.105		
55.8558	1434.6423		
56.7444	1449.0839		

Fuente: Elaboración propia

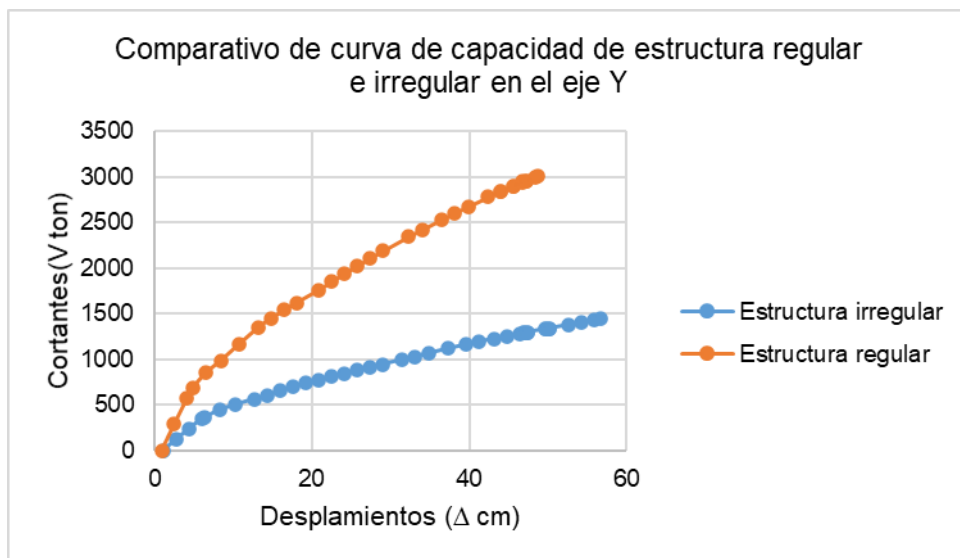


Figura 67. Comparativo de curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Variación de sobrerresistencia

La estructura regular muestra una sobrerresistencia de 1.96 (Ton) y la estructura irregular 1.44 (Ton) teniendo una variación de 0.52 (Ton) como se muestra en la tabla 66.

Tabla 65
Sobrerresistencia global de estructura regular e irregular en el eje Y

Casos	Estructura irregular	Estructura regular	Variación (Ton)
	V (Ton)	V (Ton)	
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	565	989	424
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	813.16	1940	1226
Sobrerresistencia (SR)	1.44	1.96	0.52

Fuente: Elaboración propia

Variación de ductilidad

En la figura 66 se muestra la variación de ductilidad de la estructura regular e irregular. Para ambas estructuras existe una variación en el desplazamiento de fluencia (Δy) de 0.2 cm y 1.62 cm en el desplazamiento último y una variación de 0.293 en la ductilidad.

Tabla 66
Ductilidad de estructura regular e irregular en el eje Y

Casos	Estructura Irregular	Estructura regular	Variación
	Δ (cm)	Δ (cm)	
Desplazamiento de fluencia (Δy)	9.2	9	0.2
Desplazamiento ultimo (Δu)	46.92	48.54	1.62
Ductilidad	5.1	5.393	0.293

Fuente: Elaboración propia

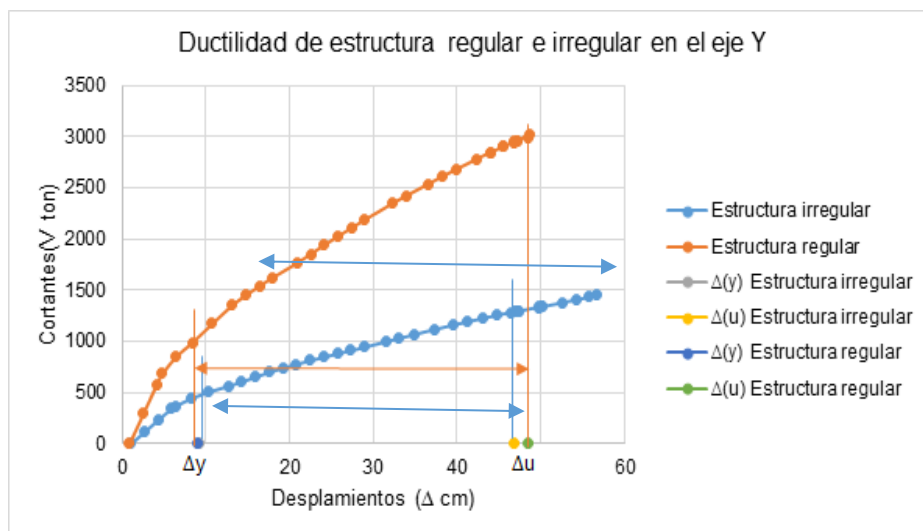


Figura 68. Comparativo de ductilidad en la estructura regular e irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Variación de desempeño

Para un espectro de sismo raro, con un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años, la estructura irregular se encuentra en un nivel de seguridad de vida, como se muestra en la figura 69.

En cambio, para un espectro de sismo raro, con un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años, la estructura regular se encuentra en un nivel de inmediato ocupacional, como se muestra en la figura 70.

Tabla 67
Niveles de diseño sísmico de estructura regular e irregular en el eje Y

Limites	Estructura irregular		Estructura regular	
	0	1500	0	3100
Totalmente Inmediato Ocupacional	9.2	9.2	9	9
Inmediato Ocupacional	20.516	20.516	20.862	20.862
Seguridad de vida	31.832	31.832	32.724	32.724
Prevención de colapso	56.74	56.74	48.72	48.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68
Niveles de desempeño sísmico de estructura regular e irregular en el eje Y

Normas	Sismos		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
			43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	Estructura regular	7.38	15.54	21.06	25.68
		Estructura irregular	11.47	22.11	29.37	34.54

Fuente: Elaboración propia

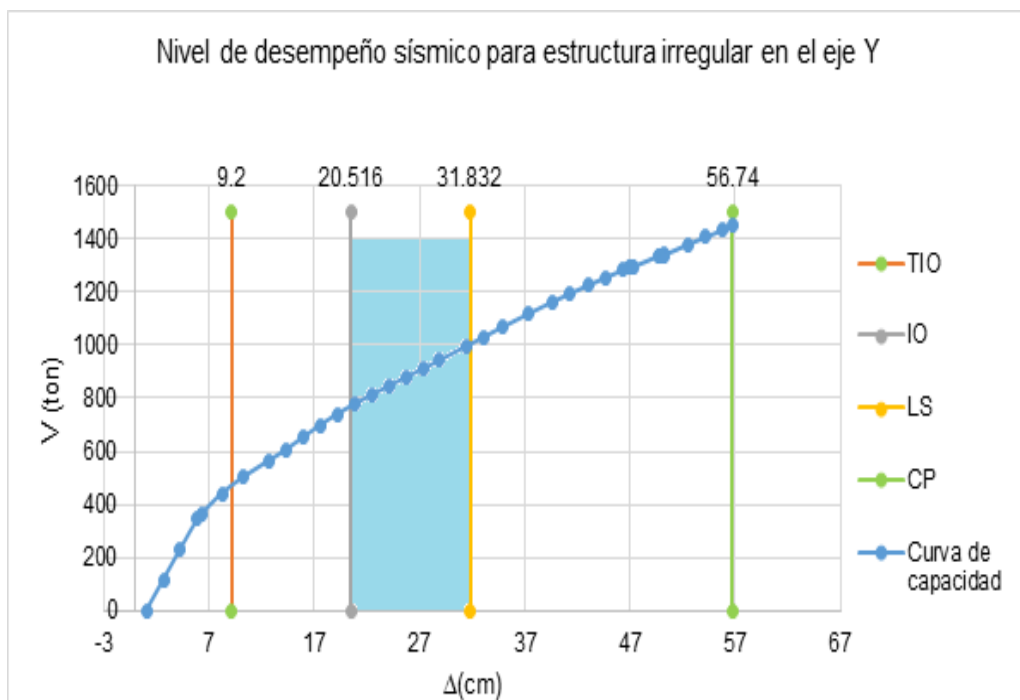


Figura 69. Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

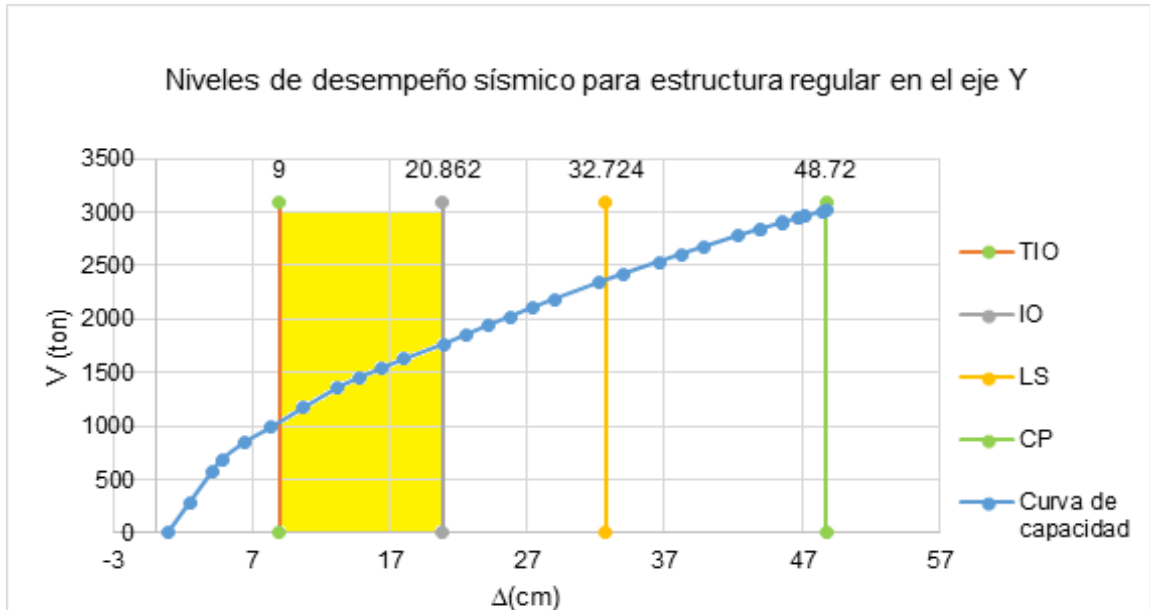


Figura 70. Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Variación en la curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje X

En la tabla 69 y figura 71, se muestra los desplazamientos y fuerzas cortantes para la estructura regular e irregular. En la primera, se observan menores desplazamientos cuando se le aplica la misma fuerza cortante, lo cual provoca que la curva de su capacidad se encuentre por encima de la estructura irregular. Así, varía en ambas estructuras la rigidez, sobrerresistencia, ductilidad y desempeño sísmico

Tabla 69
Desplazamiento vs Fuerza cortantes para estructura regular e irregular en el eje X

Estructura irregular en el eje X		Estructura regular en el eje X	
Δ cm	V (ton)	Δ cm	V (ton)
0	0	-0.0304	0
1.5869	1786.0636	1.5936	4173.683
2.0744	2178.1593	2.2193	5326.4174
3.7662	3248.5373	4.0673	8042.5136
6.103	4445.2379	5.8445	10168.515
7.9221	5284.2648	7.9266	12579.789
9.9134	6150.1056	9.5949	14309.796
11.9105	6955.8961	11.514	16171.721
13.5345	7563.4065	13.3077	17809.543
15.2679	8179.6523	14.9317	19207.636

17.2006	8828.4184	16.6046	20565.208
18.8246	9351.4982	18.2286	21824.994
20.7806	9951.6625	21.4599	24178.044
22.6434	10501.393	24.4099	26241.462
24.6053	11063.152	27.1997	28244.185
26.7455	11654.012	27.1997	28244.185
27.2547	11792.137	27.1877	28227.707
27.7786	11933.18	27.1985	28243.109
27.7798	11934.258	28.829	29439.434
28.1444	12034.098	29.032	29589.301

Fuente: Elaboración propia

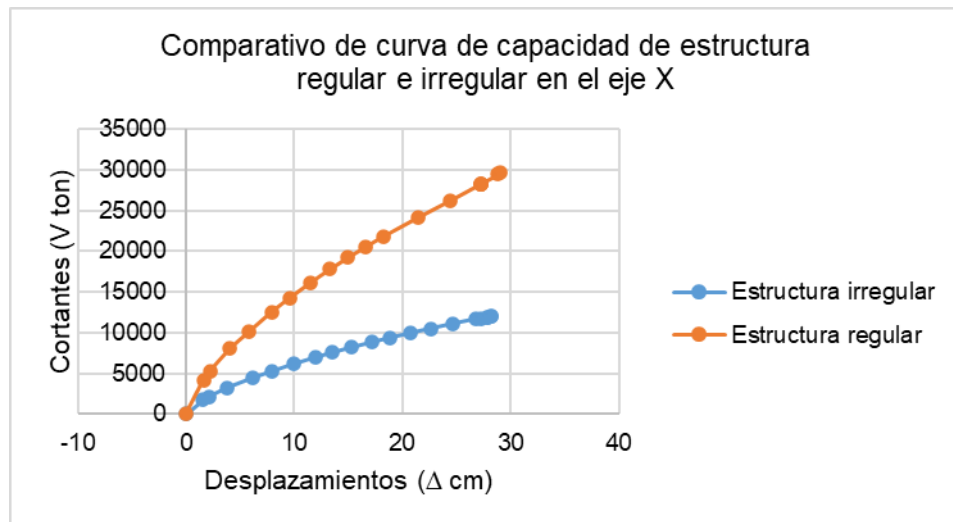


Figura 71. Comparativo de curva de capacidad de estructura regular e irregular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

Variación de sobrerresistencia

La estructura regular muestra una sobrerresistencia de 2.24 (Ton) y la estructura irregular, 1.51 (Ton), la cual presenta una variación de 0.73 (Ton), tal como se muestra en la tabla 70.

Tabla 70
Sobrerresistencia global de estructura regular e irregular en el eje X

Casos	Estructura Irregular	Estructura regular	Variación (Ton)
	V (Ton)	V (Ton)	
Fuerza cortante de fluencia efectiva (V_y)	6955	12580	5625
Fuerza cortante última o de colapso (V_u)	10501	28228	17727
Sobrerresistencia (SR)	1.51	2.24	0.73

Fuente: Elaboración propia

Variación de ductilidad

En la figura 72, se muestra la variación de ductilidad de la estructura regular e irregular. Para ambas, existe una variación en el desplazamiento de fluencia (Δy) de 0.03 cm y 0.91 cm, en el desplazamiento último, y una variación de 0.19 en la ductilidad.

Tabla 71
Ductilidad de estructura regular e irregular en el eje X

Casos	Estructura Irregular	Estructura regular	Variación
	Δ (cm)	Δ (cm)	
Desplazamiento de fluencia	5.48	5.45	0.03
Desplazamiento último	28.04	28.95	0.91
Ductilidad	5.12	5.31	0.19

Fuente: Elaboración propia

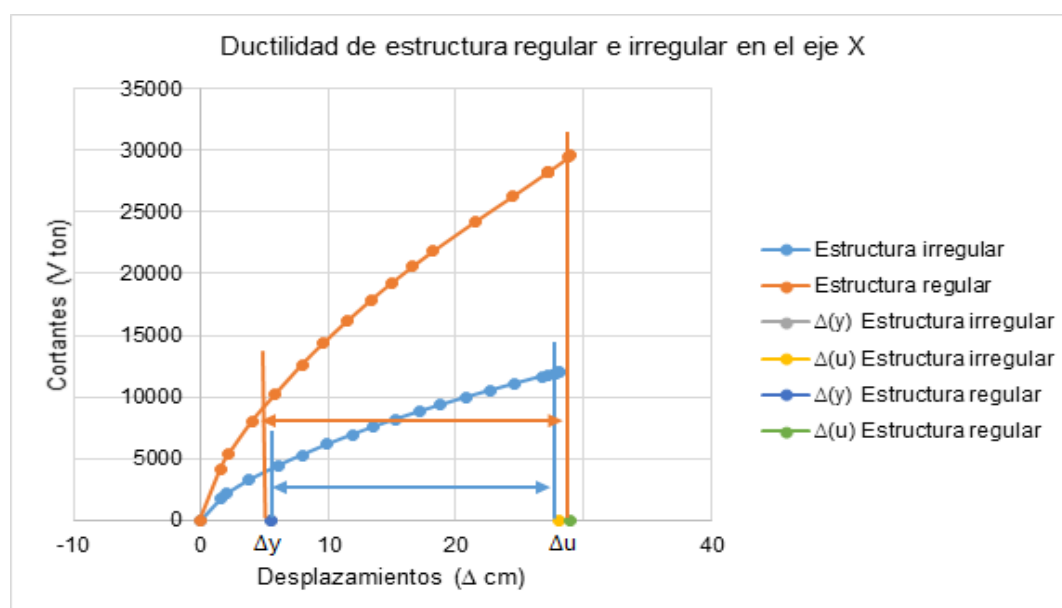


Figura 72. Comparativo de ductilidad en la estructura regular e irregular en el eje X

Fuente: Elaboración propia

Variación de desempeño

Para un espectro de sismo raro, con un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años, la estructura irregular

se encuentra en un nivel totalmente inmediato ocupacional, tal como se muestra en la figura 79.

En cambio, para un espectro de sismo raro, con un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años, la estructura regular se encuentra en un nivel totalmente inmediato ocupacional, como se muestra en la figura 80.

Tabla 72
Niveles de diseño sísmico de estructura regular e irregular en el eje X

Limites	Estructura irregular		Estructura regular	
	0	12300	0	30000
Totalmente Inmediato Ocupacional	5.48	5.48	5.45	5.45
Inmediato Ocupacional	12.248	12.248	12.5	12.5
Seguridad de vida	19.016	19.016	19.55	19.55
Prevención de colapso	28.15	28.1456	29.03	29.032

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73
Niveles de desempeño sísmico de estructura regular e irregular en el eje X

Normas	Sismos		Frecuente	Raro	Muy Raro	Excepcional
			43 años	475 años	975 años	1500 años
ASCE 41-13	Desplazamientos	Estructura regular	0.298	3.76	5.45	6.73
		Estructura irregular	1.84	3.76	5.45	6.73

Fuente: Elaboración propia

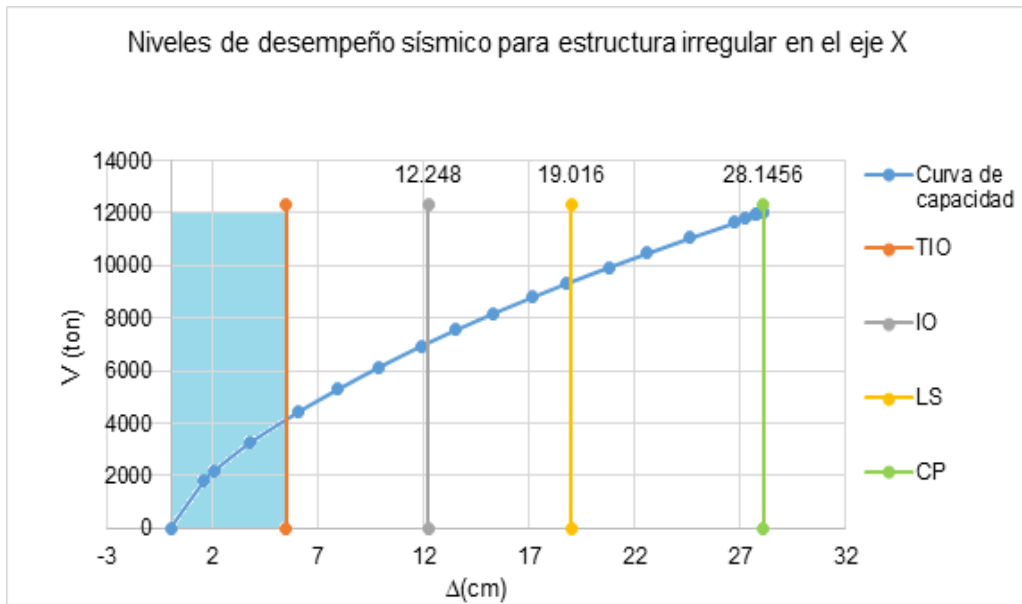


Figura 73. Nivel de desempeño sísmico para estructura irregular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

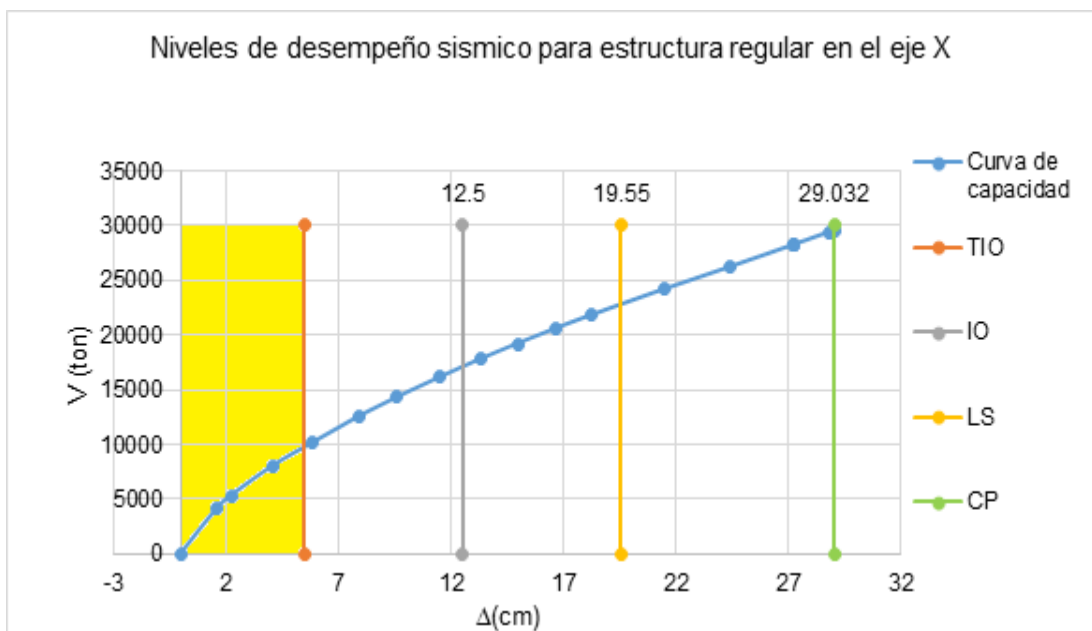


Figura 74. Nivel de desempeño sísmico para estructura regular en el eje X
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Respecto a la rigidez lateral.

1. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección X, se afirma que la rigidez lateral disminuye en un 52.17 % cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.
2. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección Y, se afirma que la rigidez lateral disminuye en un 56.86 % cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.

Respecto a la ductilidad.

- 1 De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección X, se afirma que la ductilidad disminuye de 5.31, en el edificio regular, a 5.12 cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.
- 2 De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección Y, se afirma que la ductilidad disminuye de 5.39, en el edificio regular, a 5.10 cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.

Respecto a la sobrerresistencia.

1. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección X, se afirma que la ductilidad disminuye de 5.31, en el edificio regular, a 5.12 cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.
2. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección Y, se afirma que la ductilidad disminuye de 5.39, en el edificio regular, a 5.10 cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.

Respecto al punto de desempeño.

1. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección X, se afirma que el punto de desempeño es totalmente inmediato ocupacional, sin tener variación, cuando el edificio presenta irregularidad de piso blando.
2. De acuerdo a los resultados de la investigación, y evaluando la estructura en la dirección Y, se afirma que el punto de desempeño es de seguridad de vida, para el edificio que presenta irregularidad de piso blando, y de inmediato ocupacional, para la estructura regular.

RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación a través del análisis dinámico no lineal para corroborar la variación del comportamiento de la estructura que presenta irregularidad de piso blando.
- Evaluar otras estructuras que presentan irregularidad de piso blando en posiciones distintas al primer piso. Puede ser el intermedio o el último piso.
- Evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones que presentan irregularidad de piso blando con otros sistemas estructurales.
- Evitar las formas irregulares, en arquitectura, de las edificaciones proporcionando una adecuada configuración a los elementos estructurales, los cuales brinden una rigidez uniforme a todos los niveles.
- Recomendar capacitaciones a los arquitectos e ingenieros sobre la estructuración de los edificios. En la mayoría de casos, el primer nivel es diseñado para fines comerciales (tiendas, restaurantes, salón multiusos, estacionamientos, etc.). De esta forma, presenta menor rigidez a comparación de los pisos superiores. Esto ocasiona el efecto de irregularidad de rigidez por piso blando

FUENTES DE INFORMACIÓN

Aguiar, R. (2008). *Análisis sísmico por desempeño*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas.

Alcántara, K. S., & Nalvarte, C. E. (2016). *Desempeño estructural aplicando la norma ATC-40 para el reforzamiento del pabellón “Monoblock” del Instituto Nacional de Salud del Niño* (tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima. Recuperado de <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/2411>

ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40 Report*, Volumes 1 and 2. California: Applied Technology Council. Recuperado de http://www.dinochen.com/attachments/month_0901/atc-402.pdf

Calcina, R. M. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no-lineal* (tesis de maestría). Universidad privada de Tacna, Tacna. Recuperado de http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/499/1/Calcina_Pena_Ramon.pdf

Celleri, A. (2014). *Ensayos de fatiga por flexión en acero ASTM – A36 y acero ASTM – A36 con recubrimiento de acero inoxidable AISI-304 por Termorociado* (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3147/1/000110392.pdf>

Cerda, P., Rivero, P., & Lobo-Quintero, W. (2006). Ciencia e ingeniería. evaluación del factor de respuesta R en estructuras de concreto armado con pisos blandos, *Revistas Saber* 27(2), 69-77. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/302>

Choque, J. F. & Luque, E. D. (2019). *Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma e.030* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8866>

Córdova, S. (2017). *Diseño sísmico directo basado en desplazamientos de un sistema estructural dual* (tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9315>

Delgado, J. E. (2005). *Análisis no lineal estático de estructuras y la norma E-030* (tesis de postgrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-san-ignacio-de-loyola/proyecto-de-ingenieria-civil/otros/analisis-no-lineal-estatico-de-estructuras-y-la-norma-e-030/6199211/view>

Fajardo, C. (2012). *Evaluación Estructural de una de las Edificaciones del Hospital Edgardo Rebagliati Martins usando el Método del Espectro de Capacidad* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.

FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Recuperado de https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-204905925/fema_356.pdf

Fernández, A., & Subía, E. (2014). *Análisis no lineal estático: Evaluación del desempeño de una estructura de hormigón y una de acero diseñada usando los códigos ASCE 7-10 y NEC 11 mediante el código*

ASCE 41-06 (tesis de pregrado). Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Quito. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11188>

González, H., Aguilar, C., Narcía, L., Cruz D. (2017). Efectos del piso blando en estructuras de mampostería en Chiapas, *Revista Ingeniería*. Recuperado de https://ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag5-11.pdf

García, C.A. & Calderón, J.W. (2018). *Evaluación y Aplicación de la Metodología del Análisis Dinámico Incremental* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5783>

Gonzalo, Q. (2010). Propuesta para considerar la irregularidad estructural en la resistencia lateral de las estructuras en el Perú (tesis de pregrado). Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/505/padilla_quincot_gonzalo_irregularidad_estructural_resistencia_lateral.pdf?sequence=1&isallowed=y

Guevara, P. (2009). *El piso blando y el piso débil - Mitigación del riesgo sísmico mediante la reducción de la vulnerabilidad. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica en Venezuela*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/343612289/piso-blando-y-piso-debil>

Huapaya, R. (2017). *Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/1305/tesis%20-%20huapaya.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Instituto Geofísico del Perú. (2020). *Último sismo ocurrido en el Perú, mapa temático*. Recuperado de <https://ultimosismo.igp.gob.pe/>

Janampa, J. y Fernández, V. (2018). Efectos de la irregularidad vertical de piso blando sobre la respuesta no-lineal de estructuras aporticadas, *Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural* 15(2), 01-18. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/326312507_efectos_de_la_irregularidad_vertical_de_piso_blando_sobre_la_respuesta_no-lineal_de_estructuras_aporticadas

Janampa, J. (2016). *Estudio de la influencia de la configuración estructural de piso blando en el comportamiento sismorresistente de estructuras aporticadas* (tesis de posgrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5722>

La Rosa, J. y Vila, G. F. (2019). *Comportamiento estructural del edificio prisma tower mediante el análisis dinámico no lineal*, Lima (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2809>

Maximiliano, I. (2007). *Estudio de la zona afectada por el terremoto de pisco*. Lima: Centro Regional de Sismología para América del Sur.

Navarro, E. (2014). *Evaluación del desempeño sísmico del edificio hospital privado Jaén de la ciudad de Jaén Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/87/T%20551.22%20N322%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ottazzi, G. (2004). *Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado* (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de: https://www.academia.edu/8091903/ottazzi_pasino_gianfranco_material_enseñanza_concreto_armado_1_

Páez, D., Zabala, J. & Rodríguez, Y. (2017). Piso blando, una falla común en el terremoto de pedernales. *Revista Ciencia*, 19(1) 59-75.

Recuperado de

<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/download/327/441>

Portillo, Y., Rodríguez, J. Y. & Martínez, C. (2011). *Introducción al diseño de marcos de concreto reforzados, por el método de Análisis Estático no lineal (pushover), utilizando un software especializado* (tesis de pregrado). Universidad del Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://opac.fmoues.edu.sv/infolib/tesis/50107679.pdf>

Quinto, J. A. (2019). *Estudio de la irregularidad por piso blando y su influencia en la estabilidad de edificios de albañilería confinada en la ciudad de Huancavelica* (tesis de grado). Universidad Nacional De Huancavelica, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2970>.

San Bartolomé, A. (2007). *El problema de piso blando*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú Lima, Perú, Recuperado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2010/07/Piso-Blando.pdf>

Safina, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93538/16CAPITULO7.pdf?sequence=16&isAllowed=y>

SEAOC (1995). *Performance based seismic engineering of building*. Sacramento: VISION 2000 Committee. Structural Engineering Association of California.

Servicio Nacional de Normalización (22 de octubre del 2018). Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción.

Sifuentes A. (30 de abril del 2020). *Cinco siglos de temblores en el Perú: desde 1471 hasta el 2020 el país no para de moverse. Perú Bicentenario*. Recuperado de <https://perubicentenario.pe>

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA CON IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO, MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PARA UNA EDIFICACIÓN DE 8 PISOS UBICADO EN EL DISTRITO DE SAN BORJA - LIMA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	IRREGULARIDAD DE PISO BLANDO	Rigidez entre piso	<u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</u> Enfoque: Cuantitativo Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental, transversal y retrospectivo
¿Cuál es la variación del <u>comportamiento sísmico</u> de una estructura con <u>irregularidad por piso blando</u> , mediante un análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?	Determinar la variación del <u>comportamiento sísmico</u> de una estructura con <u>irregularidad por piso blando</u> , mediante un análisis estático no lineal de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.	<u>La irregularidad de piso blando</u> influye negativamente en el <u>comportamiento sísmico</u> de una estructura al realizar un análisis no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.		Deriva entre piso	<u>MUESTRA:</u> Edificio de concreto armado de 8 pisos ubicado en el distrito de San Borja - Lima.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS		Resistencia entre piso	<u>INSTRUMENTOS:</u> Programa AutoCAD Programa Excel Programa ETABS Norma E.030 2018 Norma ATC-40 Norma FEMA 440 <u>PROCEDIMIENTO:</u> Realizar el modelo matemático del edificio.
P1.- ¿Cuál es la variación de rigidez de una estructura con irregularidad de piso blando, mediante un análisis estático no lineal de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?	O1.- Determinar la variación de rigidez de una estructura con irregularidad de piso blando, mediante un análisis estático no lineal (<i>pushover</i>) de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.	H1.- Los resultados de la evaluación revelan que la rigidez de la estructura se reduce en un 10% cuando presentan irregularidad de piso blando, según el análisis estático no lineal de una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.	VARIABLE INDEPENDIENTE		

<p>P2.- ¿Cuál es la variación de la ductilidad en una estructura según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?</p>	<p>O2.- Determinar la variación de la ductilidad en una estructura según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal (<i>pushover</i>) en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>	<p>H2.- Los resultados de la evaluación revelan que la ductilidad de la estructura es menor a 4 cuando presenta irregularidad de piso blando, según la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p>	<p>COMPORTAMIENTO SÍSMICO</p>	<p>Rigidez</p>	<p>Realizar el diagrama de momento curvatura. Se aplica patrones de carga lateral y gravitacional. Generar la curva de capacidad de la estructura. Comparar los resultados obtenidos de las dos estructuras. ductilidad, resistencia, rigidez y desplazamiento.</p>
<p>P3.- ¿Cuál es la variación de sobrerresistencia en una estructura que presenta irregularidad de piso blando obtenida en el análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?</p>	<p>O3- Determinar la variación de sobrerresistencia en una estructura que presenta irregularidad de piso blando obtenida en el análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>	<p>H3.- Los resultados de la evaluación revelan que la sobrerresistencia de la estructura se reduce en un 10% cuando presentan irregularidad de piso blando, según el análisis estático no lineal de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>			<p>Ductilidad</p>	<p>Determinar la demanda sísmica. Determinar el nivel de desempeño de la estructura según el nivel de daño (sismo de diseño) empleado. Comparar los resultados del desempeño sísmico de una estructura irregular frente a una estructura regular.</p>
<p>P4.- ¿Cuál es el nivel de desempeño de una estructura con y sin irregularidad de piso blando obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima?</p>	<p>O4.- Determinar del nivel de desempeño de una estructura con y sin irregularidad de piso blando obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>	<p>H4.- El desempeño sísmico obtenido muestra un nivel de seguridad para estructuras regulares y un nivel de pre colapso para estructuras con irregularidad de piso blando, obtenida del análisis estático no lineal en una edificación de 8 pisos en el distrito de San Borja – Lima.</p>			<p>Sobrerresistencia</p>	<p>Concluir como afecta la irregularidad de piso blando en el comportamiento de la estructura.</p>
					<p>Nivel de desempeño</p>	

Anexo 2
Análisis dinámico lineal

Sistemas estructurales

Verificación de sistemas estructurales para estructura irregular

	Estructura Irregular			
	Vx (dinámico)	%	Vy (dinámico)	%
columnas	0.45	0%	11.89	6%
Muros	588.88	100%	200.98	94%
total	589.33	100%	212.87	100%
Sistema	Muros Estructurales		Muros Estructurales	

Verificación de sistemas estructurales para estructura regular

	Estructura Regular			
	Vx (dinámico)	%	Vy (dinámico)	%
columnas	0.83	0%	18.99	11%
Muros	420.12	100%	155.65	89%
total	420.95	100%	174.64	100%
Sistema	Muros Estructurales		Muros Estructurales	

Ubicación de centro de masa y centro de rigidez

Verificación de centro de masa y centro de rigidez en estructura irregular

Ejes	XCM	YCM	XCR	YCR
Longitud	m	m	m	m
Semisótano	15.2768	5.8295	16.6022	5.822
Piso 1	13.7952	5.7629	17.0626	3.7157
Piso 2	13.7289	5.926	17.1479	4.1443
Piso 3	13.7372	5.9136	17.1678	4.3128
Piso 4	13.7372	5.9136	17.1926	4.4592
Piso 5	13.7372	5.9136	17.2226	4.5639
Piso 6	13.7372	5.9136	17.2552	4.653
Piso 7	13.7372	5.9136	17.2884	4.732
Piso 8	13.6685	6.0067	17.3236	4.8079

Verificación de centro de masa y centro de rigidez en estructura regular

Ejes	XCM	YCM	XCR	YCR
Longitud	m	m	m	m
Semisótano	15.3166	5.9012	16.5958	5.8309
Piso 1	13.7411	5.8353	16.9249	4.2
Piso 2	13.733	5.9202	17.0825	4.4473
Piso 3	13.7372	5.9136	17.1485	4.5307
Piso 4	13.7372	5.9136	17.1875	4.6153
Piso 5	13.7372	5.9136	17.2233	4.689
Piso 6	13.7372	5.9136	17.2592	4.7581
Piso 7	13.7372	5.9136	17.2942	4.8243
Piso 8	13.6685	6.0067	17.3308	4.8895

Anexo 3
Análisis estático lineal

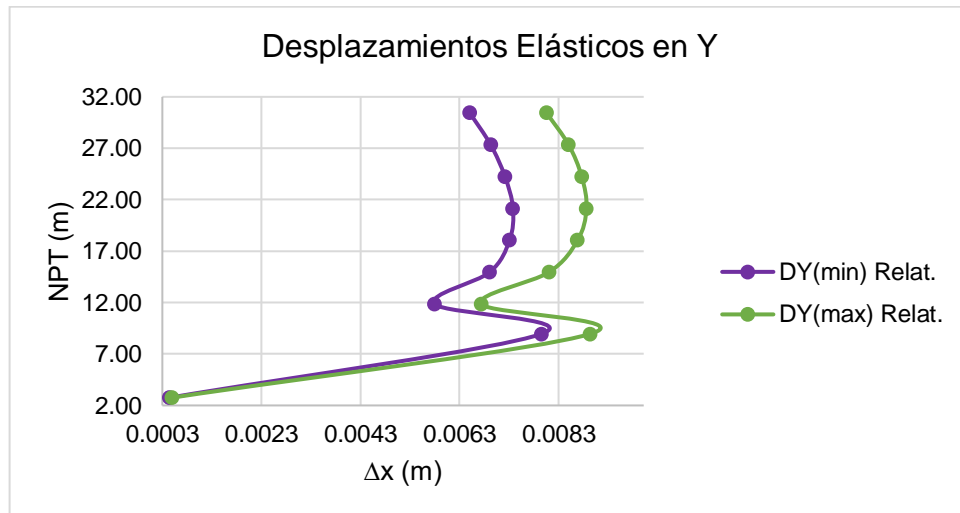
Desplazamientos relativos de estructura Irregular en dirección Y

Cuadro de desplazamientos relativos de estructura irregular en el eje Y

Desplazamientos Elásticos en Y

Labels	H (m)	Δy max relat	Δy min relat
Piso 8	30.45	0.0080	0.0065
Piso 7	27.35	0.0085	0.0069
Piso 6	24.25	0.0087	0.0072
Piso 5	21.15	0.0088	0.0074
Piso 4	18.05	0.0087	0.0073
Piso 3	14.95	0.0081	0.0069
Piso 2	11.85	0.0067	0.0058
Piso 1	8.95	0.0089	0.0079
Semisótano	2.75	0.0005	0.0004

Desplazamiento relativo de estructura irregular en eje X

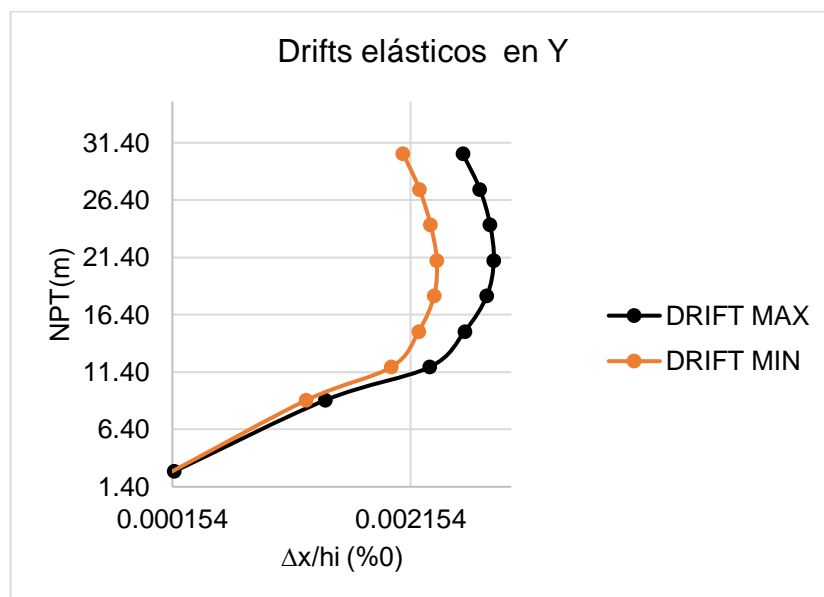


Derivas elásticas de estructura Irregular en el sentido Y

Cuadro de derivas en estructura irregular en el eje Y

Drifts elásticos en Y				
Labels	NPT	Drift max	Drift min	Drift permisible
Piso 8	30.45	0.002593	0.002092	0.007
Piso 7	27.35	0.002736	0.002229	0.007
Piso 6	24.25	0.002822	0.002322	0.007
Piso 5	21.15	0.002853	0.002375	0.007
Piso 4	18.05	0.002795	0.002352	0.007
Piso 3	14.95	0.002609	0.002222	0.007
Piso 2	11.85	0.002317	0.001994	0.007
Piso 1	8.95	0.001439	0.001280	0.007
Semisótano	2.75	0.000172	0.000154	0.007

Desplazamiento relativo estructura irregular en eje Y



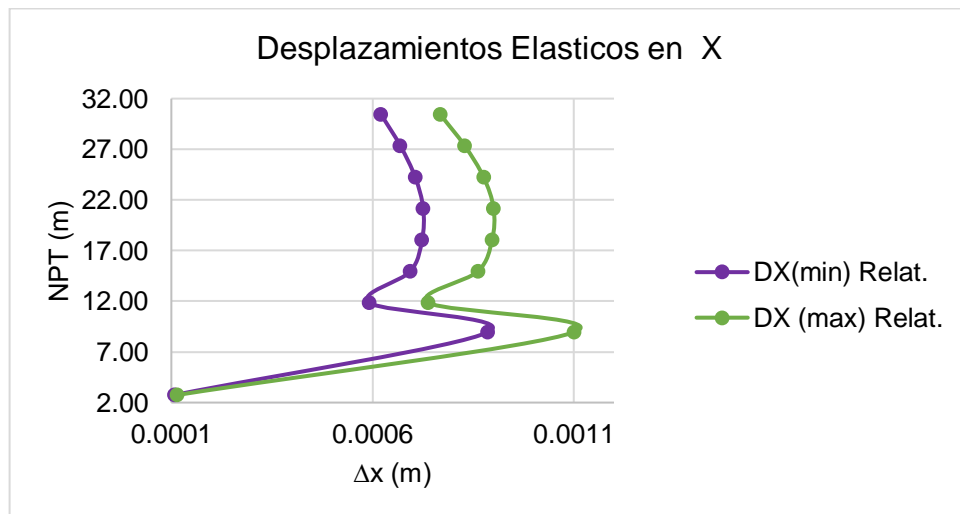
Desplazamientos relativos de estructura irregular en dirección X

Cuadro de desplazamientos relativos de estructura irregular en el eje X

Desplazamientos elásticos en X

Labels	H (m)	Δx max relat	Δx min relat
Piso 8	30.45	0.0008	0.0006
Piso 7	27.35	0.0008	0.0007
Piso 6	24.25	0.0009	0.0007
Piso 5	21.15	0.0009	0.0007
Piso 4	18.05	0.0009	0.0007
Piso 3	14.95	0.0009	0.0007
Piso 2	11.85	0.0007	0.0006
Piso 1	8.95	0.0011	0.0009
Semisótano	2.75	0.0001	0.0001

Desplazamiento relativo de estructura irregular en eje X

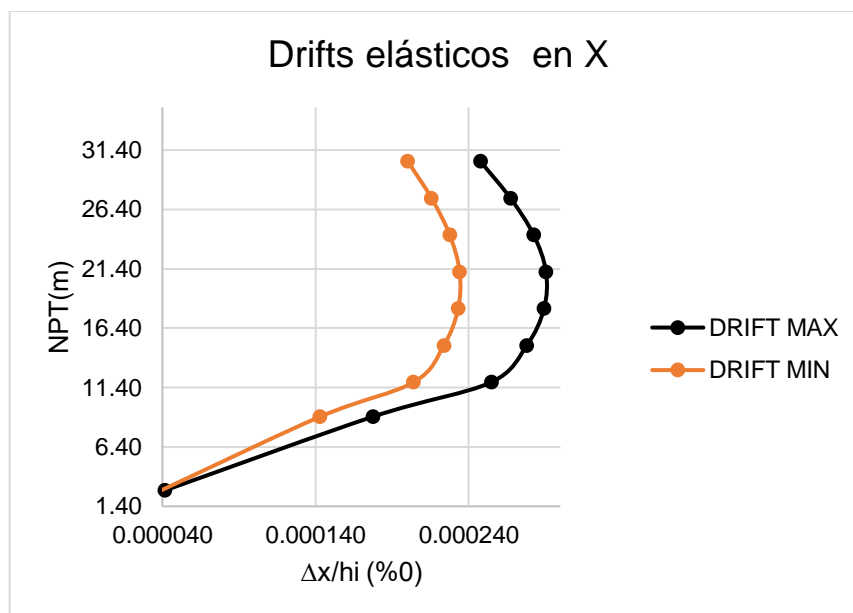


Derivas elásticas de estructura irregular en el sentido X

Cuadro de derivas de estructura irregular en el eje X

Drifts elásticos en X			
Labels	NPT	Drift max	Drift min
Piso 8	30.45	0.000248	0.000200
Piso 7	27.35	0.000267	0.000216
Piso 6	24.25	0.000283	0.000228
Piso 5	21.15	0.000291	0.000234
Piso 4	18.05	0.000289	0.000233
Piso 3	14.95	0.000278	0.000224
Piso 2	11.85	0.000255	0.000204
Piso 1	8.95	0.000178	0.000143
Semisótano	2.75	0.000042	0.000039

Desplazamiento relativo estructura irregular en eje X



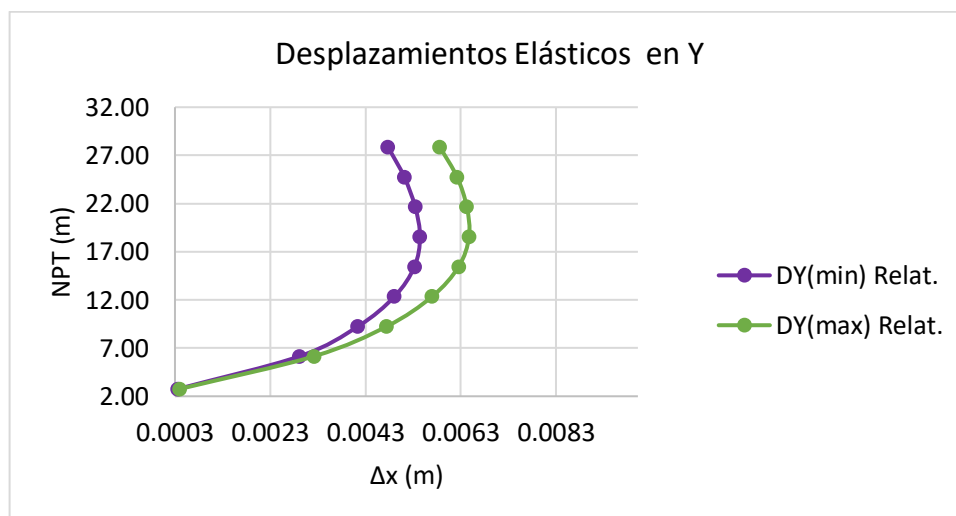
Desplazamientos relativos de estructura regular en dirección Y

Cuadro de desplazamientos relativos de estructura regular en el eje Y

Desplazamientos Elásticos en Y

Labels	NTP (m)	Δy max relat	Δy min relat
Piso 8	27.85	0.0058	0.0048
Piso 7	24.75	0.0062	0.0051
Piso 6	21.65	0.0064	0.0053
Piso 5	18.55	0.0065	0.0054
Piso 4	15.45	0.0062	0.0053
Piso 3	12.35	0.0057	0.0049
Piso 2	9.25	0.0047	0.0041
Piso 1	6.15	0.0032	0.0029
Semisótano	2.75	0.0004	0.0003

Desplazamiento relativo de estructura regular en eje Y

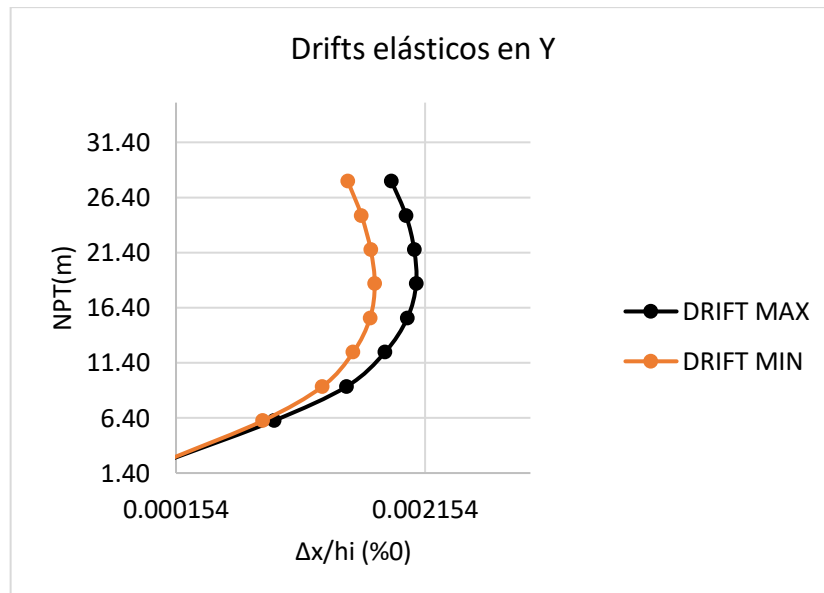


Derivas elásticas de estructura regular en el sentido Y

Cuadro de derivas de estructura regular en el eje Y

Drifts Elásticos en Y			
Labels	NTP(m)	Drift max	Drift min
Piso 8	27.85	0.001885	0.001534
Piso 7	24.75	0.002001	0.001644
Piso 6	21.65	0.002067	0.001717
Piso 5	18.55	0.002082	0.001750
Piso 4	15.45	0.002012	0.001712
Piso 3	12.35	0.001832	0.001577
Piso 2	9.25	0.001525	0.001330
Piso 1	6.15	0.000941	0.000852
Semisótano	2.75	0.000136	0.000123

Desplazamiento relativo estructura regular en eje Y

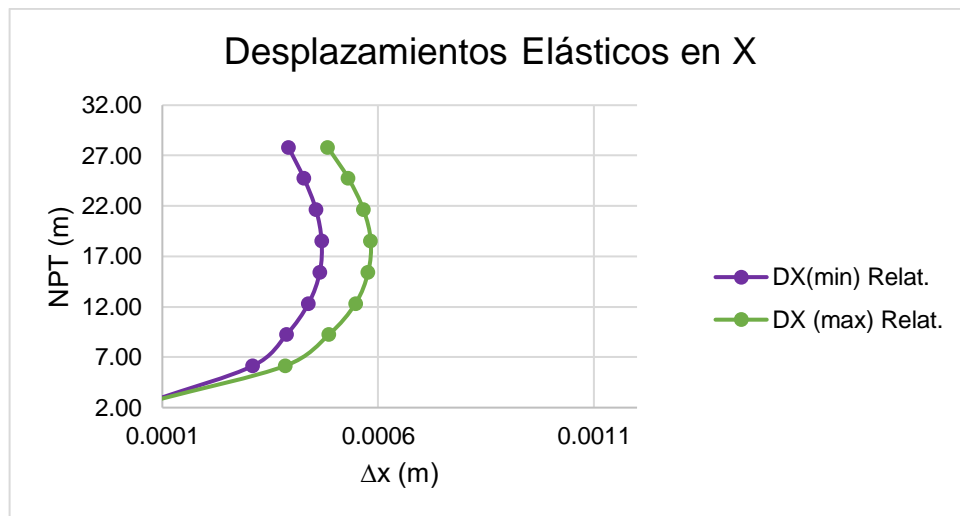


Desplazamientos relativos de estructura regular en dirección X

Cuadro de desplazamientos relativos de estructura regular en el eje X

Desplazamientos elásticos en X			
Labels	H (m)	Δx max relat	Δx min relat
Piso 8	27.85	0.0005	0.0004
Piso 7	24.75	0.0005	0.0004
Piso 6	21.65	0.0006	0.0005
Piso 5	18.55	0.0006	0.0005
Piso 4	15.45	0.0006	0.0005
Piso 3	12.35	0.0005	0.0004
Piso 2	9.25	0.0005	0.0004
Piso 1	6.15	0.0004	0.0003
Semisótano	2.75	0.0001	0.0001

Desplazamiento relativo de estructura regular en eje X

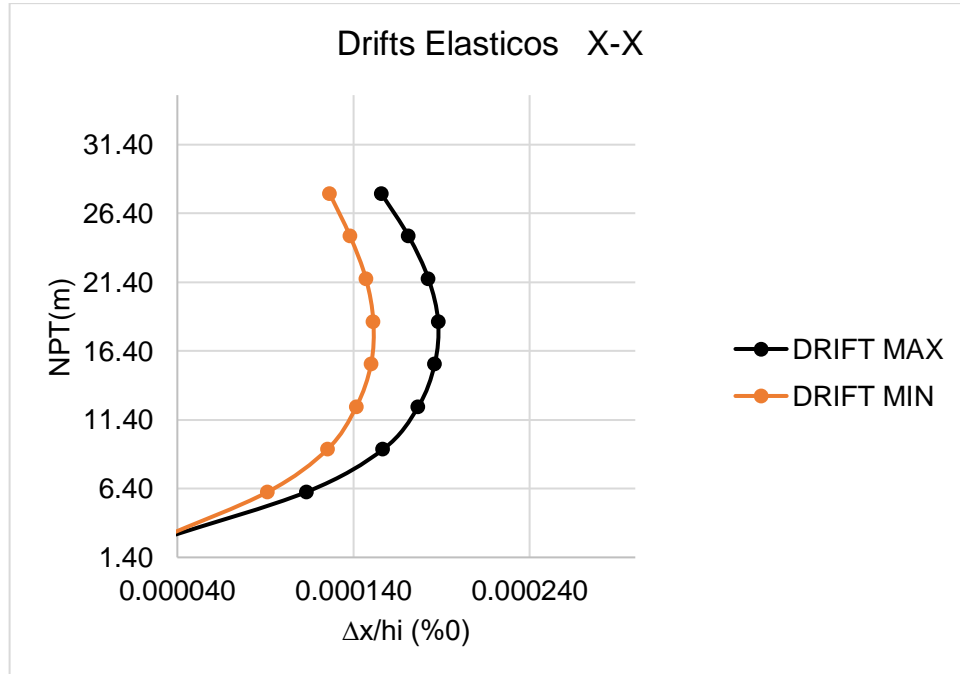


Derivas elásticas de estructura regular en el sentido X

Cuadro de derivas de estructura regular en el eje X

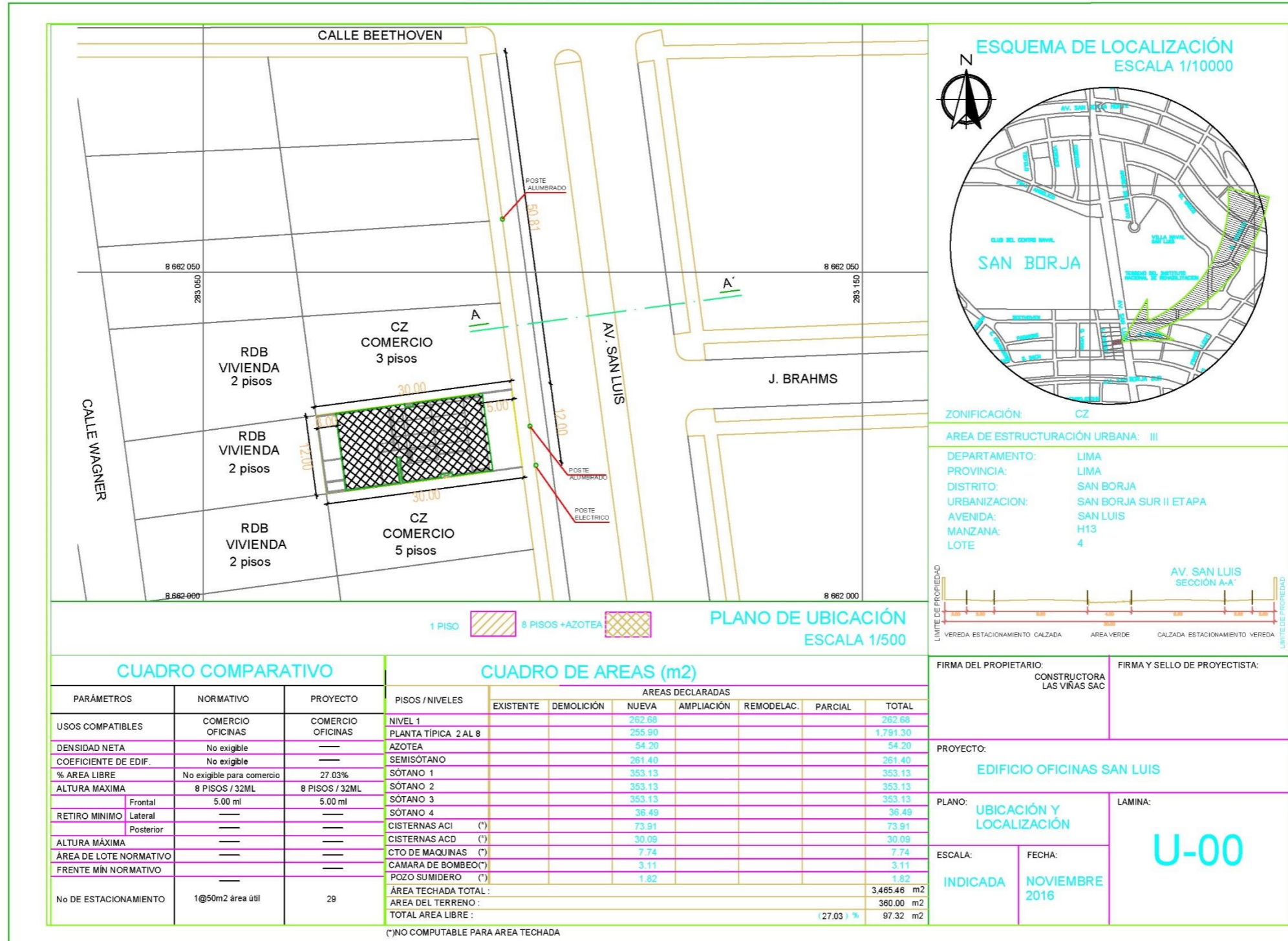
Drift elásticos en X			
Labels	NPT	Drift max	Drift min
Piso 8	27.85	0.000156	0.000126
Piso 7	24.75	0.000171	0.000138
Piso 6	21.65	0.000183	0.000147
Piso 5	18.55	0.000188	0.000151
Piso 4	15.45	0.000186	0.000150
Piso 3	12.35	0.000177	0.000142
Piso 2	9.25	0.000157	0.000125
Piso 1	6.15	0.000113	0.000091
Semisótano	2.75	0.000031	0.000029

Desplazamiento relativo estructura regular en eje X



Anexo 4
Plano de localización y ubicación

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

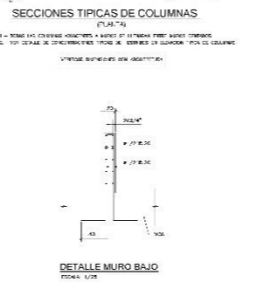
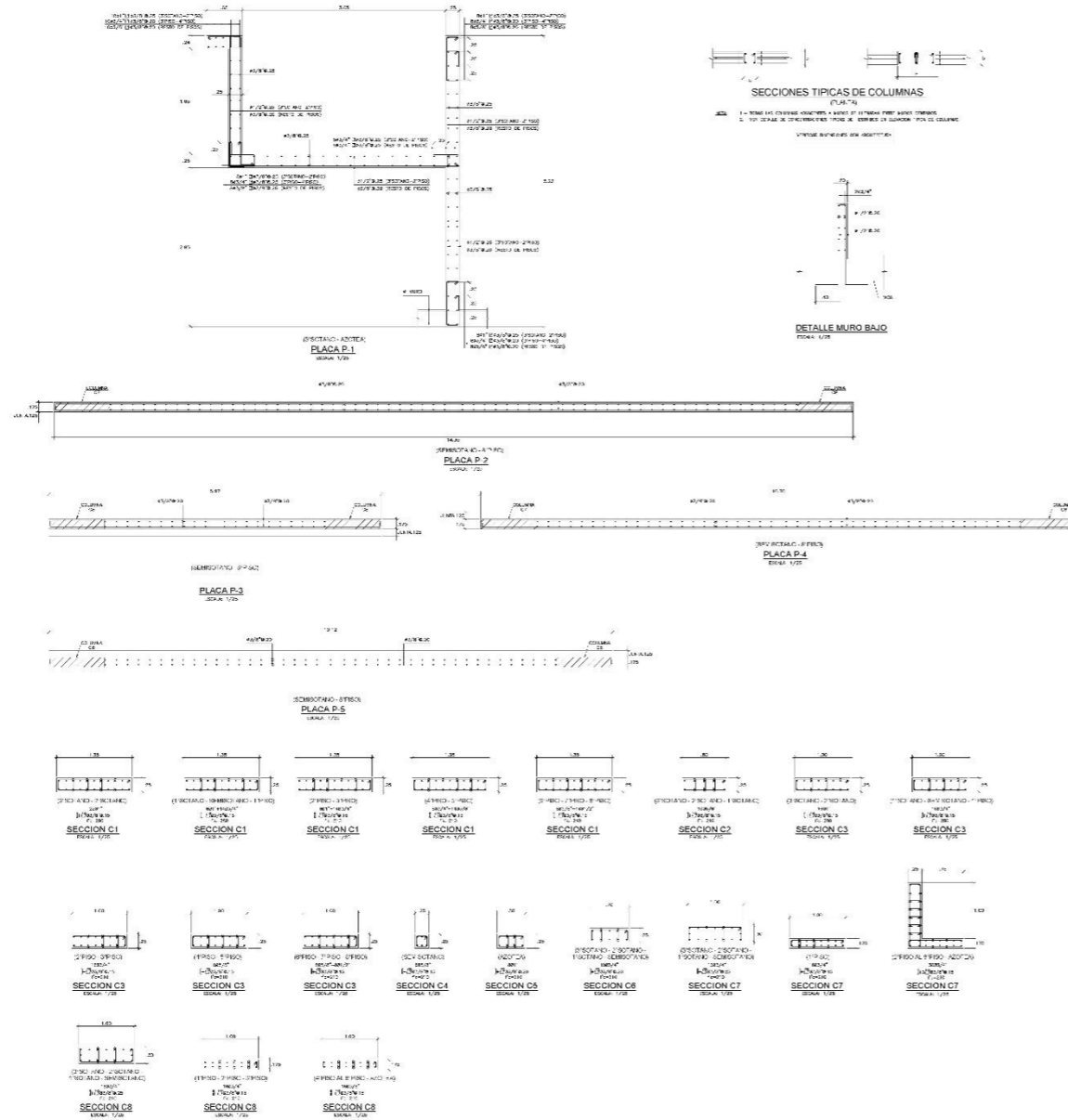
CUADRO COMPARATIVO			CUADRO DE AREAS (m ²)							FIRMA DEL PROPIETARIO: CONSTRUCTORA LAS VIÑAS SAC		FIRMA Y SELLO DE PROYECTISTA:	
PARÁMETROS	NORMATIVO	PROYECTO	PISOS / NIVELES	ÁREAS DECLARADAS							PROYECTO: EDIFICIO OFICINAS SAN LUIS	PLANO: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	LAMINA: U-00
				EXISTENTE	DEMOLICIÓN	NUEVA	AMPLIACIÓN	REMODELAC.	PARCIAL	TOTAL			
USOS COMPATIBLES	COMERCIO OFICINAS	COMERCIO OFICINAS	NIVEL 1			262.68					262.68	ESCALA: INDICADA	FECHA: NOVIEMBRE 2016
			PLANTA TÍPICA 2 AL 8			255.90					1.791.30		
DENSIDAD NETA	No exigible	---	AZOTEA			54.20					54.20	<div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">U-00</div>	
COEFICIENTE DE EDIF.	No exigible	---	SEMISÓTANO			261.40					261.40		
% ÁREA LIBRE	No exigible para comercio	27.03%	SÓTANO 1			353.13					353.13		
ALTURA MÁXIMA	8 PISOS / 32ML	8 PISOS / 32ML	SÓTANO 2			353.13					353.13		
RETIRO MÍNIMO	Frontal	5.00 ml	SÓTANO 3			353.13					353.13		
	Lateral	---	SÓTANO 4			38.49					38.49		
	Posterior	---	CISTERNAS ACI (*)			73.91					73.91		
ALTURA MÁXIMA	---	---	CISTERNAS ACD (*)			30.09					30.09		
ÁREA DE LOTE NORMATIVO	---	---	CTO DE MAQUINAS (*)			7.74					7.74		
FRENTE MÍN NORMATIVO	---	---	CAMARA DE BOMBEO(*)			3.11					3.11		
			POZO SUMIDERO (*)			1.82					1.82		
No DE ESTACIONAMIENTO	1@50m ² área útil	29	ÁREA TECHADA TOTAL :								3.465.46 m ²		
			ÁREA DEL TERRENO :								360.00 m ²		
			TOTAL ÁREA LIBRE :							27.03 %	97.32 m ²		

(*)NO COMPUTABLE PARA ÁREA TECHADA

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Anexo 5 Plano de estructura E-02

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



CUADRO DE COLUMNAS Y CONFINAMIENTO

NIVEL	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
NIVEL 5	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			
2PFCO	X	X	X	X	X			

ESPECIFICACIONES GENERALES

UNIDAD: METRO
 DIVISION: INGENIERIA CIVIL
 TITULO: PLAN DE ESTRUCTURA E-02

PARAMETROS SIMO RESISTENTES

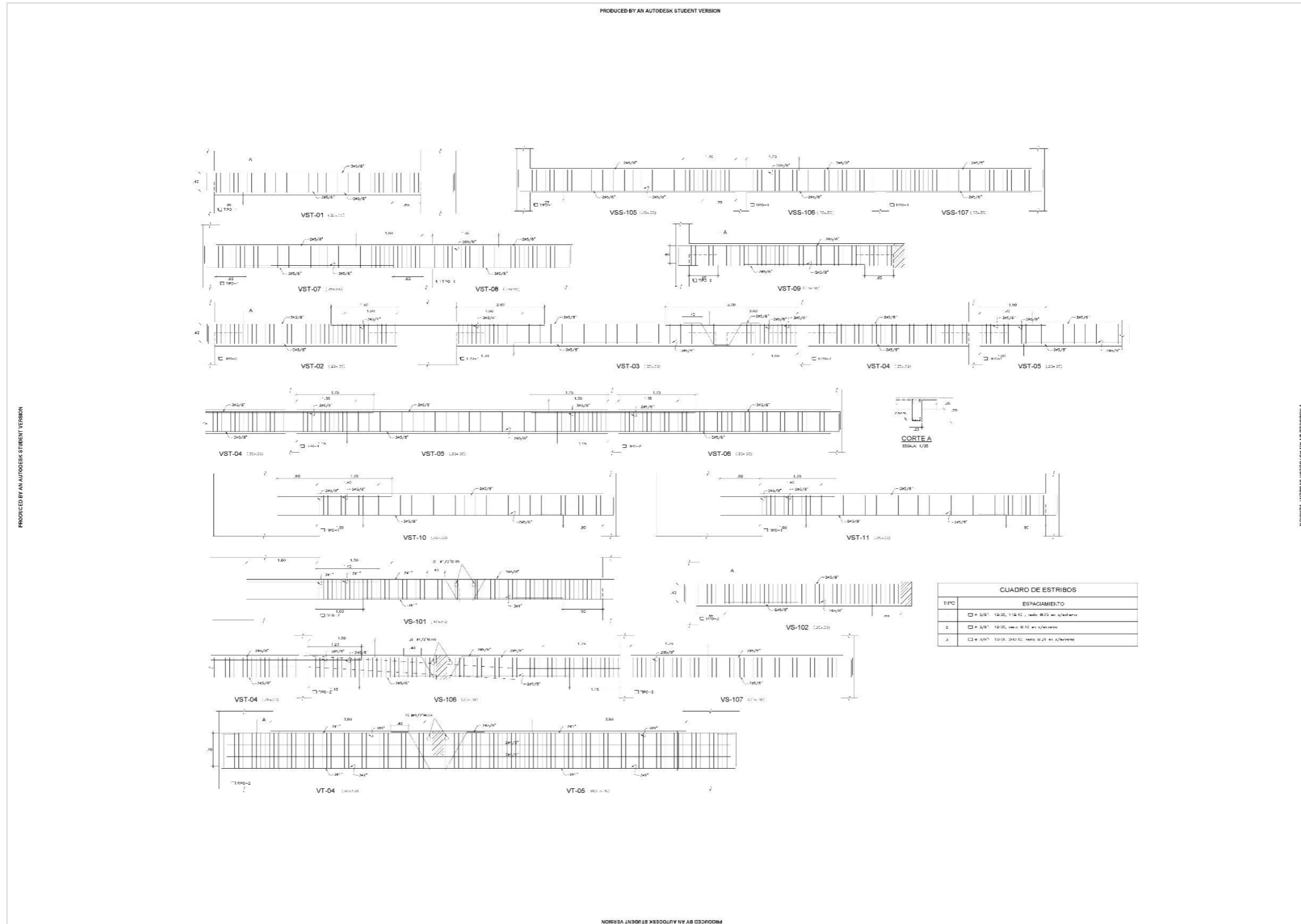
ESTRUCTURA: VIGAS Y COLUMNAS
 MATERIAL: ACERO Y CONCRETO
 TIPO DE DISEÑO: RESISTENTE A SISMOS

CONDICIONES DE CIMENTACION

SISTEMA DE CIMENTACION: VIGAS Y COLUMNAS EN CIMENTACION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

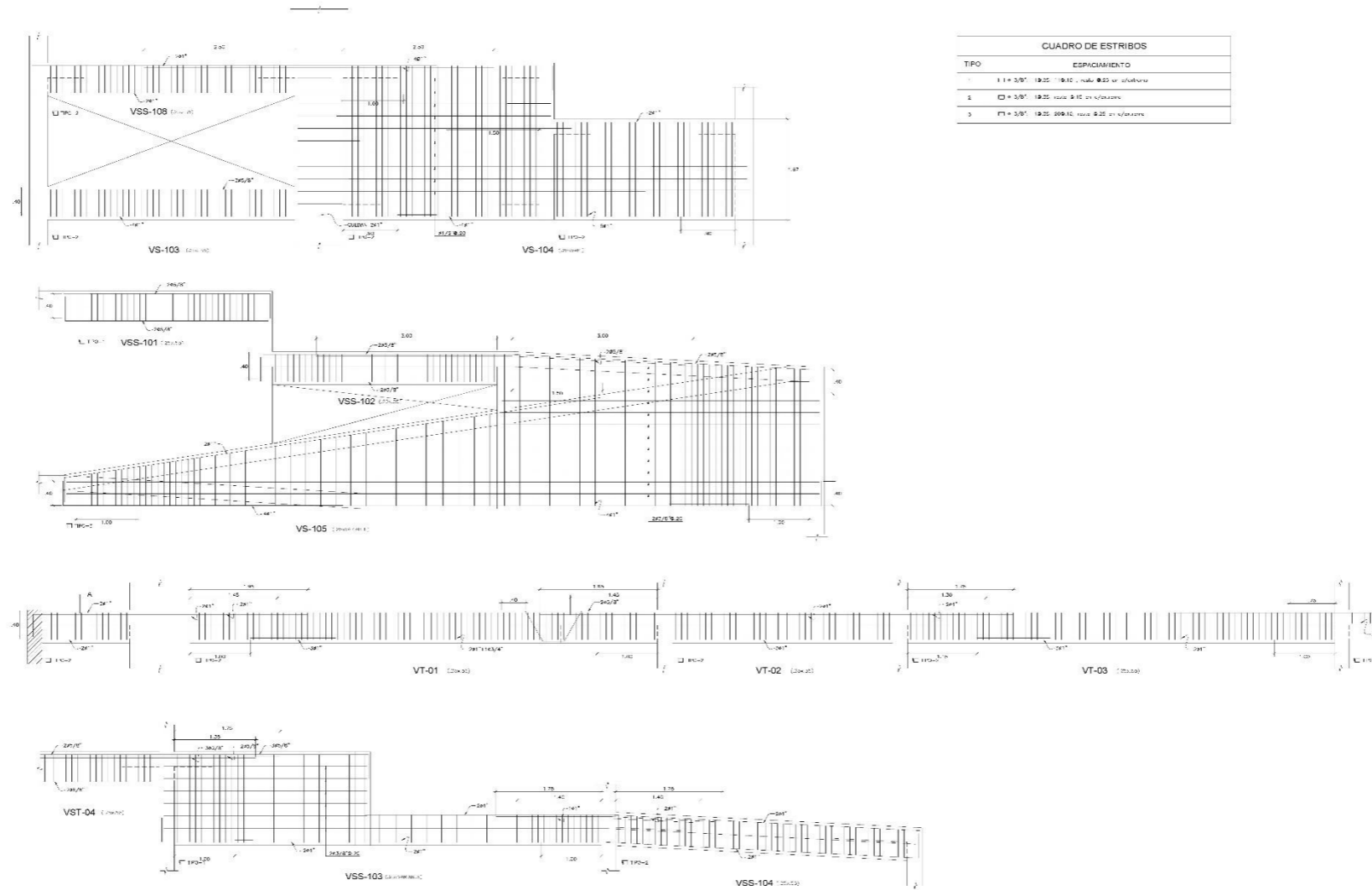
Anexo 6
Plano de estructura E-010



Anexo 7

Plano de estructura E-011

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Anexo 8 Plano de estructura E-012

