UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de la amplificación sísmica de edificios del Cercado de Lima – Lima
y La Punta – Callao por medio del método modal espectral y tiempo – historia
mediante acelerogramas sintéticos

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Castillo Cano, Ronald Daniel (0000-0001-5648-6992)

Young del Águila, Fredy Renán (0000-0001-9777-9994)

ASESOR

Dávila Pablo, Odilio Niler (0000-0001-5132-0379)

Lima, 30 de Noviembre de 2019

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos por ser el pilar fundamental en toda nuestra educación, tanto académica, como personal, por su apoyo incondicional mantenido a través del tiempo. Este trabajo fue gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer sinceramente a nuestro asesor de tesis, el Ing. Odilio Niler Dávila Pablo por:

Sus conocimientos, su orientación, su dedicación, su persistencia y su motivación, debido a que han sido fundamentales para nuestra formación como investigadores.

En segundo lugar, un profundo agradecimiento al Ingeniero Víctor Arana Vásquez por el apoyo y colaboración en la elaboración de la presente tesis.

Además, han sido capaces de ganarse nuestra lealtad y admiración, nos sentimos en deuda con ellos por todo lo recibido durante el periodo que ha durado la elaboración de esta tesis.

RESUMEN

Actualmente la población limeña no cuenta con viviendas propias y seguras; por ello, surge el auge del rubro de la construcción masiva con grandes edificaciones multifamiliares, cuya resistencia al impacto telúrico de enorme magnitud de 8 a 9 grados sigue en prueba sísmica; por ende, es muy relevante realizar la comparación del análisis del método modal espectral de la estructura (desplazamientos y aceleraciones respecto al suelo) y un análisis del método tiempo-historia donde se obtendrán las deformaciones máximas de la estructura de los edificios en este presente estudio; asimismo, evaluará la vulnerabilidad de la construcción estructural mediante acelerogramas sintéticos utilizando como espectro objetivo el espectro de peligro uniforme obtenido en el Parque de la Reserva, Cercado de Lima, por medio de un estudio peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años, reconociendo el comportamiento estructural ante un sismo de gran magnitud.

El presente estudio titulado: Análisis de la amplificación sísmica de edificios del Cercado de Lima – Lima y La Punta – Callao por medio del análisis modal espectral y tiempo – historia mediante acelerogramas sintéticos; cuyo objetivo es realizar la comparación de dichos métodos en 4 edificios (2 de 5 niveles y 2 de 12 niveles) cuya configuración estructural es de muros de concreto armado, los cuales se estudiarán en dos distintos tipos de suelo (Cercado de Lima y La Punta) con la finalidad de obtener resultados de derivas, fuerzas, desplazamientos y aceleraciones para determinar la amplificación sísmica en los suelos mencionados, y así optar por el método de análisis más óptimo.

Asimismo, el propósito del presente estudio es conocer el comportamiento de la edificación acorde con la realidad peruana; es decir edificaciones con periodos cortos; el cual evaluará la vulnerabilidad mediante acelerogramas sintéticos, reconociendo el comportamiento estructural ante una eventualidad sísmica de gran magnitud.

Palabras clave: Amplificación sísmica; método modal espectral; método tiempo-historia; acelerogramas sintéticos

Analysis of the seismic amplification of the buildings in Cercado de Lima - Lima and La Punta - Callao by modal response spectrum analysis and time-history analysis by synthetic accelerograms

ABSTRACT

Currently, the population of Lima does not have their own and secure homes; For this reason, the boom in the field of massive construction emerges with large multi-family buildings, whose resistance to the telluric impact of enormous magnitude of 8 to 9 degrees continues in seismic testing; therefore, it is very relevant to make the comparison of the analysis of the spectral modal method of the structure (displacements and accelerations with respect to the ground) and an analysis of the time-history method where the maximum deformations of the structure of the buildings will be obtained in this present study. ; Likewise, it will assess the vulnerability of structural construction using synthetic accelerograms using the uniform hazard spectrum obtained in Parque de la Reserva, Cercado de Lima as the objective spectrum, through a seismic hazard study for a return period of 475 years, recognizing structural behavior in the face of a large earthquake.

The present study entitled: Analysis of the seismic amplification of buildings in Cercado de Lima - Lima and La Punta - Callao by means of spectral modal analysis and time - history using synthetic accelerograms; the objective of which is to compare these methods in 4 buildings (2 of 5 levels and 2 of 12 levels) whose structural configuration is made of reinforced concrete walls, which will be studied in two different types of soil (Cercado de Lima and La Punta) in order to obtain results of drifts, forces, displacements and accelerations to determine the seismic amplification in the mentioned soils, and thus opt for the most optimal analysis method.

Likewise, the purpose of this study is to know the behavior of the building in accordance with the Peruvian reality; that is to say buildings with short periods; which will assess vulnerability using synthetic accelerograms, recognizing the structural behavior in the event of a large seismic event.

Keywords: Seismic amplification; modal response spectrum analysis; time-history analysis; synthetic accelerogram.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	PROBLEMÁTICA	2
1.3	HIPÓTESIS.....	2
1.4	OBJETIVOS.....	3
1.5	ALCANCE.....	3
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1	SISMICIDAD	4
2.1.1	Sismos Notables	4
2.1.2	Conceptos básicos de sismos.....	5
2.2	PELIGRO SÍSMICO	6
2.2.1	Método Probabilístico	6
2.2.2	Método Determinístico	12
2.3	AMPLIFICACIÓN SÍSMICA.....	12
2.3.1	Amplificación Específica de Sitio	13
2.3.2	Análisis Teórico de la Respuesta del Suelo.....	14
2.3.3	Influencia del Tipo de Suelo en la Amplificación Sísmica	15
2.3.4	Desarrollo Específico de Sitio	16
2.3.5	Factor de Amplificación Sísmica	16
2.4	NORMA TÉCNICA PERUANA E.030	18
2.4.1	Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente	18
2.4.2	Zonificación.....	19
2.4.3	Condiciones Geotécnicas.....	20
2.4.4	Parámetros de Sitios	21
2.4.5	Factor de Amplificación Sísmica	22
2.5	ANÁLISIS SÍSMICO	25
2.5.1	Desarrollo del Análisis Modal Espectral	25
2.5.2	Formas de Modo	26
2.5.3	Combinación Modal	26
2.5.4	Desarrollo del Análisis Dinámico Tiempo - Historia.....	28

2.6	ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS	29
2.6.1	Transformación de acelerogramas a espectros de respuesta	31
2.6.2	Ajuste Espectral.....	32
3	CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1	GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS	36
3.1.1	Selección de Acelerogramas.....	36
3.1.2	Espectro Objetivo y Ajuste Espectral.....	39
3.1.3	Deconvolución de acelerogramas	43
3.1.4	Convolución de acelerogramas.....	44
3.2	DEFINICIÓN Y ASIGNACIÓN DE PATRONES DE CARGA.....	48
3.3	EDIFICIOS DE 5 PISOS	49
3.3.1	Edificio Mirasol.....	49
3.3.2	Edificio Codornices	64
3.4	EDIFICIOS DE 12 PISOS	79
3.4.1	Edificio Pardo	79
3.4.2	Edificio Parque Alameda.....	97
4	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113
4.1	ESPECTROS DE DISEÑO Y DE RESPUESTA.....	113
4.1.1	Cercado de Lima (Ver Anexo VII.a).....	113
4.1.2	La Punta (Ver Anexo VII.b).....	114
4.2	COMPARACIÓN DE RESULTADOS: EDIFICIO MIRASOL.....	125
4.2.1	Desplazamientos Máximos Probables	125
4.2.2	Derivas Máximas.....	128
4.2.3	Fuerzas Máximas	132
4.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS: EDIFICIO CODORNICES.....	136
4.3.1	Desplazamientos Máximos Probables	136
4.3.2	Derivas Máximas Probables	140
4.3.3	Fuerzas Máximas Probables	143
4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS: EDIFICIO PARDO	147
4.4.1	Desplazamientos Máximos Probables	147
4.4.2	Derivas Máximas Probables	151
4.4.3	Fuerzas Máximas Probables	155

4.5	COMPARACIÓN DE RESULTADOS: EDIFICIO PARQUE ALAMEDA	159
4.5.1	Desplazamientos Máximos Probables	159
4.5.2	Derivas Máximas Probables	163
4.5.3	Fuerzas Máximas Probables	167
4.6	AMPLIFICACIÓN SÍSMICA	171
4.6.1	Edificios de 5 niveles.....	171
4.6.2	Edificios de 12 niveles.....	176
5	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	182
6	CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	195
7	REFERENCIAS	197
8	ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción superficiales y de las fuentes continentales.....	7
Tabla 2: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas ..	8
Tabla 3: Factores de Zona. (Adaptado de RNE E.030, 2018)	19
Tabla 4: Adaptado de clasificación de los perfiles de suelo. (RNE E.030, 2018).....	20
Tabla 5: Factor de suelo "S". (RNE E.030, 2018)	21
Tabla 6: Períodos "Tp" y "Tl". (RNE E.030, 2018)	22
Tabla 7 Limites para la deriva entrepiso. (RNE E.030, 2018)	25
Tabla 8 Resumen de acelerogramas a utilizar.	37
Tabla 9: Valores del Espectro de Peligro Uniforme, Periodo vs Aceleración (Mgr. Odilio Dávila Pablo, 2017)	39
Tabla 10: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Mirasol	53
Tabla 11: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Mirasol.....	54
Tabla 12: Escalamiento de la Fuerza Cortante	55
Tabla 13: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	57
Tabla 14: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima	57
Tabla 15: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Mirasol	58
Tabla 16: Escalamiento de la Fuerza Cortante	59
Tabla 17: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta.....	61
Tabla 18: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta.....	61
Tabla 19: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima ..	62
Tabla 20: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima	62
Tabla 21: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – La Punta	63
Tabla 22: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – La Punta.....	63
Tabla 23: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Codornices	67
Tabla 24: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Codornices.....	68
Tabla 25: Escalamiento de la Fuerza Cortante	69
Tabla 26: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	71
Tabla 27: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima	71

Tabla 28: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Codornices	72
Tabla 29: Escalamiento de la Fuerza Cortante	73
Tabla 30: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	75
Tabla 31: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta.....	75
Tabla 32: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima...	76
Tabla 33: Derivas del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima.....	76
Tabla 34: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – La Punta.....	77
Tabla 35: Derivas del Análisis Tiempo Historia – La Punta.....	78
Tabla 36: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Pardo	84
Tabla 37: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Pardo	85
Tabla 38: Escalamiento de la Fuerza Cortante	86
Tabla 39: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	88
Tabla 40: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima	88
Tabla 41: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Pardo ..	89
Tabla 42: Escalamiento de la Fuerza Cortante	90
Tabla 43: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta.....	92
Tabla 44: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta.....	92
Tabla 45: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima ..	93
Tabla 46: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima	94
Tabla 47: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – La Punta	95
Tabla 48: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – La Punta.....	96
Tabla 49: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Parque Alameda	100
Tabla 50: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Parque Alameda.....	101
Tabla 51: Escalamiento de la Fuerza Cortante	102
Tabla 52: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	104
Tabla 53: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima	104

Tabla 54: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Parque Alameda.....	105
Tabla 55: Escalamiento de la Fuerza Cortante	106
Tabla 56: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta.....	108
Tabla 57: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta.....	108
Tabla 58: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima.	109
Tabla 59: Derivas del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima.....	110
Tabla 60: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – La Punta.....	111
Tabla 61: Derivas del Análisis Tiempo Historia – La Punta.....	112
Tabla 62: Definición de clasificación de sitio (Adaptado de la Tabla 3.10.3.1.1 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012) (31).....	116
Tabla 63: Valores del factor de sitio, F_{PGA} , en período cero del espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.1 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)	117
Tabla 64: Valores del factor de sitio, F_a , para un período corto de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.2 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)	117
Tabla 65: Valores del factor de sitio, F_v , para un largo período de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.3 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)	118
Tabla 66: Clasificación de sitio (Adaptado de la Tabla 20.3-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010) (32)	120
Tabla 67: Valores del factor de sitio, F_a , para un período corto de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 11.4-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010)	121
Tabla 68: Valores del factor de sitio, F_v , para un largo período de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 11.4-2 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010)	122
Tabla 69: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X	125
Tabla 70: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y	126

Tabla 71: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X.....	126
Tabla 72: Resumen de Comparativo de Desplazamientos – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y.....	127
Tabla 73: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X.....	128
Tabla 74: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y.....	129
Tabla 75: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X	130
Tabla 76: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y	131
Tabla 77: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X	132
Tabla 78: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y	133
Tabla 79: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X.....	134
Tabla 80: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y.....	135
Tabla 81: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X	136
Tabla 82: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y	137
Tabla 83: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección X.....	138
Tabla 84: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y.....	139
Tabla 85: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X.....	140
Tabla 86: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y.....	141

Tabla 87: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – La Punta – Dirección X.....	142
Tabla 88: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y.....	142
Tabla 89: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X	143
Tabla 90: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y	144
Tabla 91: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – La Punta – Dirección X.....	145
Tabla 92: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y.....	146
Tabla 93: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X.....	147
Tabla 94: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y.....	148
Tabla 95: Resumen de Comparativo Desplazamientos – Edificio Pardo – La Punta – Dirección X.....	149
Tabla 96: Resumen de Comparativo Desplazamientos – Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y.....	150
Tabla 97: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X.....	151
Tabla 98: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y.....	152
Tabla 99: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X..	153
Tabla 100: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y	154
Tabla 101: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X.....	155
Tabla 102: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y.....	156
Tabla 103: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X	157
Tabla 104: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y	158

Tabla 105: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X	159
Tabla 106: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y	160
Tabla 107: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X	161
Tabla 108: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y	162
Tabla 109: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X.....	163
Tabla 110: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y.....	164
Tabla 111: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X.....	165
Tabla 112: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y.....	166
Tabla 113: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X.....	167
Tabla 114: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y.....	168
Tabla 115: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X.....	169
Tabla 116: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y.....	170
Tabla 117: Resumen de Amplificación símica Tiempo Historia y Modal Espectral (5 niveles)	176
Tabla 118: Resumen de Amplificación símica Tiempo Historia y Modal Espectral (12 niveles)	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ley de atenuación de Young et al (1997) en comparación con la de Casaverde y Vargas (1980) utilizando datos de Perú.....	10
Figura 2 Comparación de dos estratos con diferente velocidad de ondas de corte. (KRAMMER, S. 1996).....	14
Figura 3 Comparación de dos suelos de diferentes rigideces con respecto a la frecuencia. (KRAMMER, S. 1996).....	15
Figura 4 Zonas Sísmicas del Perú. (NRE E.030, 2018)	19
Figura 5 Factor de amplificación sísmica en función del Periodo (E030-2018).....	22
Figura 6 Espectro de Diseño.....	24
Figura 7 Espectro de Pseudo – aceleración (Norma E-060, 2018).....	26
Figura 8 Modos de vibración de una edificación (MELI & BAZAN, 1999)	27
Figura 9 Transformada de Hilbert-Huang.....	29
Figura 10 Wavelets de Ajustes de Lilhanand y Tseng, 1988; Abrahamson N.....	34
Figura 11 Wavelets de Ajustes de Hancock 2006	35
Figura 12 Wavelets de Ajustes de Al Atik L. & Abrahamson N., 2010	35
Figura 13 Comparativo de las amplitudes de Fourier de los acelerogramas a utilizar en la dirección Este-Oeste	36
Figura 14 Comparativo de las amplitudes de Fourier de los acelerogramas a utilizar en la dirección Norte-Sur	37
Figura 15 Acelerograma Lima 1966 de la Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S	38
Figura 16 Acelerograma Lima 1966 de la Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O	38
Figura 17 Espectro de Peligro Uniforme con periodo de retorno de 475 años (Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017)	39
Figura 18 Ajuste espectral del acelerograma Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S	41
Figura 19 Ajuste espectral del acelerograma Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O.....	41
Figura 20 Acelerograma sintético escalado ubicado Cercado de Lima para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S	42

Figura 21 Acelerograma sintético escalado ubicado en Cercado de Lima para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O	42
Figura 22 Ensayo MASW- Parque de la Reserva.....	43
Figura 23 Acelerograma escalado en Roca para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S	44
Figura 24 Acelerograma escalado en Roca para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O	44
Figura 25 Ensayo MAM – Jr. Saenz Peña (Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017)	45
Figura 26 Acelerograma sintético escalado ubicado en La Punta, generado a partir del acelerograma de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva con un Periodo de Retorno de 475 años - Dirección N-S	46
Figura 27 Acelerograma sintético escalado ubicado en La Punta, generado a partir del acelerograma de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva con un Periodo de Retorno de 475 años - Dirección E-O	46
Figura 28 Envolventes de los acelerogramas utilizados para el siguiente estudio. (Ver Anexo VII).....	47
Figura 29 Elevación 3D, edificio Mirasol	49
Figura 30 Planta del primer piso del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)	50
Figura 31 Planta del 2do al 5to piso del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a).....	50
Figura 32 Cuadro de columnas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)	51
Figura 33 Cuadro de placas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a).....	52
Figura 34 Cuadro de vigas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)	52
Figura 35 Espectro de Diseño – Edificio Mirasol – Cercado de Lima.....	55
Figura 36 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección X-X – Cercado de Lima..	56
Figura 37 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección Y-Y – Cercado de Lima..	57
Figura 38 Espectro de Diseño – Edificio Mirasol – La Punta.	59
Figura 39 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección X-X – La Punta.....	60
Figura 40 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección Y-Y – La Punta.....	61
Figura 41 Elevación 3D, edificio Codornices	64
Figura 42 Planta del primer piso del edificio Codornices (Ver plano en Anexo IV.b)	64
Figura 43 Planta del 2do al 5to piso del edificio Codornices (Ver plano en Anexo IV.b)..	65
Figura 44 Cuadro de columnas del edificio Codornices. (Ver plano en Anexo IV.b)	66
Figura 45 Cuadro de vigas del edificio Codornices. (Ver plano en Anexo IV.b)	66

Figura 46 Espectro de Diseño – Edificio Codornices – Cercado de Lima.	69
Figura 47 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección X-X – Cercado de Lima.	70
Figura 48 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección Y-Y – Cercado de Lima.	71
Figura 49 Espectro de Diseño – Edificio Codornices – La Punta.	73
Figura 50 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección X-X – La Punta.	74
Figura 51 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección Y-Y – La Punta.	75
Figura 52 Elevación 3D, edificio Pardo	79
Figura 53 Planta del primer piso edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)	80
Figura 54 Planta del 2do al 12do piso edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)	81
Figura 55 Cuadro de placas del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)	82
Figura 56 Cuadro de columnas del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)	83
Figura 57 Espectro de Diseño – Edificio Pardo – Cercado de Lima.	86
Figura 58 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – Cercado de Lima.	87
Figura 59 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – Cercado de Lima.	88
Figura 60 Espectro de Diseño – Edificio Pardo – La Punta.	90
Figura 61 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – La Punta.	91
Figura 62 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección Y-Y – La Punta.	92
Figura 63 Elevación 3D, edificio Parque Alameda	97
Figura 64 Planta del piso típico del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.d)	98
Figura 65 Cuadro de vigas del edificio Parque Alameda. (Ver plano en Anexo IV.d)	99
Figura 66 Cuadro de columnas del edificio Parque Alameda. (Ver plano en Anexo IV.d)	100
Figura 67 Espectro de Diseño – Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima.	102
Figura 68 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – Cercado de Lima.	103
Figura 69 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – Cercado de Lima.	104
Figura 70 Espectro de Diseño – Edificio Parque Alameda – La Punta.	106
Figura 71 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – La Punta.	107

Figura 72 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección Y-Y – La Punta.	108
Figura 73 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del Cercado de Lima en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018	113
Figura 74 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del Cercado de Lima en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018	114
Figura 75 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del La Punta en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018.....	114
Figura 76 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del La Punta en dirección Norte-Sur y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018.....	115
Figura 77 Diseño de Espectro de Respuesta (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)	119
Figura 78 Diseño de Espectro de Respuesta (Adaptado de la Figura 11.4-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010).....	123
Figura 79 Espectros de Diseño Elástico de las normas AASHTO 2012, ASCE 7-10, E030-2018 y envolvente de espectros de respuesta en el Suelo del Cercado de Lima	124
Figura 80 Espectros de Diseño Elástico de las normas AASHTO 2012, ASCE 7-10, E030-2018 y envolvente de espectros de respuesta en el Suelo de La Punta	124
Figura 81 Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X.....	125
Figura 82 Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y.....	126
Figura 83 Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X	127
Figura 84 Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y	128
Figura 85 Derivas Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X.....	129
Figura 86 Derivas Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y	130
Figura 87 Derivas Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X.....	131
Figura 88 Derivas Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y	132
Figura 89 Fuerza cortante Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X	133
Figura 90 Fuerza cortante Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y	134
Figura 91 Fuerza cortante Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X.....	135
Figura 92 Fuerza cortante Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y.....	136
Figura 93 Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X.....	137
Figura 94 Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y	138
Figura 95 Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección X	139

Figura 96 Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y	140
Figura 97 Derivas Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X.....	141
Figura 98 Derivas Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y	141
Figura 99 Derivas Edificio Codornices – La Punta – Dirección X	142
Figura 100 Derivas Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y	143
Figura 101 Fuerza cortante Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X.....	144
Figura 102 Fuerza cortante Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y.....	145
Figura 103 Fuerza cortante Edificio Codornices – La Punta – Dirección X.....	146
Figura 104 Fuerza cortante Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y.....	146
Figura 105 Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X.....	147
Figura 106 Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y	148
Figura 107 Desplazamientos Edificio Pardo – La Punta – Dirección X	149
Figura 108 Desplazamientos Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y	150
Figura 109 Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X.....	151
Figura 110 Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y	152
Figura 111 Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X	153
Figura 112 Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y	154
Figura 113 Fuerza cortante Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección X.....	155
Figura 114 Fuerza cortante Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección Y.....	156
Figura 115 Fuerza cortante Edificio Pardo – La Punta– Dirección X.....	157
Figura 116 Fuerza cortante Edificio Pardo – La Punta– Dirección Y.....	158
Figura 117 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X	159
Figura 118 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y	160
Figura 119 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X.....	161
Figura 120 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y	162
Figura 121 Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X.....	163
Figura 122 Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y.....	164
Figura 123 Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X.....	165
Figura 124 Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y.....	166
Figura 125 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección X	167
Figura 126 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección Y	168

Figura 127 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X.....	169
Figura 128 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y.....	170
Figura 129 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – Cercado de Lima– Dirección X ...	171
Figura 130 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – Cercado de Lima– Dirección Y ...	172
Figura 131 Amplificación sísmica Edificio Codornices – Cercado de Lima– Dirección X	172
Figura 132 Amplificación sísmica Edificio Codornices – Cercado de Lima– Dirección Y	173
Figura 133 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – La Punta– Dirección X	174
Figura 134 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – La Punta– Dirección Y	174
Figura 135 Amplificación sísmica Edificio Codornices – La Punta– Dirección X.....	175
Figura 136 Amplificación sísmica Edificio Codornices – La Punta– Dirección Y.....	175
Figura 137 Amplificación sísmica Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección X	176
Figura 138 Amplificación sísmica Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección Y	177
Figura 139 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección X	178
Figura 140 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección Y	178
Figura 141 Amplificación sísmica Edificio Pardo – La Punta– Dirección X	179
Figura 142 Amplificación sísmica Edificio Pardo – La Punta– Dirección Y	179
Figura 143 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – La Punta– Dirección X ..	180
Figura 144 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – La Punta– Dirección Y ..	180

1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

El Perú, se encuentra ubicado en una zona potencialmente sísmica, donde sus edificaciones se han hecho de forma informal, lo cual trae consigo que este en un alto riesgo de presentar consecuencias devastadoras tanto mortales como materiales; asimismo, la ciudad capital tiene una población de 9 millones 320 mil habitantes, con un período de letargo telúrico desde 1746, que hasta la fecha se viene acumulando energía que despertará generando un sismo de gran magnitud entre los 8 a 9 grados de Escala de Richter, nace la importancia del análisis de la amplificación sísmica con los métodos modal espectral y tiempo-historia mediante acelerogramas sintéticos de edificios en suelos del Cercado de Lima y la Punta Callao; a fin de garantizar la seguridad de edificaciones.

El presente estudio titulado: Análisis de la amplificación sísmica de edificios del Cercado de Lima – Lima y La Punta – Callao por medio del análisis modal espectral y tiempo – historia mediante acelerogramas sintéticos; cuyo objetivo es realizar la comparación de dichos métodos en 4 edificios (2 de 5 niveles y 2 de 12 niveles) cuya configuración estructural es de muros de concreto armado, los cuales se estudiarán en dos distintos tipos de suelo (Cercado de Lima y La Punta) con la finalidad de obtener resultados de derivas, fuerzas, desplazamientos y aceleraciones para determinar la amplificación sísmica en los suelos mencionados, y así optar por el método de análisis más óptimo.

Por ende, es fundamental la intervención del profesional de ingeniero civil con capacidad para analizar y diseñar estructuras resistentes a las actividades sísmicas para evitar posibles pérdidas de vidas humanas y materiales al ocurrir un sismo; siguiendo la Norma Técnica E.030 del Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, y la Norma Técnica E.050 de Suelos y Cimentaciones; estableciéndose el método de análisis sísmico dinámico (método modal espectral y método tiempo-historia), cuya finalidad de identificar el mejor método con mayores solicitaciones estructurales en la construcción antisísmica.

El trabajo consta de: Capítulo I: Generalidades, el cual consta de problemática, hipótesis, objetivos, y alcance; Capítulo II: Marco Teórico, donde se detallan la amplificación sísmica, métodos de análisis de amplificación sísmica, norma técnica peruana sísmica, y

suelos del Cercado de Lima y la Punta Callao. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

1.2 Problemática

En el Perú, es necesario realizar un análisis sísmico adecuado, ya que está ubicado entre dos placas tectónicas involucradas en el fenómeno de subducción, estas son la placa de Nazca y la placa Sudamericana

La ciudad de Lima no es ajena al peligro sísmico de esta región. Por ello, es importante realizar un adecuado estudio sísmico en las obras civiles con el fin de determinar si las estructuras están preparadas frente a eventos sísmicos de gran magnitud.

Es importante considerar el efecto de la amplificación sísmica del suelo, ya que un estudio realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) sobre el terremoto de México de 1985 determina que en las zonas donde se presentó terreno blando (suelo arcilloso del desecado del lago de Texcoco) se tuvo un impacto mayor frente al sismo, ocasionando mayor destrucción en comparación al de las zonas de suelo firme en las que hubo apenas consecuencias (1).

Tomando en cuenta todo lo mencionado, se debe realizar un análisis sísmico adecuado considerando el tipo de suelo donde va a ser cimentada la estructura para determinar cuan grave será la amplificación del sismo frente a este con la finalidad de mitigar las pérdidas económicas y humanas frente a un evento sísmico de gran magnitud.

1.3 Hipótesis

Se espera en este estudio, que la amplificación sísmica en el método Modal Espectral sea menor que en el Tiempo-Historia con la influencia de las propiedades de los dos tipos de suelo.

1.4 Objetivos

El objetivo general de la investigación es establecer la influencia del suelo en la amplificación sísmica de 4 edificaciones (2 de 5 niveles y 2 de 12 niveles), mediante sus respuestas dinámicas.

Los objetivos específicos que se realizarán en este estudio son:

- 1) Realizar el análisis sísmico de cuatro edificios de vivienda, aplicando los métodos Modal Espectral y Tiempo-Historia, mediante acelerogramas sintéticos con el programa de modelación estructural ETABS 2016.
- 2) Realizar la generación de acelerogramas sintéticos con el uso de los programas SeismoMatch y DeepSoil.
- 3) Realizar una comparación por el análisis modal espectral y análisis dinámico tiempo – historia con acelerogramas sintéticos para poder determinar la influencia de la amplificación del sismo frente a diferentes tipos de suelo, como de distintas alturas y cómo afecta en la respuesta sísmica de los edificios.

1.5 Alcance

Inicialmente se recopilará la información acerca de los métodos modal espectral y tiempo historia y la influencia que tiene la amplificación sísmica en los edificios.

La investigación abarca el análisis dinámico tiempo – historia para 4 edificios de los cuales dos de ellos serán de 12 pisos con el sistema de muros estructurales; y los dos restantes de 5 pisos con el sistema de muros estructurales.

Se realiza el análisis normativo para cada uno de los cuatro edificios, según el análisis modal espectral y el análisis tiempo-historia con acelerogramas sintéticos. Es decir, se presentarán ocho análisis distintos.

El análisis estructural se realizará con el programa ETABS.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Sismicidad

2.1.1 Sismos Notables

Por largos años, la región sudamericana se ha visto afectada por un sinnúmero de movimientos telúricos. Esto es debido a que esta región se encuentra ubicado frente a dos placas tectónicas que actúan frente al fenómeno de subducción, estas son la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

El Perú, al encontrarse en el llamado “cinturón de fuego del Pacífico”, presenta varios movimientos telúricos registrados:

18 de abril de 1993.- Se produjo un sismo de magnitud 5.6 a las 04:16. Afectó Lima, Chacabayo, San Juan de Lurigancho y Puente Piedra. Muertos: 3, damnificados 35, viviendas destruidas 7.

23 de setiembre de 1995.- Un sismo de 5.1 grados estremeció cinco departamentos. El epicentro se ubicó en el Océano Pacífico a 220 Km. Al suroeste de Casma. Se sintió por el norte hasta Chiclayo y por el sur hasta Ica. La onda sísmica alcanzó Huaraz. Hubo ligeros desprendimientos de arena en el serpentín de Pasamayo al norte de Lima (2).

El 15 de agosto de 2007.- A las 23:41 GMT (18:41 hora local) ocurrió un fuerte sismo frente a las costas de la ciudad de Pisco, en el departamento de Ica, en Perú. El sismo tuvo una duración promedio de 2 minutos. Las magnitudes finales reportadas por las agencias sísmicas fueron:

- 7.0 magnitud Richter del Instituto Geofísico del Perú (IGP)
- 8.0 magnitud momento del Servicio Geológico de EE. UU (USGS)

Este sismo es uno de los más significativos que tuvo que soportar el Perú, se contabilizaron 17 000 viviendas destruidas y 595 muertes en las provincias de Pisco, Chincha y Cañete (3).

2.1.2 Conceptos básicos de sismos

2.1.2.1 Terremoto

Es el movimiento brusco de la corteza de la Tierra por un periodo breve, originado por la liberación rápida de energía que ha sido acumulada durante un largo tiempo. La corteza de la Tierra está conformada por placas, cada una de ellas con distintas propiedades llamadas “placas tectónicas”. Estas placas se han estado acomodando en un proceso que llevan millones de años, originando relieves geográficos y continentes. Estos movimientos son lentos e imperceptibles, sin embargo, las placas chocan entre sí como grandes bloques de témpano de tierra encima de un magma que se encuentra presente en las profundidades de la tierra impidiendo su desplazamiento.

Por ello, el impedimento de los desplazamientos de dichas placas causa una gran acumulación de energía de tensión que en algún momento se tendrá que liberar. Por ello al momento de moverse bruscamente contra la otra, la romperá y se liberará una gran cantidad variable de energía que originará el Terremoto.

Las fallas se denominan a las zonas en las que estas placas predominan su fuerza entre sí y son los puntos más probables de originarse los fenómenos sísmicos. Asimismo, el 10 % de los terremotos suceden alejados de los límites de las placas. Además, la actividad volcánica en proceso de erupción puede originar un fenómeno similar. Por lo general, el término terremoto se asocia a los movimientos sísmicos considerables, sin embargo, su etimología significa “movimiento de la Tierra”.

Las zonas en que las placas ejercen esta fuerza entre ellas se denominan fallas y son, desde luego, los puntos en que con más probabilidad se originen fenómenos sísmicos. Sólo el 10% de los terremotos ocurren alejados de los límites de estas placas.

La actividad subterránea originada por un volcán en proceso de erupción puede originar un fenómeno similar.

En general se asocia el término terremoto con los movimientos sísmicos de dimensión considerable, aunque rigurosamente su etimología significa "movimiento de la Tierra".

2.1.2.2 Hipocentro

En el terremoto el hipocentro, o también llamado foco, es el punto en la profundidad de la tierra donde se libera energía y presenta tres denominaciones, la primera es la superficial, donde el punto se encuentra hasta los 70km. La segunda es la intermedia, donde el punto se encuentra entre los 70 y los 300 km y por último es el profundo, donde el punto es mayor de los 300 km de profundidad, cabe mencionar que el centro de la tierra se encuentra a una profundidad de 6.370 km.

2.1.2.3 Epicentro

Es básicamente el punto de la superficie de la tierra directamente sobre el hipocentro, por ello, es donde la intensidad del terremoto es mayor.

2.2 Peligro Sísmico

2.2.1 Método Probabilístico

a) Identificación y caracterización de las fuentes sismogénicas

En el Perú, las características neotectónicas y la distribución espacial de la actividad sísmica han permitido definir 20 fuentes sismogénicas con características sismotectónicas particulares. Estas fuentes, al no existir datos como para modelar las fallas como fuentes lineales, se presentan como áreas. Debido a la interacción de las placas sudamericanas y de Nazca y el reajuste tectónico del Aparato Andino, nos permite se agrupan a las fuentes en:

- Fuentes de Subducción y Continentales

Tabla 1: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción superficiales y de las fuentes continentales

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
Fuente 1	-80.29	+02.00	-78.32	+02.00
	-81.39	-00.97	-79.65	-01.21
	-81.52	-02.39	-80.19	-02.50
Fuente 2	-82.00	-03.39	-80.17	-03.45
	-82.00	-06.83	-80.67	-05.42
	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
Fuente 3	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
Fuente 4	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
Fuente 5	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
	-71.85	-19.87	-69.21	-19.00
	-71.85	-22.00	-69.21	-22.00
Fuente 6	-77.50	+01.58	-76.92	+01.19
	-79.83	-01.65	-78.90	-02.53
	-79.96	-02.46	-78.97	-03.43
	-80.92	-02.96	-80.79	-03.44
Fuente 7	-78.28	-08.20	-77.86	-08.07
	-77.21	-10.47	-76.83	-10.23
Fuente 8	-75.84	-13.87	-74.76	-13.13
	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
Fuente 9	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
	-69.71	-18.67	-68.12	-16.13
Fuente 10	-76.92	+01.19	-76.50	+ 01.00
	-78.90	-02.53	-77.35	-02.40
	-79.10	-05.20	-77.00	-04.77
Fuente 11	-79.10	-05.20	-75.10	-04.33
	-76.34	-10.67	-74.17	-09.33
	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
Fuente 12	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
	-68.12	-16.13	-67.76	-13.80

Tabla 2: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
Fuente 13	-78.73	+02.00	-76.00	+01.82
	-81.00	-00.67	-79.59	-02.55
	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07
Fuente 14	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07
	-81.93	-05.73	-78.60	-04.00
	-79.80	-08.13	-77.17	-06.53
Fuente 15	-79.80	-08.13	-77.17	-06.53
	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
Fuente 16	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
Fuente 17	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
	-70.86	-18.80	-68.93	-15.73
	-70.38	-22.00	-67.98	-22.00
Fuente 18	-79.59	-02.55	-77.50	-00.73
	-78.60	-04.00	-75.51	-02.06
	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
Fuente 19	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
	-73.86	-12.46	-72.03	-11.13
Fuente 20	-72.31	-06.67	-71.00	-06.33
	-71.14	-11.30	-69.69	-10.93

b) Caracterización de la sismicidad – distribución temporal de los sismos

En el Perú el catálogo de información sísmica toma en cuenta los registros cuya magnitud m_b es mayor ó igual a 4.0, ya que a partir de este valor los sismos adquieren importancia ingenieril.

El cálculo de peligro sísmico se basa en la metodología de Poisson, la cual considera que los eventos sísmicos tengan independencia entre los tiempos de ocurrencia, es decir cada sismo se considera como un evento aislado, depurando todas las réplicas y premonitores del catálogo.

Para realizar el análisis de peligro sísmico, las escalas de magnitud utilizadas son m_b y M_s , calculadas a partir de las ondas de cuerpo y de superficie respectivamente, obteniendo la siguiente relación para que se pueda utilizar cualquiera y homogenizar la muestra de datos.

$$m_b = 3.30 + 0.40M_s$$

c) Determinación del movimiento sísmico

Este método permite determinar la sismicidad de las zonas sismogénicas y expresarlas mediante una ley de recurrencia de la forma Gutenberg-Richter, la cual es la siguiente:

$$\text{Log}N = a - bM$$

Con ello, cada zona queda caracterizada por los parámetros de a , b y las magnitudes máximas y mínimas que acotan la línea de ajuste. Además, se debe aplicar una ley de atenuación para trasladar la influencia de todas las fuentes consideradas. Esto proporcionará una curva de probabilidad anual de superación de diferentes valores del parámetro elegido.

La ley de atenuación de Young et al (1997) es definida como:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(Sa) = & 0.2418 + 1.414 M + C1 + C2 (10 - M)^2 + C3 \text{Ln}(r + 1.7818 e^{0.554M}) \\ & + 0.00607H + 0.3846Z \end{aligned}$$

Donde: Sa , es la aceleración expresada en “g”; M , la magnitud; r , la distancia en km;

H , la profundidad del foco en km; Z , con valor “0” para sismos de interfase y “1”

para sismos intraplaca.

La ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) es definida como:

$$a = 68.7e^{0.8Ms}(R + 25)^{-1.0}$$

Donde: a, es la aceleración en cm/s²; Ms, magnitud de ondas superficiales y R, distancia hipocentral en km.

Figura 1 Ley de atenuación de Young et al (1997) en comparación con la de Casaverde y Vargas (1980) utilizando datos de Perú.

d) Probabilidad de excedencia del nivel de movimiento sísmico coherente con un periodo de retorno dado

La teoría de las probabilidades es aplicable en el análisis de riesgo de ocurrencia de eventos sísmicos. Esto quiere decir que si la ocurrencia de un evento “A” depende de otros eventos: E1, E2, ... En, entonces según el teorema de la “Probabilidad Total” se tiene para la probabilidad de ocurrencia de A:

$$P(A) = \sum_i^n P\left(\frac{A}{E_i}\right) * P(E_i)$$

Donde: P (A/Ei) es la probabilidad que “A” ocurra, si tomamos el caso de que Ei ocurra.

Para hallar la intensidad generalizada (I) de un sismo en un lugar determinado, dependerá del tamaño del sismo, la magnitud o la intensidad epicentral y de la distancia al lugar donde se querrá analizar. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$ respectivamente; entonces, el peligro sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada, será: $P(I \geq i)$ y está dada por (4):

$$P(I \geq i) = \int \int P[I/(s, r)] f_S(s) f_R(r) ds dr$$

Finalmente, en la actualidad esta fórmula que resume la teoría de Cornell en 1968 para analizar el peligro sísmico se adoptó al programa de computo “RISK” para su mayor uso con menor dificultad.

En el estudio de peligro sísmico, a la probabilidad en un tiempo determinado de que ocurra un sismo de la misma intensidad o mayor, se le denomina nivel de excedencia (RISK) o probabilidad extrema y se expresa de la siguiente manera:

$$RISK = 1 - e^{-\frac{t}{Ry(a)}}$$

donde:

t: tiempo de vida útil

$Ry(a)$: periodo de retorno promedio en años de un sismo de intensidad mayor a “a”.

El nivel de confianza se expresa como:

$$Nivel\ de\ confianza = 1 - RISK_t$$

Se seleccionarán valores representativos de diseño dependiendo de la vida útil de la edificación que va a ser estudiada, ya que la selección de los movimientos sísmicos depende del tipo de infraestructura que va a ser construida.

2.2.2 Método Determinístico

El enfoque determinístico es el más antiguo. El peligro se evalúa en función del evento más grande que se pueda presentar en el área de estudio. El conjunto de todos los agentes generadores de terremotos se suele denominar el potencial sísmico de la zona y se acostumbra a representarlo por el evento más grande que se pueda generar. Luego de identificar el sismo más grande, el peligro del sitio queda definido en términos del movimiento del suelo o de la respuesta estructural que este sismo pueda generar.

Un análisis determinístico de peligro sísmico tiene la ventaja de ser muy simple y claro, ya que se puede determinar directamente el valor de peligro en el sitio y actualizarlo a medida que se obtenga información reciente respecto al sismo máximo. Un análisis determinístico, sin embargo, no considera las incertidumbres en las magnitudes y la ubicación de los sismos,

así como el nivel de movimiento de suelo que pueda ocurrir durante el tiempo de vida útil de una estructura, no resultando apropiado en muchos casos para tomar decisiones.

Una dificultad especial en la cuantificación determinística del peligro sísmico radica en lo subjetivo que puede resultar la elección del sismo más grande con el fin de representar el potencial sísmico de la zona. Al respecto se han sugerido diferentes términos para describirlo, como por ejemplo el sismo máximo creíble (SMC), el sismo base de diseño (SBD) y el sismo máximo probable (SMP). El SMC, por ejemplo, es usualmente definido como el sismo máximo que parecería capaz de ocurrir bajo la condición tectónica conocida.

El comité en riesgo sísmico del Earthquake Engineering Research Institute (EERI) determinó que los términos como el SMC y el SMP “son engañosos y su uso es desalentador” (Committee on Seismic Risk 1984).

2.3 Amplificación Sísmica

El desarrollo y transmisión de energía sísmica a través de la geología subyacente es bastante compleja, y un estudio de respuesta sísmica específico de sitio requiere una evaluación de los principales factores que influyen en las características del movimiento del suelo en un sitio. Entre estos factores se encuentran:

- Mecanismo de la fuente de terremoto
- Geología de la ruta de viaje
- Efectos topográficos
- Magnitud del terremoto
- Distancia de la zona de liberación de energía
- Condiciones locales del suelo

Los efectos locales desempeñan un papel importante en el diseño resistente a los terremotos y deben ser contabilizados caso por caso. Esto se logra generalmente mediante el desarrollo de uno o más diseños de movimientos de tierra, dicho de otro modo, con movimientos que reflejen los niveles de amplitud de movimientos fuertes, el contenido de frecuencia y la duración con la que se debe diseñar una estructura o instalación en un sitio particular.

2.3.1 Amplificación Específica de Sitio

Los patrones localizados de daños importantes durante el terremoto de Loma Prieta de 1989 en el norte de California demuestran la importancia de comprender la respuesta sísmica de los depósitos de tierra profunda. Como se observó, más de la mitad de los daños económicos y más del 80% de las pérdidas de vidas se produjeron considerablemente en menos del 1% de la tierra dentro de los 80 km de la zona de ruptura de fallas debidas, en gran medida, a los efectos específicos del sitio. Por ejemplo, en el área de Oakland, que está a 70 km de la zona de ruptura, las aceleraciones horizontales máximas se amplificaron en un factor de 2 a 4 y las aceleraciones espectrales, en algunas frecuencias, se amplificaron en un factor de 3 a 8. El dramático colapso de la estructura elevada de la autopista I-880, en la que fallecieron 38 personas, se atribuye en parte a estos movimientos fuertes amplificados. Cientos de edificios en el área de la Bahía de San Francisco sufrieron daños significativos debido a fuertes temblores.

El espectro de respuesta muestra la respuesta máxima inducida por los movimientos de tierra en estructuras de un solo grado de libertad amortiguadas de diferentes períodos

fundamentales. Cada estructura tiene un período fundamental único en el que la estructura tiende a vibrar cuando se le permite vibrar libremente sin ninguna excitación externa. El espectro de respuesta indica cómo una estructura particular con su período fundamental inherente respondería al movimiento de tierra del terremoto.

2.3.2 Análisis Teórico de la Respuesta del Suelo

Existen razones teóricas por las que los movimientos de la superficie del suelo deben estar influenciados por las condiciones de un determinado lugar. Generalmente, la densidad y la velocidad de corte de los materiales cerca de la superficie son menores que a mayores profundidades. De no considerar los efectos de dispersión y el amortiguamiento de los estratos, la energía de las ondas elásticas de la profundidad a la superficie del suelo será constante. Por lo tanto, dado que la densidad y la velocidad de corte disminuyen a medida que las ondas se aproximan a la superficie del suelo, la velocidad de la partícula debe aumentar.

Las características de los depósitos locales del suelo también pueden influir en el grado en que la amplificación del movimiento del suelo ocurrirá cuando la respuesta vibratoria específica del suelo sea constante. Tomando en cuenta todo lo mencionado, se puede observar en la Figura 2; dos suelos con geometrías idénticas, pero una es cuatro veces más rígida que la otra.

Figura 2 Comparación de dos estratos con diferente velocidad de ondas de corte. (KRAMMER, S. 1996)

Partiendo de la premisa de que cada suelo es linealmente elástico y el lecho rocoso es rígido, las funciones de amplificación de cada suelo se muestran en la Figura 3. Se puede observar que el suelo más blando (suelo a) amplificará los movimientos del lecho rocoso

de baja frecuencia (periodo largo) más que el suelo rígido (suelo b); lo contrario sería observado para los movimientos de alta frecuencia (periodo corto).

Debido a que los terremotos producen movimiento de roca sobre un rango de frecuencias, algunos componentes de un movimiento real de la roca base se amplificarán más que otros:

Figura 3 Comparación de dos suelos de diferentes rigideces con respecto a la frecuencia.
(KRAMMER, S. 1996)

2.3.3 Influencia del Tipo de Suelo en la Amplificación Sísmica

Las suposiciones idealizadas de análisis simple unidimensionales de la respuesta de tierra (materiales uniformes, capas horizontales, propagación vertical de ondas tipo “s”, etc.) producen una función de amplificación lisa tal como las mostradas en la Figura 3. Dado que estas condiciones rara vez existen en el campo, las funciones de la amplificación real no son tan suaves.

La interpretación de los datos de movimiento fuerte de los sitios donde se instalaron instrumentos de superficie y subterráneos permite calcular las funciones de amplificación reales. La fuerte amplificación en las frecuencias naturales del depósito de suelo ilustra claramente la importancia de las condiciones locales en la respuesta al suelo. El lugar consiste de varios suelos de velocidad de onda de corte relativamente uniforme sobre el lecho rocoso. Por consiguiente, la dependencia de la frecuencia de la función de amplificación real es cualitativamente similar a la predicha el análisis simple de respuesta del suelo. Para sitios con condiciones de subsuelo más complicadas, o para terremotos más fuertes en los que la no linealidad del suelo puede llegar a ser significativa, disminuye la capacidad del análisis simple de la respuesta del suelo para predecir los picos y valles

irregulares de las funciones reales de amplificación. Los efectos de la no linealidad del suelo también hacen que las funciones de amplificación de los movimientos fuertes difieran de las de los movimientos débiles.

2.3.4 Desarrollo Específico de Sitio

El análisis de peligro sísmico y el análisis de respuesta del suelo son fundamentales cuando se requiere un desarrollo específico de sitio, ya que este desarrollo refleja los efectos detallados de las condiciones particulares del subsuelo en los sitios de interés.

Para esta investigación se utiliza el análisis probabilístico de peligro sísmico, por lo que el movimiento de diseño está asociado con algún nivel de riesgo o periodo de retorno. Estos movimientos del terreno se basan en parámetros con un 10% de excedencia en 50 años, eso quiere decir que tienen un periodo de retorno de 475 años.

El análisis de peligro sísmico generará un conjunto de parámetros de movimiento del suelo que pueden o no corresponder a las condiciones del subsuelo en el sitio de estudio. Como el análisis probabilístico utiliza relaciones predictivas que muchas veces corresponden a un rango bastante estrecho de las condiciones superficiales; estos datos pueden ser utilizados siempre y cuando correspondan o sean similares al sitio de interés, de no ser así, en un enfoque analítico pueden requerirse tanto la deconvolución como la convolución del suelo en estudio, para lo que se va a requerir los análisis de suelos convencionales en dicho sitio.

2.3.5 Factor de Amplificación Sísmica

Es el aumento de aceleración en la superficie del terreno comparada con la aceleración en la roca a profundidad, es el aumento de la duración del sismo y que modifica las características del movimiento, la amplificación se puede analizar partiendo de la onda en la roca profunda o partiendo de un afloramiento superficial de roca, el caso de amplificación más estudiado es el de Ciudad de México, es de importancia el análisis de todo el espectro de amplificación, siempre se representan de mayor magnitud en determinados periodos de los espectros, ciertamente a mayor impedancia (resistencia) la amplificación es mayor, sin duda los factores fundamentales que afectan la amplificación son los diversos tipos de suelos.

En suelos arcillosos blandos la amplificación puede ser el doble que, en gravas o arenas compactas, los factores fundamentales se utilizan en los códigos sísmicos para captar los efectos de amplificación de las condiciones locales del suelo en movimientos de tierra y, por lo tanto, en las fuerzas de diseño sísmico, otro de los factores que afectan la amplificación sísmica, es la profundidad de la cimentación al respecto Seed (1975) registró que las aceleraciones en edificios cimentados cerca de la superficie del terreno eran en promedio de 4 a 5 veces mayores que los cimentados a 24 metros, en la distancia a la fuente del sismo, las amplificaciones cerca a la fuente dependen más de la geología y de la topografía que del suelo del sitio (8).

A grandes distancias dependen principalmente de la diferencia en la impedancia de la estratificación, del tipo de suelo y del espesor del manto, en los sitios más cercanos a la fuente, la amplificación es diferente, es lo que se observó en el terremoto de San Francisco la respuesta fue muy diferente a el terremoto de Ciudad de México, la magnitud es otro factor clave en la amplificación sísmica, lo expuesto por Idriss (1991) estudió que en el terremoto de Ciudad de México las amplificaciones tienden a disminuir cuando las aceleraciones en la roca son mayores a 0.1g, los suelos más duros amplifican, mientras que los suelos más blandos tienden a atenuar después de 0.4 g, la forma más confiable de determinar los factores es utilizando acelerogramas del sitio o de sitios similares con sismos similares, es primordial tener en cuenta la distancia a la fuente del sismo y las profundidades de cimentación (9).

Los suelos se comportan de manera distinta, en suelos reales se produce una pérdida de energía y no ocurre una amplificación tan grande, a medida que se tiene mayor información sobre el comportamiento de los suelos, los códigos empleados van cambiando, según los constantes sismos los códigos varían a las condiciones presentes, debido al sismo de Loma Prieta (1989) obligó a cambiar el código en Estados Unidos, observaciones experimentales muestran, que un factor importante son los efectos topográficos que son significativos cuando el tamaño de la irregularidad de la superficie es cercano al rango de la longitud de onda incidente, la amplificación aumenta con la pendiente, el tamaño de la pendiente es un factor que no debe de ser pasado por alto, la amplificación se afecta por la superficie topográfica esto trae consigo fenómenos 2D (10).

Los factores que afectan la amplificación son los tipos de suelo de acuerdo al perfil de suelo, las características de la amplificación son diferentes, entre los principales están los suelos: muy duros, duros, intermedios, blandos, en suelos duros la amplificación sísmica se presenta preferencialmente en los períodos cortos del espectro, en perfiles de suelos blandos la amplificación se presenta preferencialmente en los períodos largos del espectro (11).

Los niveles de impedancia modifican las características de la amplificación, la rigidez de la cimentación y la estructura también afectan la amplificación, la resonancia es otro factor de la amplificación, son los efectos principales que afectan las características y niveles del movimiento del terreno, generan reflexiones múltiples especialmente en la capa superior de suelo, ondas atrapadas resuenan debido a las reflexiones múltiples, la interferencia con las cimentaciones puede causar resonancia, la resonancia depende del espesor de la capa y de su elasticidad, la amplificación es un efecto combinado de la impedancia y la resonancia, la amplificación depende de la frecuencia fundamental del suelo (12).

La frecuencia fundamental es otro factor que está relacionada con la rigidez del suelo, las características frecuenciales del sismo afectan la amplificación, otro factor que más afectan la rigidez de un edificio es su altura, los edificios más altos tienden a ser más flexibles y por lo tanto tienden a tener períodos fundamentales mayores, el período fundamental típicos de las edificaciones son: edificios de un piso 0.1 seg, edificios de 4 pisos 0.5 seg, edificios de 10 a 20 pisos 1.0 a 2.0 seg, edificios muy altos 5.0 a 6.0 seg, la amplificación es mayor cuando coinciden los períodos fundamentales (13).

2.4 Norma Técnica Peruana E.030

2.4.1 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

Las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico deben de ser las siguientes:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Esta norma aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaran dañadas por la acción de los sismos

Existen características que representan a los sismos en el que según a la clasificación en la que se encuentre puede amplificar o disminuir la fuerza con la que el sismo actúa. Entre ellos se encuentra la zonificación del lugar y las condiciones geotécnicas.

2.4.2 Zonificación

Figura 4 Zonas Sísmicas del Perú. (RNE E.030, 2018)

A cada zona se asigna un factor Z. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 3: Factores de Zona. (Adaptado de RNE E.030, 2018)

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

2.4.3 Condiciones Geotécnicas

Los perfiles de los suelos se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s), para suelos granulares, se utiliza el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos por el ensayo SPT, o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condiciones no drenadas (S_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades se aplican a los 30 metros superiores del perfil del suelo medido.

Para perfiles heterogéneos, esto quiere decir cohesivos y granulares, se sabe que para los estratos de suelos cohesivos se utiliza (S_u) y para suelos granulares (N_{60}), y esto hace que se tomen clasificaciones de suelo distintos. Por ello en este caso se toma la clasificación que corresponda al perfil más flexible.

En la siguiente tabla se encuentran los factores de velocidades de propagación de onda de corte (V_s), promedio ponderado de ensayo estándar de penetración (N_{60}) y resistencia al corte en condición no drenada (S_u) que deberán de tomarse en cuenta según el tipo de suelo:

- S0 = Roca Dura
- S1 = Roca o suelos rígidos
- S2 = Suelos medianamente rígidos
- S3 = Suelos Blandos
- S4 = Suelos en condiciones excepcionales

Tabla 4: Adaptado de clasificación de los perfiles de suelo. (RNE E.030, 2018)

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Para determinar los valores de la velocidad promedio de ondas de corte (V_s), promedio ponderado de ensayo estándar de penetración (N_{60}) y el promedio ponderado de la resistencia al corte en condiciones no drenadas (S_u) se utilizará las siguientes formulas respectivamente:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los “n” estratos y V_{si} es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

$$\bar{N}_{60} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{d_i}{N_{60i}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los “m” estratos con suelo granular y N_{60i} es el correspondiente valor corregido del SPT.

$$\bar{s}_u = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{d_i}{s_{ui}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los k estratos con suelo cohesivo y s_{ui} es la correspondiente resistencia al corte en condición no drenada (kPa).

2.4.4 Parámetros de Sitios

Para ello se utiliza las siguientes tablas:

Tabla 5: Factor de suelo "S". (RNE E.030, 2018)

FACTOR DE SUELO “S”				
	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_1	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 6: Períodos "Tp" y "Tl". (RNE E.030, 2018)

PERIODOS "Tp" Y "Tl"				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

2.4.5 Factor de Amplificación Sísmica

Según las características de sitio se define el factor de amplificación:

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Figura 5 Factor de amplificación sísmica en función del Periodo (E030-2018)

Donde "T" es el periodo fundamental de vibración y para cada dirección se estima con la siguiente formula:

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

Los valores se definen:

C_T = Coeficiente para estimar el periodo fundamental de un edificio.

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Además, se puede utilizar la expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2 \right)}{\left(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i \right)}}$$

Donde:

- f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.
- d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calcularán suponiendo

comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental T deberá tomarse como 0,85 del valor obtenido con la fórmula precedente.

Tomando estos datos se puede realizar el espectro de diseño de pseudo – aceleración (S_a), con la fórmula:

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

Tomando en cuenta la formula podemos obtener un espectro de diseño como el que se presentara a continuación:

Figura 6 Espectro de Diseño

Con el espectro de diseño se obtendrán los valores de pseudo aceleración para distintos periodos y así se obtendrá el desplazamiento máximo de la estructura y la deriva de entrepiso.

Además, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso se calculará dividiendo el desplazamiento por la altura del piso respectivamente y no debe de exceder el siguiente cuadro para que el diseño cumpla las especificaciones de la norma.

Tabla 7 Limites para la deriva entrepiso. (RNE E.030, 2018)

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

2.5 Análisis Sísmico

2.5.1 Desarrollo del Análisis Modal Espectral

El método modal espectral es el más usado universalmente en el cálculo de las fuerzas sísmicas, puesto que los espectros sísmicos son fácilmente generalizables y normalizables.

Además, el método permite determinar espectros “envolventes” que representen la sismográfica de un determinado lugar y evita tener que realizar múltiples combinaciones a partir de cálculos evolutivos sobre múltiples acelerogramas de cálculo, se utilizan espectros de pseudo-aceleraciones.

Para determinar los parámetros que se va a utilizar para construir el espectro de pseudo-aceleraciones se utiliza la NTP-E030 (Norma Técnica Peruana) y se identifican según el lugar donde se construya la edificación además del uso de esta, resolviendo la ecuación de pseudo velocidad (S_a) para los distintos periodos (T)

$$S_a = \left(\frac{Z_{UCS}}{R} \right) g.$$

Donde “C” depende del periodo “T”, de esta manera obtener distintos puntos para generar la gráfica siguiente:

Figura 7 Espectro de Pseudo – aceleración (Norma E-060, 2018)

2.5.2 Formas de Modo

Existen varios “modos” o “formas” en los que una estructura puede vibrar frente a una fuerza de excitación sísmica. Estos tienen una respectiva frecuencia de vibración y la estructura que está sometida a esta fuerza vibra según una combinación de modos.

La frecuencia natural o propia del edificio es considerada un modo de vibración. Actualmente es necesario estudiar al menos 3 modos de vibración por planta y estos modos se estudiarán tanto en dirección “x” como en la dirección “y”.

En general, no se estudian modos de vibración cuyos periodos difieran en menos del 10% respecto al periodo anterior considerado y, para cada uno de ellos, se obtendrán datos de la curva de espectro normalizado (aceleración de respuesta). De esta manera se puede obtener el desplazamiento de cada planta frente a la acción sísmica en un determinado modo de vibración.

2.5.3 Combinación Modal

Alternativa a la ecuación cuadrática completa, CQC

$$R_k = 0.25 \sum |R_i| + 0.75 \sqrt{\sum R_i^2}$$

Combinación cuadrática completa, CQC

$$R_k = \sqrt{\sum \sum R_{ki} \rho_{ij} R_{kj}}$$

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+r)r^{3/2}}{(1+r)^2 + 4\beta^2r(1+r)^2} \quad r = \frac{w_j}{w_i}$$

Donde:

- R_k Respuesta en el grado de libertad k
- R_{ki} Respuesta del modo i en el grado de libertad k
- R_{kj} Respuesta del modo j en el grado de libertad k
- ρ_{ij} Coeficiente de correlación entre el modo i y el j
- r Relación de la frecuencia j a la i

Figura 8 Modos de vibración de una edificación (MELI & BAZAN, 1999)

Una de las limitaciones inherentes al método modal espectral es que es aplicable a sistemas lineales; es decir, siempre que la estructura se mantenga dentro del campo elástico y de pequeños desplazamientos.

Otra limitación importante del método espectral es que sólo da como resultado el valor máximo del desplazamiento de la estructura (o los esfuerzos máximos) pero sin indicar en qué instante del tiempo se produce dicho máximo. Como lo que interesa es el valor máximo de los desplazamientos (o esfuerzos) resultante de la superposición de todos los modos, la falta de simultaneidad de la respuesta máxima en los distintos modos impide que se pueda obtener el valor exacto del máximo de la superposición de todos los modos.

2.5.4 Desarrollo del Análisis Dinámico Tiempo - Historia

En muchas ocasiones, los parámetros de movimiento del suelo por sí solos no describen adecuadamente los efectos del movimiento del suelo.

Para el análisis de problemas no lineales tales como la respuesta de estructuras inelásticas o la deformación permanente de una pendiente inestable, se requieren acelerogramas de tiempo - historia. Estos también pueden ser requeridos en el desarrollo del diseño de movimientos de tierra en sitios específicos. En estos casos, se requiere que el tiempo - historia coincida con los parámetros objetivos del movimiento del suelo tales como aceleraciones de pico, velocidades y ordenadas espectrales.

En algunos casos, las condiciones geológicas y tectónicas locales y regionales del sitio de interés pueden ser tan similares a aquellos de sitios donde se han medido previamente fuertes movimientos y con esos registros de movimientos fuertes se pueden usar directamente.

En otros casos, los movimientos artificiales del suelo pueden desarrollarse de diferentes maneras. Los principales desafíos en su desarrollo son asegurar que sean consistentes con los parámetros objetivos y que sean realistas, es decir que sus características sean consistentes con la de los terremotos reales. Esto no es tan fácil como podría parecer, muchos movimientos que parecen razonables en el dominio del tiempo no pueden ser examinados en el dominio de la frecuencia, y viceversa. Por ello, muchos aspectos razonables tiempo - historias de aceleración producen, después de la integración, irrazonable tiempo - historias de velocidad y/o desplazamiento.

Tomando en cuenta lo dicho anteriormente se puede afirmar que la calidad de un movimiento artificial del suelo es muy difícil de discernir a simple vista (24).

2.6 Acelerogramas Sintéticos

La ingeniería sísmica es el campo científico relacionado con el estudio del comportamiento de las estructuras sujetas a cargas sísmicas, se requieren acelerogramas de terremotos (señales sísmicas) para simular la respuesta de las estructuras, los escenarios de desastres necesitan un conjunto extenso de señales sísmicas y, aunque existe una gran base de datos de grabaciones de excitaciones sísmicas, en muchas regiones faltan registros reales de historial de tiempos de aceleración (25).

Los acelerogramas compatibles con el espectro artificial se utilizan ampliamente en el análisis dinámico de estructuras, el método propuesto se basa en Hilbert-Huang Transform (HHT) para generar acelerogramas de terremotos compatibles con el espectro, es bien sabido que el HHT es una técnica de procesamiento de señales adecuada para analizar señales no estacionarias y no lineales, como las señales sísmicas, el HHT descompone el acelerograma de terremotos en un número finito de Funciones de Modo Intrínseco (FMI), y proporciona una distribución de energía-frecuencia-tiempo, el espectro de Hilbert.

Figura 9 Transformada de Hilbert-Huang

La extracción de los FMI se basa en las características locales de la señal sísmica y no en suposiciones a priori, a diferencia de las técnicas tradicionales de procesamiento de señales, en HHT, la frecuencia se define mediante la diferenciación y no existe una limitación del principio de incertidumbre sobre el tiempo o la resolución de frecuencia de los pares de convolución basados en bases a priori, por lo tanto, HHT proporciona una distribución de energía-frecuencia-tiempo más aguda, además, el número finito de los FMI extraídos es adecuado para describir cualquier señal sísmica y, por lo tanto, reduce la carga computacional del algoritmo (26).

Los métodos mencionados anteriormente emplean HHT para generar acelerogramas compatibles con espectro, en el método se requieren seis registros naturales para describir las áreas de alta y baja frecuencia del espectro de diseño objetivo, la señal sísmica compatible con el espectro artificial se obtiene al resolver un problema de optimización, la diferencia entre el espectro objetivo y el espectro de respuesta de la señal sísmica generada artificialmente se trata como la función de costo, en contraste con el método mencionado anteriormente, en la técnica propuesta solo se requiere una señal de terremoto inicial (27).

Puede ser de cualquier intensidad, por lo tanto, no se imponen limitaciones, para las señales sísmicas artificiales que se generan y se someten a un estudio de correlación, el estudio de correlación demuestra que las señales sísmicas generadas artificialmente comparten valores de parámetros sísmicos similares a los acelerogramas naturales, uno de los métodos de aceleradores sintéticos es el métodos deterministas, uno de los primeros métodos deterministas utilizados para generar acelerogramas artificiales se basó en la teoría de dislocación de cizalladura del punto, el método utiliza el momento sísmico y una función de deslizamiento de falla supuesta para caracterizar la fuente del terremoto y la teoría de la onda para modelar la transmisión, de las ondas de corte sísmicas generadas a un sitio a través de un medio espacio homogéneo (28).

Las deficiencias de este método son que la función de deslizamiento asumida representa de manera simplista la fuente y no tiene en cuenta las irregularidades aleatorias de la ruptura, mientras que el modelo de medio espacio no tiene en cuenta las reflexiones, refracciones y dispersión de ondas en un medio heterogéneo típico, las simulaciones deterministas más sofisticadas desde entonces se han desarrollado para generar acelerogramas más realistas, los dos métodos de simulación contemporánea más populares son el método de la función empírica de Green (EGF) y el método de la teoría de los rayos.

En el método EGF, las funciones empíricas de Green idénticas (que definen la onda generada por un pequeño impulso que viaja a través de un medio elástico) derivadas de un evento sísmico pequeño se superponen con intervalos de tiempo cortos para generar acelerogramas de eventos mucho más grandes, basados en leyes de escalado establecidas, el método tiene la ventaja de la simplicidad, pero su potencial está limitado, las funciones empíricas adecuadas de Green no siempre están disponibles (29).

En el método de teoría de rayos, los acelerogramas se generan mediante la convolución de una función teórica de Green sintetizada por la teoría de rayos (basada en la trayectoria de propagación de onda) con una función de tiempo de fuente empírica o teórica (basada en la geometría de falla asumida y profundidad de la señal), si bien el método de la teoría de rayos es capaz de predecir los terremotos generados a partir de una fuente estudiada y una estructura de corteza, es difícil aplicar en una región intraplaca de baja sismicidad donde la falla causante del terremoto futuro es típicamente desconocida antes del evento (30).

2.6.1 Transformación de acelerogramas a espectros de respuesta

Para obtener los espectros de respuesta, se utilizan los métodos numéricos en el cual la respuesta se determina en los instantes de tiempo discretos obteniendo como ecuación de movimiento en el instante de tiempo “i”, para un sistema de 1GDL:

$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + fs(u_i) = p_i$$

Donde $\ddot{u}_i$ es la aceleración, $\dot{u}_i$ es la velocidad y u_i es la deformación.

Existen tres requisitos elementales para el procedimiento numérico:

1. La convergencia: mientras menor sea el intervalo de tiempo la solución numérica debe ser más exacta.
2. La estabilidad: Esta solución numérica deberá de ser estable en cuanto a la presencia de errores de redondeo.
3. La precisión: El procedimiento debe de proporcionar resultados cercanos a la solución exacta.

Hay distintos métodos numéricos que permiten transformar un acelerograma a un espectro de respuesta. Por motivos de estudio se utilizará el método basado en la interpolación de excitación, este procedimiento numérico es muy eficiente siempre y cuando se tome un intervalo de tiempo corto para que la interpolación lineal sea más exacta.

Tomando en cuenta los datos de un acelerograma, y utilizando las fórmulas de recurrencia:

$$u_{i+1} = Au_i + B\dot{u}_i + Cp_i + Dp_{i+1}$$

Para sistemas sub amortiguados de: $\zeta < 1$

Donde:

Pi=m x a (m=masa y a= aceleración)

$$A = e^{-\zeta\omega_n\Delta t} \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \operatorname{sen}\omega_D\Delta t + \cos\omega_D\Delta t \right)$$

$$B = e^{-\zeta\omega_n\Delta t} \left(\frac{\zeta}{\omega_D} \operatorname{sen}\omega_D\Delta t \right)$$

$$C = \frac{1}{k} \left\{ \frac{2\zeta}{\omega_D\Delta t} e^{-\zeta\omega_n\Delta t} \left[\left(\frac{1-2\zeta^2}{\omega_D\Delta t} - \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right) \operatorname{sen}\omega_D\Delta t - \left(1 + \frac{2\zeta}{\omega_D\Delta t} \right) \cos\omega_D\Delta t \right] \right\}$$

$$D = \frac{1}{k} \left\{ 1 - \frac{2\zeta}{\omega_D\Delta t} + e^{-\zeta\omega_n\Delta t} \left[\left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_D\Delta t} \right) \operatorname{sen}\omega_D\Delta t + \left(\frac{2\zeta}{\omega_D\Delta t} \right) \cos\omega_D\Delta t \right] \right\}$$

Finalmente, el procedimiento se realiza para distintos periodos de tiempo (T_n), y se construye el espectro de respuesta con los datos hallados.

2.6.2 Ajuste Espectral

Para obtener una comprensión de los procesos de la superficie de la tierra en una debida variedad de escalas, es cada vez más necesario utilizar datos de múltiples sensores de observación de los diferentes tipos de suelos, mediante la combinación de sensores de resolución espacial similares, se puede lograr una mayor temporalidad en las resoluciones, aumentando la capacidad de monitorear cambios rápidos, fenómenos, la intercomparación entre diferentes sensores de parámetros básicos, como la reflectancia de la superficie, es crítico y fundamental para construir bases de datos que sean consistentes con toda la información que se pueda obtener

Bandas similares de diferentes sensores tiene diversos rangos espectrales tienen una eficiencia de banda diferente (respuesta espectral relativa), conduce a un desplazamiento significativo en los valores medidos, incluso cuando se observa el mismo objetivo al mismo

tiempo, importante colocar estos sensores en escala de radiometría común, si se desea generar series de tiempo en un determinado parámetro físico que cubra diferentes generaciones de sensores y tipos de sensores.

Una forma de lograr una escala radiométrica común es usar un sensor que ya está bien calibrado para calibrar otros sensores (es decir, calibración cruzada), la calibración cruzada es una clave para la continuidad, interoperabilidad y fusión de datos, y es crítico, cuando el sensor no tiene una referencia a bordo disponible o cuando las calibraciones vicarias son limitadas, en la actualidad existen diferentes procesamiento de señales, una característica básica con la que todo programa de procesamiento de señales debe contar es la de poder eliminar o conservar ciertos intervalos de la señal, de esta forma se podrá eliminar aquellas partes de la señal que no son relevantes a la hora de analizar los aspectos importantes de la misma.

Para realizar un recorte en una señal, en primer lugar, hay que representarla en el dominio del tiempo, esta representación, mostrará en el eje de ordenadas los valores de la amplitud de la señal, y en el eje de abscisas pudiera mostrarse tanto unidades de tiempo como números de muestras de la secuencia de datos considerada como señal, mediante el filtrado, se puede elegir la parte del espectro deseada.

También se puede afirmar que la coincidencia o el ajuste espectral en el dominio del tiempo es la técnica que más utilización tiene en el campo de la ingeniería sísmica para obtener acelerogramas para los cuales el espectro de respuesta es compatible con un espectro objetivo suave, ya sea un espectro de diseño de polilínea o un espectro de riesgo, estos acelerogramas se suelen utilizar en las evaluaciones de la respuesta de las diversas estructuras, generalmente más allá de su régimen elástico lineal, esta práctica está muy extendida, existe un debate en curso sobre si estos acelerogramas emparejados son sustitutos legítimos de los reales y si producen estimaciones de respuesta estructural sesgadas, dada la no estacionariedad de las señales acelerométricas, se suele utilizar la transformada de Stockwell de tiempo-frecuencia para poder comparar pares de acelerogramas para caracterizar en tiempo y frecuencia los cambios que son inducidos por el proceso de emparejamiento e investigar las características de un acelerograma que causa picos de respuesta de un oscilador no lineal de un solo grado de libertad (5).

Para realizar el ajuste espectral, se ha utilizado el uso de wavelets de ajustes en el que se puede contrar con los siguientes:

- a. Lilhanand y Tseng, 1988; Abrahamson N., 1992

$$\begin{aligned}
 f_f(t) &= h_f(t_f - t) \\
 &= \frac{\omega_f}{\sqrt{1 - \beta_f^2}} \exp(-\omega_f \beta_f (t_f - t)) ((2\beta_f^2 - 1) \text{sen}(\omega_f'(t_f - t)) \\
 &\quad - 2\beta_f \sqrt{1 - \beta_f^2} \cos(\omega_f'(t_f - t)))
 \end{aligned}$$

Figura 10 Wavelets de Ajustes de Lilhanand y Tseng, 1988; Abrahamson N.

- b. Hancock et al. 2006

$$f_f(t) = \cos(\omega_f'(t_f - t + \Delta t_f)) \exp(-|t - t_f + \Delta t_f|) \alpha_f;$$

$$\Delta t_f = \frac{\tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \beta_f^2}}{\beta_f}}{\omega_f'}$$

Figura 11 Wavelets de Ajustes de Hancock 2006

c. Al Atik L. & Abrahamson N., 2010

$$f_f(t) = \cos\left(\omega_f'(t_f - t + \Delta t_f)\right) \exp\left(-\left(\frac{t-t_f+\Delta t_f}{\gamma_f}\right)^2\right);$$

$$\gamma_{(f)} = 1.178f^{-0.93}$$

Figura 12 Wavelets de Ajustes de Al Atik L. & Abrahamson N., 2010

3 CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo se estudió la respuesta sísmica de 4 edificios con el análisis modal espectral y se comparó con los análisis tiempo-historia de dichos edificios considerando la generación de acelerogramas sintéticos y la amplificación del suelo en dos diferentes sectores. Con estos estudios se obtiene una totalidad de 16 análisis sismorresistentes (8 análisis modal espectral y 8 análisis dinámicos tiempo-historia) para 4 modelos computacionales considerando los suelos de Cercado de Lima y la Punta.

Dicho estudio se realizó para determinar los distintos resultados al aplicar estos análisis como son derivas de entrepiso, deformaciones, fuerzas y comportamiento del edificio frente a fenómenos de sismos.

3.1 Generación de Acelerogramas Sintéticos

3.1.1 Selección de Acelerogramas

Para este estudio se utilizaron los siguientes acelerogramas, debido a las similares propiedades dinámicas de los suelos en Lima con los del lugar de ocurrencia de los sismos respectivos, así mismo se verifico que las frecuencias de Fourier son similares entre los acelerogramas utilizados esto para validar el uso de los mismos, ver Anexo I.

Figura 13 Comparativo de las amplitudes de Fourier de los acelerogramas a utilizar en la dirección Este-Oeste

Figura 14 Comparativo de las amplitudes de Fourier de los acelerogramas a utilizar en la dirección Norte-Sur

Tabla 8 Resumen de acelerogramas a utilizar.

EO							
Nº	Sismo	Año	Estación	Magnitud	PGA (g)	PGV (m/s)	PGD (m)
1	Lima	1966	Parque de la Reserva	8.1	0.184	0.122	0.04
2	Ancash	1970	Parque de la Reserva	6.6	0.107	0.043	0.015
3	Lima	1974	Parque de la Reserva	6.6	0.196	0.153	0.049
4	Moquegua	2001	Rolando Catacora Sports Complex	6.9	0.301	0.245	0.045
5	Maule	2010	Private University of Tacna	6.5	0.268	0.313	0.047

NS							
Nº	Sismo	Año	Estación	Magnitud	PGA (g)	PGV (m/s)	PGD (m)
1	Lima	1966	Parque de la Reserva	8.1	0.276	0.201	0.09
2	Ancash	1970	Parque de la Reserva	6.6	0.1	0.062	0.019
3	Lima	1974	Parque de la Reserva	6.6	0.182	0.101	0.038
4	Moquegua	2001	Rolando Catacora Sports Complex	6.9	0.224	0.295	0.064
5	Maule	2010	Private University of Tacna	6.5	0.263	0.239	0.062

En este estudio, se colocará el procedimiento para un solo acelerograma (Lima 1966), debido a que el proceso de generación es repetitivo para los demás registros.

Figura 15 Acelerograma Lima 1966 de la Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S

Figura 16 Acelerograma Lima 1966 de la Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O

3.1.2 Espectro Objetivo y Ajuste Espectral

Con el acelerograma corregido en línea base, se realizará un ajuste espectral a un espectro de peligro uniforme, con la finalidad de obtener un acelerograma sintético que tenga las propiedades del acelerograma y un periodo de retorno, que en este caso será de 475 años.

Tabla 9: Valores del Espectro de Peligro Uniforme, Periodo vs Aceleración (Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017)

Espectro de Peligro Uniforme en ROCA	
Período Estructural	Tr= 475 años Acel (g)
0	0.4508
0.075	0.7120
0.1	0.8434
0.2	0.9811
0.3	0.8978
0.4	0.8172
0.5	0.7513
0.75	0.5144
1.0	0.3869
1.5	0.2251
2.0	0.1508
3.0	0.0686

Figura 17 Espectro de Peligro Uniforme con periodo de retorno de 475 años (Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017)

El acelerograma obtenido, se transforma en un espectro de respuesta y se realiza el ajuste espectral respectivo.

El procedimiento de ajuste espectral que realiza el programa SeismoMatch consiste en lo siguiente:

- Calcula el espectro de respuesta de un sistema de un grado de libertad, bajo la acción del registro sísmico seleccionado, considerando diferentes periodos y para un determinado factor de amortiguamiento.
- Comparar las aceleraciones espectrales máximas del espectro de respuesta así obtenido con el espectro objetivo y determinar las diferencias existentes en términos de ordenadas espectrales.
- Adicionar los fragmentos de ondas o wavelets utilizando el algoritmo propuestos por Abrahamson (1992) y Hancock et al. (2006) o el algoritmo propuesto por Al Atik y Abrahamson (2010) con fases y amplitudes adecuadas al acelerograma, de tal forma que la aceleración espectral obtenida se ajuste al espectro objetivo. Este procedimiento se realiza de manera iterativa hasta obtener un error aceptable en el ajuste espectral.

Figura 18 Ajuste espectral del acelerograma Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S

Figura 19 Ajuste espectral del acelerograma Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O

Acelerogramas sintéticos escalados en Cercado de Lima (Ver Anexo II)

Se transforma el espectro ajustado de respuesta a un acelerograma sintético escalado con 475 años de periodo de retorno para obtener los acelerogramas a utilizar en el Cercado de Lima.

Figura 20 Acelerograma sintético escalado ubicado Cercado de Lima para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S

Figura 21 Acelerograma sintético escalado ubicado en Cercado de Lima para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O

3.1.3 Deconvolución de acelerogramas

Con ayuda del Software DeepSoil, se realizará una deconvolución a los acelerogramas en los estratos del Parque de la Reserva en el Distrito de Cercado de Lima hasta suelo rígido, tomando en cuenta el perfil geotécnico (conformado por gravas, arenas, limos o arcilla) y el perfil geosísmico (velocidad de ondas de corte de cada estrato) con ayuda del ensayo de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) realizado en el Parque de la Reserva por el Mgtr. Odilio Dávila Pablo (2018).

Figura 22 Ensayo MASW- Parque de la Reserva
(Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2018)

Con ello, se obtuvieron los acelerogramas escalados en roca.

Figura 23 Acelerograma escalado en Roca para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección N-S

Figura 24 Acelerograma escalado en Roca para el Sismo de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva en la dirección E-O

3.1.4 Convolución de acelerogramas

Con la ayuda del software DeepSoil, se realizará la convolución de los acelerogramas ajustados a un periodo de retorno de 475 años en roca hacia la superficie del suelo de la Punta.

El perfil del suelo que se utilizó se obtuvo con ayuda del ensayo de Microtrepidación en arreglos multicanal (MAM) realizado en el jirón Saenz Peña, proporcionado por el Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017.

C
O
N
V
O
L
U
C
I
Ó
N

Figura 25 Ensayo MAM – Jr. Saenz Peña (Mgtr. Odilio Dávila Pablo, 2017)

Estrato	Cota (m)	Velocidad de ondas de corte (m/s)
Suelo suelto/Suelo blando	0	277.1
	1.7	290.5
Suelo rígido	1.9	295.6
	1.9	300.5
	2.1	303.6
	2.3	350.6
	2.3	404.8
Suelo muy denso o roca blanda	2.5	466.3
	2.5	516
	2.8	569.1
	2.8	620.6
	2.9	637.7
	3.1	613.7
	3.2	617.1
	3.3	582
	3.5	569.6
	3.6	575.4
	3.7	561
	3.8	548.1
	3.9	583.7
	4.1	577.1
	4.2	574.1
Roca o suelo muy rígido	4.3	575
	4.4	579.8
	4.6	685.6
	4.6	695.9
	4.9	708
	5.1	708

Acelerogramas sintéticos escalados en La Punta (Ver Anexo III)

Del procedimiento, se obtiene los acelerogramas sintéticos escalados a un periodo de retorno de 475 años con las propiedades dinámicas del suelo.

Figura 26 Acelerograma sintético escalado ubicado en La Punta, generado a partir del acelerograma de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva con un Periodo de Retorno de 475 años - Dirección N-S

Figura 27 Acelerograma sintético escalado ubicado en La Punta, generado a partir del acelerograma de Lima 1966 Estación Parque de la Reserva con un Periodo de Retorno de 475 años - Dirección E-O

Figura 28 Envolventes de los acelerogramas utilizados para el siguiente estudio. (Ver Anexo VII)

3.2 Definición y asignación de patrones de carga

Los elementos fueron definidos en el programa Etabs 2016 y se asignó en la base apoyos de empotramiento perfecto para el análisis.

Peso Propio: Lo proporciona y calcula el programa ETABS, llevará como nombre peso propio y será del tipo “Dead”; no se asignará carga con este patrón.

Carga Muerta: Proporcionado por el peso de elementos y materiales que forman parte del edificio, acabados de cielo raso, piso terminado, tabiquería interna, etc. Su nombre será “CM” y es de tipo “Dead”.

- Peso de tabiquería: 100 kgf/m²
- Acabados: 100 kgf/m²

Carga Viva de Entrepiso: Esta dado por los componentes móviles en el edificio, tales como escritorios, mesas y sillas, personas, etc. Su nombre será “CV” y es de tipo “Reducible Live”.

- Entrepiso: 200 kgf/m²

Carga Viva de Techo: Generalmente considera el peso de las personas que intervendrán en la colocación de las luminarias, acabados, colocación de coberturas e instrumentos. Su nombre será “CVT” y es de tipo “Live”.

- Techo: 100 kgf/m²
- Escalera: 200 kgf/m²

Carga Sísmica Estática X & Y: Representa la fuerza inercial horizontal producida por el peso total del edificio, calculado de acuerdo a la normativa E030 actualizada. Su nombre será “Sismo X” y “Sismo Y” del tipo “Seismic”.

3.3 Edificios de 5 pisos

3.3.1 Edificio Mirasol

a) Consideraciones iniciales

Figura 29 Elevación 3D, edificio Mirasol

Figura 30 Planta del primer piso del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)

Figura 31 Planta del 2do al 5to piso del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)

b) Materiales y elementos estructurales

Concreto:

- Resistencia nominal: $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Vigas)
 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Placas, Columnas y Losas).
- Módulo de elasticidad: $E = 250\,998.01 \text{ kgf/cm}^2$
- Peso específico: $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^3$
- Coefficiente de Poisson: $u = 0.2$

Acero corrugado grado 60 (ASTM A615):

- Fluencia: $f_y = 4\,200 \text{ kgf/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad: $E = 2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$

Figura 32 Cuadro de columnas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)

Figura 33 Cuadro de placas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)

Figura 34 Cuadro de vigas del edificio Mirasol. (Ver plano en Anexo IV.a)

c) Determinación del Sistema Estructural e Irregularidades

Para la determinación del sistema estructural y las irregularidades del edificio Mirasol, se realizó en base a la Norma E.030 – 2018. El procedimiento se puede visualizar en el Anexo V.a, de donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Mirasol

Sistema estructural	
Rox=6	Roy=6
Irregularidad	
Por altura	0.9
• Rigidez por piso blando	1
• Resistencia por piso débil	1
• Masa o Peso	1
• Geometría vertical	0.9
• Discontinuidad de sistema resistentes	1
Por planta	0.9
• Torsional	1
• Esquinas entrantes	0.9
• Discontinuidad de diafragma	1
• Sistemas no paralelos	1

3.3.1.1 Análisis Modal Espectral

3.3.1.1.1 Ubicación Cercado de Lima

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 11: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Mirasol

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1.00	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₁	1.00	Suelo – Grava arenosa muy densa
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.40 s	Para un suelo de clasificación S ₁
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento o constante.	T _L	-	2.50 s	Para un suelo de clasificación S ₁
Periodo fundamental	T _X	64.06 % de participación en X	0.299 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	76.49% de participación en Y	0.164 s	Periodo fundamental en Y
Coefficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	0.9	Es una estructura irregular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.86	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.86	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 35 Espectro de Diseño – Edificio Mirasol – Cercado de Lima.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 12: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E
Sx (tonf)	244.68	220.21	1.01
DIX Max (tonf)	229.90		
Sy (tonf)	244.68	220.21	No es necesario escalar
DIY Max (tonf)	205.39		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.a).

Figura 36 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 13: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	7.91	2.30	0.00082	0.00025	0.00339	0.00103	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	7.26	2.52	0.00077	0.00028	0.00318	0.00116	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 4.

Figura 37 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección Y-Y – Cercado de Lima.

Tabla 14: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima

Estático								
Pis o	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Lími te	Aceptaci ón
4	0.47	2.30	0.00005	0.00026	0.00024	0.00126	0.007	OK
Modal Espectral								
Pis o	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Lími te	Aceptaci ón
4	0.40	1.86	0.00004	0.00022	0.00018	0.00090	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 4.

3.3.1.1.2 Ubicación La Punta

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 15: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Mirasol

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₂	1.05	Suelo – Arenas arcillo limosas
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.6 s	Para un suelo de clasificación S ₂
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.0 s	Para un suelo de clasificación S ₂
Periodo fundamental	T _X	64.06 % de participación en X	0.299s	Periodo fundamental en X
	T _Y	76.49% de participación en Y	0.164s	Periodo fundamental en Y
Coefficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	0.9	Es una estructura irregular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.86	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.86	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 38 Espectro de Diseño – Edificio Mirasol – La Punta.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 16: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E
S_x (tonf)	256.92	231.23	1.19
DIX Max (tonf)	193.58		
S_y (tonf)	256.92	231.23	1.07
DIY Max (tonf)	215.66		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.a).

Figura 39 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección X-X – La Punta.

Tabla 17: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	8.30	2.41	0.00086	0.00026	0.00355	0.00107	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	7.62	2.65	0.00081	0.00029	0.00335	0.00120	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 4.

Figura 40 Desplazamiento del Edificio Mirasol en la dirección Y-Y – La Punta.

Tabla 18: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerY(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	0.49	2.42	0.00005	0.00026	0.00021	0.00107	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y(mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerY(R)(0.85)	Límite	Aceptación
4	0.42	1.96	0.00004	0.00022	0.00017	0.00091	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 4.

3.3.1.2 Análisis Dinámico Tiempo Historia

3.3.1.2.1 Ubicación Cercado de Lima

Tabla 19: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
5	34.76	34.90	39.70	34.98	34.94	38.23	34.32	34.02	32.77	31.93	39.70
4	26.99	27.17	30.75	27.08	26.81	29.74	26.74	26.32	25.41	24.75	30.75
3	18.89	18.95	21.31	18.75	18.58	20.78	18.69	18.19	17.64	17.17	21.31
2	10.97	10.96	12.23	10.75	10.75	12.02	10.82	10.39	10.12	9.85	12.23
1	5.57	5.53	6.16	5.41	5.46	6.07	5.48	5.21	5.08	4.99	6.16

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
5	7.11	8.91	7.70	8.25	8.80	9.92	8.98	9.22	8.17	8.24	9.92
4	5.54	6.95	5.99	6.43	6.83	7.76	7.01	7.16	6.39	6.44	7.76
3	3.84	4.84	4.17	4.47	4.72	5.43	4.89	4.95	4.48	4.50	5.43
2	2.19	2.78	2.38	2.55	2.67	3.12	2.80	2.82	2.57	2.58	3.12
1	1.27	1.66	1.39	1.48	1.58	1.86	1.65	1.67	1.53	1.52	1.86

Tabla 20: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima

Derivas X													
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo			
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001			
5	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.009	OK
4	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
3	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
2	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK

Derivas Y													
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo			
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001			
5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
4	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
1	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK

3.3.1.2.2 Ubicación La Punta

Tabla 21: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – La Punta

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
5	39.06	39.23	42.42	38.22	41.92	38.83	42.25	33.43	34.99	38.24	42.42
4	30.08	30.27	32.91	29.84	32.47	30.10	32.76	25.98	27.23	29.66	32.91
3	20.64	20.88	22.84	20.93	22.47	21.00	22.71	18.08	18.99	20.58	22.84
2	11.60	11.89	13.06	12.12	12.78	12.10	12.96	10.36	10.92	11.78	13.06
1	4.16	4.32	4.79	4.52	4.63	4.49	4.73	3.80	4.03	4.35	4.79

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
5	5.83	6.12	5.56	5.51	6.36	7.35	5.03	6.95	5.73	5.48	7.35
4	4.59	4.79	4.36	4.34	5.01	5.75	3.95	5.45	4.51	4.30	5.75
3	3.24	3.36	3.08	3.07	3.54	4.03	2.78	3.83	3.19	3.04	4.03
2	1.89	1.93	1.80	1.80	2.07	2.32	1.62	2.22	1.87	1.77	2.32
1	0.71	0.71	0.67	0.68	0.78	0.85	0.61	0.82	0.70	0.66	0.85

Tabla 22: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – La Punta

Derivas X													
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
5	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
4	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
3	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.009	OK
1	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.009	OK

Derivas Y													
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.009	OK
4	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.009	OK
3	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.009	OK
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	OK
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK

3.3.2 Edificio Codornices

a) Consideraciones iniciales

Figura 41 Elevación 3D, edificio Codornices

Figura 42 Planta del primer piso del edificio Codornices (Ver plano en Anexo IV.b)

Figura 43 Planta del 2do al 5to piso del edificio Codornices (Ver plano en Anexo IV.b)

b) Materiales y elementos estructurales

Concreto:

- Resistencia nominal: $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ (Vigas)
 $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ (Placas, Columnas y Losas).
- Módulo de elasticidad: $E = 217\,370 \text{ kgf/cm}^2$
- Peso específico: $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^3$
- Coeficiente de Poisson: $u = 0.2$

Acero corrugado grado 60 (ASTM A615):

- Fluencia: $f_y = 4\,200 \text{ kgf/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad: $E = 2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$

CUADRO DE COLUMNAS									
COLUMNA PISO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
1° PISO	.30x1.00 10034" 3 DE 0@.25 (I)	VER CLAVE 805/8" 2 DE 0@.25 (III)	.30x1.00 10034" 3 DE 0@.25 (I)	.30x.80 401"+8034" 3 DE 0@.25 (V)	.30x.75 8034" 2 DE 0@.25 (VIII)	.30x.25 4034" 1 3/8" 0@.25 (X)	.20x.40 6034" 2 DE 0@.25 (IX)	.25x.55 8034" 2 DE 0@.25 (X)	.20x.35 4034" 1 3/8" 0@.25
2° PISO	.30x1.00 6034"+405/8" 3 DE 0@.25 (II)	VER CLAVE 805/8" 2 DE 0@.25 (III)	.30x1.00 10034" 3 DE 0@.25 (I)	.30x.50 401"+4034" 3 DE 0@.25 (VI)	.30x.75 8034" 2 DE 0@.25 (VIII)	.30x.25 4034" 1 3/8" 0@.25 (X)	.20x.40 6034" 2 DE 0@.25 (IX)	.25x.55 8034" 2 DE 0@.25 (X)	.20x.35 4034" 1 3/8" 0@.25
3° PISO	.30x1.00 6034"+405/8" 3 DE 0@.25 (II)	VER CLAVE 805/8" 2 DE 0@.25 (III)	.30x1.00 6034"+405/8" 3 DE 0@.25 (II)	.30x.50 8034" 2 DE 0@.25 (VII)	.30x.75 8034" 2 DE 0@.25 (VIII)	.30x.25 4034" 1 3/8" 0@.25 (X)	.20x.40 605/8" 2 DE 0@.25 (IX)	.25x.55 8034" 2 DE 0@.25 (X)	.20x.35 4034" 1 3/8" 0@.25
4° PISO	.30x1.00 1005/8" 3 DE 0@.25 (I)	VER CLAVE 405/8"+401/2" 2 DE 0@.25 (IV)	.30x1.00 6034"+405/8" 3 DE 0@.25 (II)	.30x.50 805/8" 2 DE 0@.25 (VII)	.30x.75 805/8" 2 DE 0@.25 (VIII)	.30x.25 4034" 1 3/8" 0@.25 (X)	.20x.40 605/8" 2 DE 0@.25 (IX)	.25x.55 805/8" 2 DE 0@.25 (X)	.20x.35 405/8" 1 3/8" 0@.25
AZOTEA	.30x1.00 1005/8" 3 DE 0@.25 (I)	VER CLAVE 405/8"+401/2" 2 DE 0@.25 (IV)	.30x1.00 1005/8" 3 DE 0@.25 (I)	.30x.50 805/8" 2 DE 0@.25 (VII)	.30x.75 805/8" 2 DE 0@.25 (VIII)	.30x.25 4034" 1 3/8" 0@.25 (X)	.20x.40 605/8" 2 DE 0@.25 (IX)	.25x.55 805/8" 2 DE 0@.25 (X)	.20x.35 405/8" 1 3/8" 0@.25

Figura 44 Cuadro de columnas del edificio Codornices. (Ver plano en Anexo IV.b)

Figura 45 Cuadro de vigas del edificio Codornices. (Ver plano en Anexo IV.b)

c) Determinación del Sistema Estructural e Irregularidades

Para la determinación del sistema estructural y las irregularidades del edificio Codornices, se realizó en base a la Norma E.030 – 2018. El procedimiento se puede visualizar en el Anexo V.b, de donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 23: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Codornices

Sistema estructural	
Rox=6	Roy=6
Irregularidad	
Por altura	1
• Rigidez por piso blando	1
• Resistencia por piso débil	1
• Masa o Peso	1
• Geometría vertical	1
• Discontinuidad de sistema resistentes	1
Por planta	1
• Torsional	1
• Esquinas entrantes	1
• Discontinuidad de diafragma	1
• Sistemas no paralelos	1

3.3.2.1 Análisis Modal Espectral

3.3.2.1.1 Ubicación Cercado de Lima

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 24: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Codornices

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₁	1.00	Suelo – Grava arenosa muy densa
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.4 s	Para un suelo de clasificación S1
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.5 s	Para un suelo de clasificación S1
Periodo fundamental	T _X	70.55 % de participación en X	0.363 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	79.22% de participación en Y	0.095 s	Periodo fundamental en Y
Coeficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	1	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	1	Es una estructura regular
Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} XI _a XI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado (regular)
	R _{oy} XI _a XI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado (regular)

b) Espectro de Diseño

Figura 46 Espectro de Diseño – Edificio Codornices – Cercado de Lima.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 25: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de Fuerza Cortante			
Regular		80%	F. E.
S_x (tonf)	229.57	183.66	No es necesario escalar
DIX Max (tonf)	194.36		
S_y (tonf)	229.57	183.66	1.07
DIY Max (tonf)	170.95		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 80% (Regular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.75R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.b).

Figura 47 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 26: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
2	0.08	0.02	0.00003	0.00001	0.00013	0.00003	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
2	0.07	0.01	0.00002	0.00000	0.00011	0.00002	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 2.

Figura 48 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección Y-Y – Cercado de Lima.

Tabla 27: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
3	0.11	2.85	0.00004	0.00100	0.00017	0.00450	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
4	0.09	2.34	0.00003	0.00082	0.00015	0.00370	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 3 con el análisis estático lineal equivalente y en el piso 4 con el análisis modal espectral.

3.3.2.1.2 Ubicación La Punta

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 28: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Codornices

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: La Punta - Callao
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₂	1.05	Suelo – Arenas arcillo limosas
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.6 s	Para un suelo de clasificación S3
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.0 s	Para un suelo de clasificación S3
Periodo fundamental	T _X	70.55 % de participación en X	0.363 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	79.22% de participación en Y	0.095 s	Periodo fundamental en Y
Coefficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	1	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	1	Es una estructura regular
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} XI _a XI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado (regular)
	R _{oy} XI _a XI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado (regular)

b) Espectro de Diseño

Figura 49 Espectro de Diseño – Edificio Codornices – La Punta.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 29: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Regular		80%	F.E
S_x (tonf)	258.94	207.16	No es necesario escalar
D_{IX} Max (tonf)	213.79		
S_y (tonf)	258.94	207.16	1.10
D_{IY} Max (tonf)	188.05		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 80% (Regular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.75R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.b).

Figura 50 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección X-X – La Punta.

Tabla 30: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Der-X	Der-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
2	0.09	0.02	0.00003	0.00001	0.00014	0.00003	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Der-X	Der-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
2	0.07	0.02	0.00003	0.00001	0.00012	0.00002	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 2.

Figura 51 Desplazamiento del Edificio Codornices en la dirección Y-Y – La Punta.

Tabla 31: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
3	0.12	3.07	0.00004	0.00108	0.00019	0.00485	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	Der-X*0.75R	Der-Y*0.75R	Límite	Aceptación
4	0.10	2.46	0.00003	0.00086	0.00015	0.00389	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 3 con el análisis estático lineal equivalente y en el piso 4 con el análisis modal espectral.

3.3.2.2 Análisis Dinámico Tiempo Historia

3.3.2.2.1 Ubicación Cercado de Lima

Tabla 32: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
5	0.54	1.08	0.86	0.83	0.91	0.80	0.76	0.54	0.74	0.78	1.08
4	0.48	0.96	0.76	0.74	0.81	0.71	0.68	0.48	0.66	0.69	0.96
3	0.38	0.77	0.61	0.59	0.65	0.57	0.54	0.39	0.53	0.55	0.77
2	0.26	0.53	0.42	0.40	0.44	0.39	0.37	0.26	0.36	0.38	0.53
1	0.13	0.26	0.20	0.20	0.21	0.19	0.18	0.13	0.18	0.18	0.26

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
5	34.41	43.49	41.75	43.70	37.73	36.55	43.88	37.22	47.81	42.77	47.81
4	26.86	34.35	32.67	34.70	29.17	28.73	34.51	28.94	37.35	33.62	37.35
3	18.51	24.08	22.58	24.56	19.79	20.02	24.04	19.81	25.76	23.43	25.76
2	10.32	13.71	12.64	14.17	11.16	11.31	13.59	10.95	14.35	13.22	14.35
1	3.61	4.78	4.34	5.01	3.99	4.04	4.70	3.68	4.87	4.54	5.01

Tabla 33: Derivas del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima

Derivas X													
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo			
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001			
5	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK
	2	4	03	03	04	03	03	02	03	03	04		
4	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK
	3	7	05	05	06	05	05	03	05	05	07		
3	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK
	4	9	07	07	07	06	06	04	06	06	09		
2	0.0000	0.0001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK
	5	0	08	07	08	07	07	05	07	07	10		
1	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	OK
	4	9	07	07	08	07	06	05	06	06	09		

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
5	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.009	OK
4	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
3	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
2	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
1	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.009	OK

3.3.2.2.2 Ubicación La Punta

Tabla 34: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – La Punta

Desplazamientos X (mm)

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
5	0.67	0.66	0.61	0.54	0.55	0.66	0.56	0.65	0.49	0.44	0.67
4	0.60	0.59	0.54	0.48	0.49	0.58	0.49	0.58	0.44	0.39	0.60
3	0.48	0.47	0.43	0.38	0.39	0.47	0.40	0.46	0.35	0.31	0.48
2	0.33	0.32	0.30	0.26	0.27	0.32	0.27	0.32	0.24	0.21	0.33
1	0.16	0.16	0.14	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.12	0.10	0.16

Desplazamientos Y (mm)

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
5	45.40	49.08	44.71	55.74	47.50	42.67	42.99	41.43	49.99	52.49	55.74
4	35.89	38.62	35.18	43.73	37.37	33.70	33.87	32.72	39.49	41.20	43.73
3	25.22	26.96	24.55	30.39	26.09	23.64	23.70	22.98	27.72	28.63	30.39
2	14.42	15.26	13.93	17.14	14.82	13.50	13.50	13.17	15.85	16.14	17.14
1	5.05	5.26	4.83	5.90	5.15	4.71	4.71	4.63	5.55	5.56	5.90

Tabla 35: Derivas del Análisis Tiempo Historia – La Punta

Derivas X

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
5	0.0000 3	0.0000 3	0.000 02	0.000 02	0.000 02	0.000 03	0.000 02	0.000 03	0.000 02	0.000 02	0.000 03	0.009	OK
4	0.0000 4	0.0000 4	0.000 04	0.000 03	0.000 03	0.000 04	0.000 03	0.000 04	0.000 03	0.000 03	0.000 04	0.009	OK
3	0.0000 5	0.0000 5	0.000 05	0.000 04	0.000 04	0.000 05	0.000 04	0.000 05	0.000 04	0.000 04	0.000 05	0.009	OK
2	0.0000 6	0.0000 6	0.000 05	0.000 05	0.000 05	0.000 06	0.000 05	0.000 06	0.000 04	0.000 04	0.000 06	0.009	OK
1	0.0000 6	0.0000 6	0.000 05	0.000 04	0.000 05	0.000 05	0.000 05	0.000 05	0.000 04	0.000 04	0.000 06	0.009	OK

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
5	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
4	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005	0.009	OK
3	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005	0.009	OK
2	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK

3.4 Edificios de 12 pisos

3.4.1 Edificio Pardo

a) Consideraciones iniciales

Figura 52 Elevación 3D, edificio Pardo

Figura 53 Planta del primer piso edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)

Figura 54 Planta del 2do al 12do piso edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)

b) Materiales y elementos estructurales

Concreto:

- Resistencia nominal: $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Vigas)
 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Placas, Columnas y Losas).
- Módulo de elasticidad: $E = 250\,998.01 \text{ kgf/cm}^2$
- Peso específico: $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^3$
- Coeficiente de Poisson: $u = 0.2$

Acero corrugado grado 60 (ASTM A615):

- Fluencia: $f_y = 4\,200 \text{ kgf/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad: $E = 2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$

Figura 55 Cuadro de placas del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)

CUADRO DE COLUMNAS Y PLASAS									
#Pila	Alig. y Pila	#Pila	Alig. y Pila	#Pila	Alig. y Pila	#Pila	Alig. y Pila	#Pila	Alig. y Pila
01		02		03		04		05	
06		07		08		09		10	
11		12		13		14		15	
16		17		18		19		20	
21		22		23		24		25	
26		27		28		29		30	
31		32		33		34		35	
36		37		38		39		40	
41		42		43		44		45	
46		47		48		49		50	
51		52		53		54		55	
56		57		58		59		60	
61		62		63		64		65	
66		67		68		69		70	
71		72		73		74		75	
76		77		78		79		80	
81		82		83		84		85	
86		87		88		89		90	
91		92		93		94		95	
96		97		98		99		100	

Figura 56 Cuadro de columnas del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.c)

c) Determinación del Sistema Estructural e Irregularidades

Para la determinación del sistema estructural y las irregularidades del edificio Pardo, se realizó en base a la Norma E.030 – 2018. El procedimiento se puede visualizar en el Anexo V.c, de donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 36: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Pardo

Sistema estructural	
Rox=6	Roy=6
Irregularidad	
Por altura	1
• Rigidez por piso blando	1
• Resistencia por piso débil	1
• Masa o Peso	1
• Geometría vertical	1
• Discontinuidad de sistema resistentes	1
Por planta	0.9
• Torsional	1
• Esquinas entrantes	0.9
• Discontinuidad de diafragma	1
• Sistemas no paralelos	1

3.4.1.1 Análisis Modal Espectral

3.4.1.1.1 Ubicación Cercado de Lima

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 37: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Pardo

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₁	1.00	Suelo GP – Grava arenosa muy densa
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.4 s	Para un suelo de clasificación S ₁
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.5 s	Para un suelo de clasificación S ₁
Periodo fundamental	T _X	66.41 % de participación en X	0.584 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	65.14% de participación en Y	0.479 s	Periodo fundamental en Y
Coefficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	1	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} × I _a × I _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	5.4	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} × I _a × I _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	5.4	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 57 Espectro de Diseño – Edificio Pardo – Cercado de Lima.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 38: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E
S_x (tonf)	2 819.02	2 537.12	1.36
DIX Max (tonf)	1 862.05		
S_y (tonf)	2 819.02	2 537.12	1.35
DIY Max (tonf)	1 879.97		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.c).

Figura 58 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 39: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
7	18.84	1.61	0.00124	0.00005	0.00569	0.00023	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
7	17.26	4.17	0.00116	0.00028	0.00532	0.00128	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 7.

Figura 59 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 40: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
8	2.79	16.65	0.00016	0.00097	0.00073	0.00445	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
8	4.91	15.24	0.00031	0.00091	0.00014	0.00418	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 8.

3.4.1.1.2 Ubicación La Punta

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 41: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Pardo

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₂	1.05	Suelo GP – Arenas arcillo limosas
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.6 s	Para un suelo de clasificación S ₂
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.0 s	Para un suelo de clasificación S ₂
Periodo fundamental	T _X	66.41 % de participación en X	0.584 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	65.14% de participación en Y	0.479 s	Periodo fundamental en Y
Coeficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	1	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	5.4	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	5.4	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 60 Espectro de Diseño – Edificio Pardo – La Punta.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 42: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E
S_x (tonf)	2 562.75	2 306.47	1.21
D_{IX} Max (tonf)	1 899.31		
S_y (tonf)	2 562.75	2 306.47	1.00
D_{IY} Max (tonf)	2 305.14		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.c).

Figura 61 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección X-X – La Punta.

Tabla 43: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
7	19.78	1.69	0.00130	0.00005	0.00596	0.00022	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
7	17.54	4.03	0.00118	0.00001	0.00541	0.00006	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 7.

Figura 62 Desplazamiento del Edificio Pardo en la dirección Y-Y – La Punta.

Tabla 44: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
8	2.93	17.49	0.00000	0.00017	0.00087	0.00078	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (m)	Desp-Y(m)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
8	3.92	12.74	0.00000	0.00025	0.00065	0.00112	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 8

3.4.1.2 Análisis Dinámico Tiempo Historia

3.4.1.2.1 Ubicación Cercado de Lima

Tabla 45: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	99.40	88.90	109.63	106.90	91.28	98.82	103.65	95.44	100.46	104.27	109.63
11	90.89	80.84	100.04	97.80	83.27	90.74	94.58	87.34	91.62	94.85	100.04
10	81.86	72.29	89.90	88.16	74.77	82.19	84.99	78.78	82.26	84.88	89.90
9	72.35	63.32	79.21	77.98	65.79	73.14	74.89	69.78	72.42	74.43	79.21
8	62.44	54.06	68.11	67.36	56.44	63.63	64.39	60.42	62.64	63.64	68.11
7	52.31	44.74	56.79	56.47	46.89	53.78	53.69	50.86	53.39	53.39	56.79
6	42.19	36.27	45.54	45.55	37.40	43.80	43.07	41.28	43.91	44.26	45.55
5	32.33	28.04	34.66	34.90	28.53	33.93	32.81	31.91	34.41	34.91	34.91
4	23.06	20.17	24.53	24.88	20.77	24.49	23.26	23.01	25.15	25.63	25.63
3	14.72	12.99	15.72	15.86	13.55	15.86	14.76	14.90	16.52	16.85	16.85
2	7.71	6.87	8.48	8.30	7.28	8.46	7.70	7.96	8.96	9.12	9.12
1	2.54	2.29	2.91	2.74	2.48	2.86	2.53	2.70	3.09	3.13	3.13

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	55.74	67.79	82.63	80.82	71.91	63.88	70.48	64.65	68.45	69.69	82.63
11	50.68	61.35	74.79	73.27	65.51	58.21	63.67	58.96	62.31	63.41	74.79
10	45.42	54.64	66.65	65.43	58.87	52.34	56.59	53.05	55.93	56.88	66.65
9	39.98	47.74	58.25	57.33	51.99	46.25	49.28	46.93	49.33	50.13	58.25
8	34.42	40.71	49.71	49.07	44.90	39.98	41.86	40.63	42.56	43.21	49.71
7	28.80	33.70	41.16	40.79	37.69	33.63	34.46	34.21	35.70	36.22	41.16
6	23.22	26.85	32.81	32.65	30.48	27.27	27.27	27.78	28.88	29.27	32.81
5	17.83	20.34	24.86	24.86	23.45	21.07	20.49	21.48	22.25	22.52	24.86
4	12.77	14.35	17.81	17.63	16.80	15.18	14.31	15.49	15.99	16.17	17.81
3	8.22	9.08	11.48	11.22	10.79	9.83	8.98	10.04	10.33	10.44	11.48
2	4.38	4.74	6.13	5.90	5.72	5.27	4.70	5.39	5.53	5.59	6.13
1	1.51	1.80	2.11	2.00	1.96	1.85	1.63	1.89	1.92	1.96	2.11

Tabla 46: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – Cercado de Lima

Derivas X

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
11	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.009	OK
10	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
9	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
8	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
7	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
6	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
5	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.009	OK
4	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
3	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
2	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
11	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
10	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
9	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
8	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.009	OK
7	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
6	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
5	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.009	OK
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
3	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK

3.4.1.2.2 Ubicación La Punta

Tabla 47: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo-Historia – La Punta

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	154.56	161.10	177.70	171.25	151.73	164.40	177.14	180.34	175.45	177.83	180.34
11	141.53	147.79	162.55	156.84	139.13	150.90	162.22	165.15	161.06	162.78	165.15
10	127.72	133.71	146.52	141.58	125.81	136.62	146.43	149.09	145.85	146.84	149.09
9	113.13	118.82	129.63	125.45	111.73	121.51	129.78	132.15	129.78	130.03	132.15
8	97.88	103.21	112.02	108.58	96.98	105.65	112.39	114.44	112.98	112.46	114.44
7	82.21	87.10	93.98	91.23	81.74	89.24	94.51	96.24	95.73	94.41	96.24
6	66.45	70.79	75.89	73.78	66.34	72.62	76.54	77.92	78.18	76.27	78.18
5	51.08	54.72	58.24	56.69	51.18	56.19	58.93	59.98	60.75	59.23	60.75
4	36.65	39.38	41.59	40.60	36.74	40.49	42.23	42.99	43.99	42.87	43.99
3	23.54	25.39	26.58	26.21	23.62	26.13	27.11	27.68	28.57	27.81	28.57
2	12.42	13.48	13.95	13.93	12.48	13.88	14.31	14.67	15.29	14.86	15.29
1	4.13	4.52	4.62	4.72	4.18	4.66	4.77	4.91	5.19	5.03	5.19

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	106.91	105.87	122.03	123.15	101.21	99.48	105.46	108.81	105.76	108.99	123.15
11	97.04	96.17	110.87	111.78	91.90	90.28	95.67	98.93	96.03	99.13	111.78
10	86.78	86.09	99.27	99.96	82.21	80.72	85.49	88.67	85.92	88.89	99.96
9	76.19	75.67	87.30	87.75	72.20	70.83	74.96	78.06	75.47	78.30	87.75
8	65.37	65.02	75.04	75.27	62.06	60.72	64.21	67.19	64.77	67.46	75.27
7	54.48	54.28	62.68	62.70	51.84	50.56	53.40	56.22	54.01	56.50	62.70
6	43.74	43.67	50.45	50.31	41.74	40.54	42.76	45.34	43.37	45.62	50.45
5	33.41	33.42	38.64	38.39	31.98	30.92	32.55	34.82	33.13	35.08	38.64
4	23.78	23.84	27.59	27.29	22.86	21.97	23.08	24.94	23.58	25.17	27.59
3	15.19	15.27	17.69	17.40	14.68	14.13	14.67	16.05	15.06	16.24	17.69
2	8.03	8.09	9.39	9.17	7.80	7.58	7.70	8.56	7.98	8.68	9.39
1	2.74	2.77	3.23	3.12	2.68	2.63	2.63	2.95	2.74	3.01	3.23

Tabla 48: Derivas del Análisis Tiempo-Historia – La Punta

Derivas X

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.005	0.005	0.000	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.009	OK
11	0.005	0.005	0.000	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.009	OK
10	0.005	0.005	0.000	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	OK
9	0.005	0.006	0.000	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	OK
8	0.006	0.006	0.000	0.006	0.005	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.007	0.009	OK
7	0.006	0.006	0.000	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.007	0.009	OK
6	0.006	0.006	0.000	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	OK
5	0.005	0.005	0.000	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	OK
4	0.005	0.005	0.000	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.009	OK
3	0.004	0.004	0.000	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.009	OK
2	0.003	0.003	0.000	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
1	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Limite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.009	OK
11	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
10	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
9	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
8	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
7	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
6	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
5	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.009	OK
4	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.009	OK
3	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
2	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK

3.4.2 Edificio Parque Alameda

a) Consideraciones iniciales

Figura 63 Elevación 3D, edificio Parque Alameda

Figura 64 Planta del piso típico del edificio Pardo. (Ver plano en Anexo IV.d)

b) Materiales y elementos estructurales

Concreto:

- Resistencia nominal: $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Vigas)
 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (Placas, Columnas y Losas).
- Módulo de elasticidad: $E = 250\,998.01 \text{ kgf/cm}^2$
- Peso específico: $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^3$
- Coefficiente de Poisson: $u = 0.2$

Acero corrugado grado 60 (ASTM A615):

- Fluencia: $f_y = 4\,200 \text{ kgf/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad: $E = 2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$

Figura 65 Cuadro de vigas del edificio Parque Alameda. (Ver plano en Anexo IV.d)

	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6	C - 7	C - 8	C - 9
b x t	0.35 x 0.80	Ver tipo 4	0.30 x 0.80	0.35 x 1.20	0.30 x 1.00	0.35 x 1.00	0.40 x 1.00	0.30 x 0.80	0.35 x 0.80
As	8 Ø 3/4"	16 Ø 1" + 4 Ø 3/4"	10 Ø 1"	28 Ø 1"	16 Ø 1"	16 Ø 1"	22 Ø 1"	12 Ø 1"	12 Ø 1"
s (estrib)	2Ø 3/8" @ . 30	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	3Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25
tipo	3	4	5	6	12	7	8	9	9

	C - 10	C - 11	C - 12	C - 13	C - 14	C - 15	C - 16	C - 17	C - 18
b x t	0.30 x 1.20	0.30 x 0.80	0.35 x 0.80	0.35 x 0.80	0.40 x 1.00	0.14 x 0.24	0.14 x 0.24	0.20 x ~ 0.80	0.15 x 0.80
As	12 Ø 1" + 4 Ø 3/4"	16 Ø 1"	16 Ø 1"	14 Ø 1"	34 Ø 1"	4 Ø 8	4 Ø 12	4 Ø 1" + 4 Ø 3/4"	8 Ø 12
s (estrib)	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 3/8" @ . 25	3Ø 3/8" @ . 25	Ø 6 @ . 30	Ø 6 @ . 30	2Ø 3/8" @ . 25	2Ø 6 @ . 30
tipo	10	11	7	13	14	1	1	3	3

Figura 66 Cuadro de columnas del edificio Parque Alameda. (Ver plano en Anexo IV.d)

c) Determinación del Sistema Estructural e Irregularidades

Para la determinación del sistema estructural y las irregularidades del edificio Parque Alameda, se realizó en base a la Norma E.030 – 2018. El procedimiento se puede visualizar en el Anexo V.d, de donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 49: Resumen de Sistema Estructural e Irregularidades del Edificio Parque Alameda

Sistema estructural	
Rox=6	Roy=6
Irregularidad	
Por altura	0.8
• Rigidez por piso blando	1
• Resistencia por piso débil	1
• Masa o Peso	1
• Geometría vertical	1
• Discontinuidad de sistema resistentes	0.8
Por planta	0.9
• Torsional	1
• Esquinas entrantes	0.9
• Discontinuidad de diafragma	1
• Sistemas no paralelos	0.9

3.4.2.1 Análisis Modal Espectral

3.4.2.1.1 Ubicación Cercado de Lima

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 50: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en Cercado de Lima para el Edificio Parque Alameda

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₁	1.00	Suelo GP – Grava arenosa muy densa
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.4 s	Para un suelo de clasificación S1
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.5 s	Para un suelo de clasificación S1
Periodo fundamental	T _X	48.72 % de participación en X	0.672 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	55.74 % de participación en Y	0.211 s	Periodo fundamental en Y
Coefficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	0.8	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.32	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.32	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 67 Espectro de Diseño – Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 51: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E.
S_x (tonf)	2 321.23	2 089.11	No es necesario escalar
D_{IX} Max (tonf)	2 106.75		
S_y (tonf)	2 321.23	2 089.11	1.50
D_{IY} Max (tonf)	1 397.05		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.d).

Figura 68 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 52: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
6	0.96	1.42	0.00035	0.00053	0.00130	0.00194	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
9	0.05	0.07	0.00017	0.00024	0.00062	0.00089	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 6 con el análisis estático lineal equivalente y en el piso 9 con el análisis modal espectral.

Figura 69 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – Cercado de Lima.

Tabla 53: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – Cercado de Lima

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
7	1.67	4.09	0.00062	0.00151	0.00227	0.00556	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
6	1.09	2.42	0.00040	0.00090	0.00148	0.00329	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 7 con el análisis estático lineal equivalente y en el piso 6 con el análisis modal espectral.

3.4.2.1.2 Ubicación La Punta

a) Análisis sísmico según la norma E.030

Tabla 54: Resumen de Factores de Análisis Sísmico en La Punta para el Edificio Parque Alameda

Factor	Nomenclatura	Clasificación Categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Cercado de Lima - Lima
Uso	U	C	1	Edificaciones Comunes: Vivienda multifamiliar
Suelo	S	S ₂	1.05	Suelo GP – Arenas arcillo limosas
Período que define la plataforma del factor C.	T _P	-	0.6 s	Para un suelo de clasificación S2
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	T _L	-	2.0 s	Para un suelo de clasificación S2
Periodo fundamental	T _X	48.72 % de participación en X	0.672 s	Periodo fundamental en X
	T _Y	55.74 % de participación en Y	0.211 s	Periodo fundamental en Y
Coeficiente básico de reducción	R _{ox}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
	R _{oy}	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	6	Pórticos y Placas de Concreto armado
Irregularidad de altura	I _a	Regular en Altura	0.8	Es una estructura regular
Irregularidad de planta	I _p	Regular en Planta	0.9	Es una estructura irregular
Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas	R _{ox} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.32	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)
	R _{oy} xI _a xI _p	Concreto Armado Sistema de muros estructurales	4.32	Pórticos y Placas de Concreto armado (irregular)

b) Espectro de Diseño

Figura 70 Espectro de Diseño – Edificio Parque Alameda – La Punta.

c) Cálculo del cortante estático y modal espectral

El cortante Modal Espectral y estático los sacaremos del software Etabs 2016 v2.1, donde:

- S_x = Sismo estático en dirección X-X
- S_y = Sismo estático en dirección Y-Y
- D_{ix} = Sismo modal espectral en dirección X-X
- D_{iy} = Sismo modal espectral en dirección Y-Y

El siguiente cuadro muestra las fuerzas cortantes calculadas con el software:

Tabla 55: Escalamiento de la Fuerza Cortante

Escalamiento de cortante			
Irregular		90%	F.E.
S_x (tonf)	3 181.85	2 863.67	1.23
D_{IX} Max (tonf)	2 319.75		
S_y (tonf)	3 181.85	2 863.67	1.34
D_{IY} Max (tonf)	2 142.91		

Finalmente, verificamos que se cumpla la condición de fuerza cortante mínima, según la norma E-030 que dice que el cortante calculado por el método modal espectral no puede ser menor al 90% (Irregular) del calculado por el método estático. Este escalamiento de cortante no es necesario para esta investigación, ya que no se realizará el diseño de la edificación solo se realizará el análisis sísmico, por lo cual no es necesario escalar la fuerza cortante.

d) Cálculo del cortante estático y modal espectral

De acuerdo con la Norma NTE. E030 capítulo 5.1, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de $0.85R$ para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura.

Además, como se indica en el acápite 5.2 de la norma E.030 restringe los desplazamientos relativos de entrepiso para evitar un daño excesivo. En edificaciones de concreto armado el límite máximo permitido es de 0.007. A continuación, mostramos los resultados más significativos obtenidos en el análisis sísmico estático y modal espectral. (Tabla completa en el Anexo VI.d).

Figura 71 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección X-X – La Punta.

Tabla 56: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección X – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
6	1.44	2.14	0.00053	0.00079	0.00196	0.00290	0.007	OK
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
8	0.66	1.21	0.00025	0.00045	0.00090	0.00164	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección X-X presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 6 con el análisis estático lineal equivalente y en el piso 8 con el análisis modal espectral.

Figura 72 Desplazamiento del Edificio Parque Alameda en la dirección Y-Y – La Punta.

Tabla 57: Desplazamientos Relativos con el sismo en la dirección Y – La Punta

Estático								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
6	2.50	6.19	0.00093	0.00229	0.00340	0.00842	0.007	No Cumple
Modal Espectral								
Piso	Desp-X (mm)	Desp-Y (mm)	Deriva-X	Deriva-Y	DerX(R)(0.85)	DerX(R)(0.85)	Límite	Aceptación
6	1.98	4.40	0.00073	0.00165	0.00269	0.00604	0.007	OK

- Desp = Desplazamiento
- Der = Deriva

En la dirección Y-Y presenta mayor desplazamiento relativo en el piso 6 con el análisis estático lineal equivalente y el análisis modal espectral.

3.4.2.2 Análisis Dinámico Tiempo Historia

3.4.2.2.1 Ubicación Cercado de Lima

Tabla 58: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	29.40	36.84	36.86	31.54	32.34	32.02	34.67	29.14	30.51	35.68	36.86
11	26.68	33.87	34.03	29.21	29.51	29.11	31.82	26.82	27.80	32.88	34.03
10	23.77	30.71	31.02	26.72	26.51	25.99	28.77	24.32	24.88	29.87	31.02
9	20.74	27.37	27.82	24.06	23.38	22.73	25.53	21.67	22.01	26.66	27.82
8	17.64	23.87	24.43	21.22	20.16	19.37	22.14	18.91	19.83	23.27	24.43
7	14.56	20.27	20.88	18.24	17.07	16.00	18.66	16.14	17.45	19.74	20.88
6	11.58	16.63	17.24	15.14	14.00	12.71	15.16	13.31	14.86	16.15	17.24
5	8.83	13.02	13.58	12.00	10.93	9.59	11.74	10.48	12.10	12.59	13.58
4	6.59	9.57	10.01	8.91	7.97	6.75	8.50	7.74	9.24	9.18	10.01
3	4.47	6.38	6.67	5.98	5.24	4.88	5.56	5.17	6.39	6.04	6.67
2	2.55	3.58	3.74	3.37	2.99	3.09	3.05	2.91	3.72	3.32	3.74
1	1.05	1.35	1.40	1.29	1.38	1.40	1.21	1.09	1.46	1.21	1.46

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001	
12	67.16	71.61	75.14	72.80	59.10	63.04	71.92	59.05	56.36	73.08	75.14
11	61.40	65.68	69.15	67.51	54.23	57.99	66.08	54.46	51.97	67.35	69.15
10	55.20	59.29	62.72	61.87	48.98	52.57	59.80	49.55	47.26	61.21	62.72
9	48.63	52.53	55.87	55.86	43.40	46.83	53.14	44.33	42.25	54.67	55.87
8	41.79	45.52	48.67	49.46	37.54	40.82	46.20	38.83	36.96	47.76	49.46
7	34.84	38.38	41.22	42.69	31.49	34.66	39.09	33.11	31.46	40.59	42.69
6	27.96	31.26	33.68	35.65	25.41	28.44	31.95	27.26	25.86	33.28	35.65
5	21.35	24.29	26.23	28.45	19.50	22.30	24.94	21.43	20.30	26.03	28.45
4	15.22	17.68	19.13	21.30	14.27	16.39	18.24	15.78	14.92	19.06	21.30
3	9.78	11.63	12.61	14.46	9.71	10.91	12.08	10.52	9.93	12.63	14.46
2	5.26	6.41	6.99	8.27	5.55	6.14	6.72	5.89	5.55	7.03	8.27
1	1.96	2.35	2.58	3.17	2.11	2.36	2.49	2.20	2.07	2.61	3.17

Tabla 59: Derivas del Análisis Tiempo Historia – Cercado de Lima

Derivas X

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Límite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
11	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
10	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
9	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
8	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
4	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
1	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.009	OK

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Límite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.009	OK
11	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009	OK
10	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.009	OK
9	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
8	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
7	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
6	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
5	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
4	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.009	OK
3	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.009	OK
2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK
1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK

3.4.2.2.2 Ubicación La Punta

Tabla 60: Desplazamientos Relativos del Análisis Tiempo Historia – La Punta

Desplazamientos X (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
12	51.18	57.66	54.99	44.84	44.04	41.54	56.88	46.97	47.08	44.79	57.66
11	46.69	53.04	50.55	41.44	40.33	38.11	52.29	43.45	43.30	41.45	53.04
10	41.91	48.10	45.80	37.86	36.35	34.42	47.38	39.68	39.25	37.88	48.10
9	36.90	42.88	40.76	34.06	32.14	30.52	42.17	35.64	34.96	34.08	42.88
8	31.75	37.41	35.49	30.05	27.76	26.44	36.71	31.34	30.46	30.03	37.41
7	26.55	31.77	30.08	25.84	23.30	22.27	31.10	26.83	25.83	25.79	31.77
6	21.43	26.07	24.62	21.49	19.01	18.09	25.43	22.18	21.15	21.40	26.07
5	16.51	20.44	19.26	17.09	14.90	14.01	19.85	17.51	16.54	16.96	20.44
4	11.94	15.03	14.13	12.74	10.92	10.16	14.52	12.94	12.11	12.61	15.03
3	7.84	10.02	9.40	8.62	7.22	6.66	9.62	8.65	8.03	8.49	10.02
2	4.35	5.63	5.27	4.92	4.20	3.92	5.36	4.85	4.48	4.81	5.63
1	1.96	2.12	1.98	2.18	1.94	1.76	1.99	1.80	1.88	1.82	2.18

Desplazamientos Y (mm)											
Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX
	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	P-R	Ma	Ma	Mo	Mo	
	1966	1966	1970	1970	1974	1974	2010	2010	2001	2001	
12	99.37	117.26	128.32	110.97	89.73	119.77	111.49	98.63	88.28	130.73	130.73
11	91.35	107.84	118.04	101.79	82.66	110.24	102.62	90.50	81.09	120.41	120.41
10	82.72	97.70	106.98	91.90	75.07	100.00	93.09	81.74	73.34	109.31	109.31
9	73.54	86.92	95.23	81.40	66.99	89.09	82.95	72.45	65.12	97.52	97.52
8	63.93	75.61	82.89	70.43	58.49	77.61	72.30	62.73	56.53	85.12	85.12
7	54.03	63.96	70.15	59.21	49.66	65.72	61.28	52.78	47.86	72.30	72.30
6	44.08	52.20	57.29	48.00	40.69	53.69	50.13	42.84	39.51	59.30	59.30
5	34.32	40.64	44.64	37.88	31.80	41.82	39.12	33.16	31.15	46.42	46.42
4	25.03	29.62	32.55	28.04	23.26	30.48	28.58	24.07	23.02	34.05	34.05
3	16.52	19.53	21.48	18.79	15.38	20.09	18.88	15.90	15.40	22.61	22.61
2	9.16	10.81	11.90	10.59	8.53	11.11	10.48	8.92	8.66	12.62	12.62
1	3.38	3.98	4.38	3.99	3.15	4.08	3.87	3.36	3.25	4.70	4.70

Tabla 61: Derivas del Análisis Tiempo Historia – La Punta

Derivas X

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Límite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.009	OK
11	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.009	OK
10	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.009	OK
9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
5	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009	OK
3	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.009	OK
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	OK

Derivas Y

Piso	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	MAX	Límite	Aceptación
	P-R 1966	P-R 1966	P-R 1970	P-R 1970	P-R 1974	P-R 1974	Ma 2010	Ma 2010	Mo 2001	Mo 2001			
12	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.009	OK
11	0.006	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.009	OK
10	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	0.008	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	0.009	OK
9	0.007	0.007	0.008	0.008	0.006	0.008	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.009	OK
8	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007	0.009	0.007	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	OK
7	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007	0.009	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009	OK
6	0.007	0.008	0.008	0.008	0.007	0.009	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009	OK
5	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	OK
4	0.006	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.009	OK
3	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.009	OK
2	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	0.009	OK
1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	OK

4 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez aplicados generado los acelerogramas sintéticos y con ello haber realizado los métodos Modal Espectral y Tiempo-Historia en los cuatro edificios, se obtuvieron los desplazamientos, derivas y fuerzas como resultados. Además, se aprecia un comparativo de los espectros de respuesta de los acelerogramas y el espectro de diseño con la norma E.030 2018.

4.1 Espectros de Diseño y de Respuesta

4.1.1 Cercado de Lima (Ver Anexo VII.a)

Figura 73 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del Cercado de Lima en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018

Figura 74 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del Cercado de Lima en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018

4.1.2 La Punta (Ver Anexo VII.b)

Figura 75 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del La Punta en dirección Este-Oeste y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018

Figura 76 Espectros de respuesta elásticos de los acelerogramas sintéticos del La Punta en dirección Norte-Sur y espectro de diseño de la Norma E-030 - 2018

- Generación de espectro de diseño según AASHTO 2012

Para determinar la clasificación de sitio, se utilizó el ensayo MASW realizado por el especialista Ing. Odilio Dávila Pablo en el suelo del Cercado de Lima (ver Figura 9) con la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

V_s Cercado de Lima = 671.72 m/s

V_s La Punta = 411.85 m/s

Tabla 62: Definición de clasificación de sitio (Adaptado de la Tabla 3.10.3.1.1 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012) (31)

Clasificación de sitio	Tipo de suelo y perfil
A	Roca dura con velocidad de onda de corte media, $V_s > 1525$ m/s
B	Roca con 762.5 m/s $< V_s < 1525$ m/s
C	Suelo muy denso y suelo rocoso con 365.8 m/s $< V_s < 762.5$ m/s, o con cualquiera $N > 164$ golpes/m, o $S_u > 95.7$ kPa
D	Suelo rígido con 182.9 m/s $< V_s < 365.8$ m/s, o con cualquiera $49 < N < 164$ golpes/m, o 47.9 kPa $< S_u < 95.7$ kPa
E	Perfil de suelo con $V_s < 182.9$ m/s, o con cualquiera $N < 49$ golpes/m, o $S_u < 47.9$ kPa, o cualquier perfil con más de 3 metros de arcilla blanda definida como suelo con $PI > 20$, $w > 40$ % y $S_u < 23.9$ kPa
F	Suelos que requieren evaluaciones específicas del sitio, como: - Turbas o arcillas altamente orgánicas ($H > 3$ m de turba o arcilla altamente orgánica donde H = espesor del suelo). - Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.6$ m con $PI > 75$) - Arcillas muy gruesas blandas / medias rígidas ($H > 36,6$ m)

Donde:

V_s =	Velocidad de onda de corte promedio para la parte superior 30.5 m del perfil del suelo
N =	Prueba de penetración estándar promedio (SPT) cuenta de golpes (golpes/m) (ASTM D1586) por la parte superior 30.5 m del perfil del suelo
S_u =	Resistencia a corte en condición no drenada en kPa (ASTM D2166 O ASTM D2850) por la parte superior 10.5 m del perfil del suelo
PI =	Índice de plasticidad (ASTM D4318)
w =	Contenido de humedad (ASTM D2216)

Se puede determinar que los suelos del Cercado de Lima y La Punta se encuentra en una Clasificación de Sitio Tipo “C”, debido a que la Velocidad de Onda de Corte Promedio de 671.72 m/s y 411.85 m/s se encuentran entre los valores de 365.8 m/s $< V_s < 762.5$ m/s.

Una vez determinada la clasificación de sitio, se busca el valor del factor de sitio para el periodo de aceleración espectral en 0 s, tomando como premisa los valores del PGA obtenidos en la investigación mostrados a continuación:

PGA Cercado de Lima = 0.46 g

PGA La Punta = 0.47 g

Tabla 63: Valores del factor de sitio, F_{PGA} , en período cero del espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.1 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)

Clasificación de sitio	Coeficiente PGA (Peak Ground Acceleration)				
	PGA < 0.10	PGA - 0.20	PGA - 0.30	PGA - 0.40	PGA > 0.50
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

¹ Utilice la interpolación en línea recta para valores intermedios de PGA

² La investigación geotécnica específica del sitio y el análisis dinámico de la respuesta del sitio deben realizarse para todos los sitios en la Clase de sitio F.

Se obtiene el siguiente valor de F_{PGA} Cercado de Lima = 1.0

Se obtiene el siguiente valor de F_{PGA} La Punta = 1.0

Luego se determina el factor de sitio para rangos cortos de aceleración espectral (F_a), para lo cual se requiere el valor de aceleración en el periodo 0.2 s (S_s).

S_s Cercado de Lima = 1.27

S_s La Punta = 1.21

Tabla 64: Valores del factor de sitio, F_a , para un período corto de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.2 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)

Clasificación de sitio	Coeficiente de aceleración espectral en el periodo 0.2 sec (S_s) ¹				
	$S_s < 0.25$	$S_s - 0.50$	$S_s - 0.75$	$S_s - 1.00$	$S_s > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

¹ Utilice la interpolación en línea recta para valores intermedios de S_s

² La investigación geotécnica específica del sitio y el análisis dinámico de la respuesta del sitio deben realizarse para todos los sitios en la Clase de sitio F.

Se obtiene el siguiente valor de F_a Cercado de Lima = 1.0

Se obtiene el siguiente valor de F_a La Punta = 1.0

Finalmente, se determina el factor de sitio para rangos de periodos largos de aceleración espectral (F_v), para lo cual se requiere el valor de aceleración en el periodo 1.0 s (S_1):

$$S_1 \text{ Cercado de Lima} = 0.46$$

$$S_1 \text{ La Punta} = 0.64$$

Tabla 65: Valores del factor de sitio, F_v , para un largo período de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 3.10.3.2.3 del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)

Clasificación de sitio	Coeficiente de aceleración espectral en el periodo 1.0 sec (S_1) ¹				
	$S_1 < 0.10$	$S_1 - 0.20$	$S_1 - 0.30$	$S_1 - 0.40$	$S_1 > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

¹ Utilice la interpolación en línea recta para valores intermedios de S_1

² La investigación geotécnica específica del sitio y el análisis dinámico de la respuesta del sitio deben realizarse para todos los sitios en la Clase de sitio F.

Se obtiene el siguiente valor de F_v Cercado de Lima = 1.34

Se obtiene el siguiente valor de F_v La Punta = 1.30

A continuación, se utilizará las siguientes fórmulas necesarias para el dibujo de diseño del espectro de respuesta según AASHTO LRFD 2012.

$$A_s = F_{pga} \times PGA$$

$$A_s \text{ Cercado de Lima} = 0.46$$

$$A_s \text{ La Punta} = 0.52$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

$$S_{DS} \text{ Cercado de Lima} = 1.21$$

$$S_{DS} \text{ La Punta} = 1.27$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

$$S_{D1} \text{ Cercado de Lima} = 0.61$$

$$S_{D1} \text{ La Punta} = 0.83$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s \text{ Cercado de Lima} = 0.51$$

$$T_s \text{ La Punta} = 0.65$$

$$T_o = 0.2 \times T_s$$

$$T_o \text{ Cercado de Lima} = 0.10$$

$$T_o \text{ La Punta} = 0.13$$

Coefficientes de respuesta sísmica elástica:

$$C_{sm}(T_m) \begin{cases} A_s + (S_{DS} - A_s) \times \frac{T_m}{T_o}, \text{ Si } T_m < T_o \\ S_{DS}, \text{ Si } T_o < T_m < T_s \\ \frac{S_{D1}}{T_m}, \text{ Si } T_m > T_s \end{cases}$$

Figura 77 Diseño de Espectro de Respuesta (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012)

- Generación de espectro de diseño según ASCE 7-10

Para determinar la clasificación de sitio, se utilizó el ensayo MASW realizado por el especialista Ing. Odilio Dávila Pablo en el suelo del Cercado de Lima (ver Figura 9) con la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

V_s Cercado de Lima = 671.72 m/s

V_s La Punta = 411.85 m/s

Tabla 66: Clasificación de sitio (Adaptado de la Tabla 20.3-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010) (32)

Clasificación de Sitio			
Clase de Sitio	V_s	N o N_{ch}	S_u
A. Roca Dura	> 1,524 m/s	No Aplica	No Aplica
B. Roca	762 a 1,524 m/s	No Aplica	No Aplica
C. Suelo muy Denso y Roca Blanda	365.76 a 762 m/s	> 50	> 95.76 kPa
D. Suelo Rígido	182.88 a 365.75 m/s	15 a 50	47.88 kPa a 95.76 kPa
E. Suelo Arcilloso Blando	< 182.88 m/s	< 15	< 47.88 kPa
	Cualquier perfil con más de 10 pies (3 m) de suelo que tenga las siguientes características: - Índice de Plasticidad $PI > 20$ - Contenido de Humedad $w \geq 40\%$ - Resistencia al Corte en condiciones No Drenadas $S_u < 23.94$ kPa		
F. Suelos que requieren Análisis de Respuesta del sitio	1) Suelos vulnerables a posibles fallas o colapso bajo carga sísmica, como suelos licuables, arcillas rápidas y altamente sensibles, y plegables suelos débilmente cementados. 2) Turbas y / o arcillas altamente orgánicas $H > 10$ pies (3 m) de turba y / o arcilla altamente orgánica donde H = espesor del suelo. 3) Arcillas de muy alta plasticidad $H > 25$ pies (7,6 m) con $PI > 75$. 4) Arcillas muy gruesas blandas / medias rígidas $H > 120$ pies (37 m) con $su < 1,000$ psf (50 kPa)		

Donde:

- V_s = Velocidad de onda de corte promedio para la parte superior 30.5 m del perfil del suelo
- N = Prueba de penetración estándar promedio (SPT) cuenta de golpes (golpes/m) (ASTM D 1586) por la parte superior 30.5 m del perfil del suelo
- S_u = Resistencia a corte en condición no drenada en kPa (ASTM D 2166 O ASTM D 2850) por la parte superior 10.5 m del perfil del suelo
- PI = Índice de plasticidad (ASTM D 4318)
- w = Contenido de humedad (ASTM D2216)

Se puede determinar que los suelos del Cercado de Lima y La Punta se encuentran en una Clasificación de Sitio Tipo “C”, debido a que la Velocidad de Onda de Corte Promedio de 671.72 m/s y 411.85 m/s se encuentran entre los valores de $365.76 \text{ m/s} < V_s < 762 \text{ m/s}$.

Luego se determina el factor de sitio para rangos cortos de aceleración espectral (F_a), para lo cual se requiere el valor de aceleración en el periodo 0.2 s (S_s).

$$S_s \text{ Cercado de Lima} = 1.27$$

$$S_s \text{ La Punta} = 1.21$$

Tabla 67: Valores del factor de sitio, F_a , para un período corto de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 11.4-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010)

Coeficiente de Sitio, F_a					
Mapeo de la aceleración espectral esperada de la respuesta espectral del terremoto máximo considerado (MCER) - Parámetro en período corto					
Clase de Sitio	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Ver sección 11.4.7 de ASCE 7-10				

Nota: Se usa interpolación lineal para valores intermedios de S_s .

Se obtiene el siguiente valor de F_a Cercado de Lima = 1.0

Se obtiene el siguiente valor de F_a La Punta = 1.0

Finalmente, se determina el factor de sitio para rangos de periodos largos de aceleración espectral (F_v), para lo cual se requiere el valor de aceleración en el periodo 1.0 s (S_1):

$$S_1 \text{ Cercado de Lima} = 0.46$$

$$S_1 \text{ La Punta} = 0.64$$

Tabla 68: Valores del factor de sitio, F_v , para un largo período de espectro de aceleración (Adaptado de la Tabla 11.4-2 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010)

Coeficiente de Sitio, F_v					
Mapeo de la aceleración espectral esperada de la respuesta espectral del terremoto máximo considerado (MCER) Parámetro en el período de 1 s					
Clase de Sitio	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Ver sección 11.4.7 de ASCE 7-10				

Nota: Se usa interpolación lineal para valores intermedios de S_1 .

Se obtiene el siguiente valor de F_v Cercado de Lima = 1.34

Se obtiene el siguiente valor de F_v La Punta = 1.30

A continuación, se utilizará las siguientes fórmulas necesarias para el dibujo de diseño del espectro de respuesta según ASCE/SEI 7-10.

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} \text{ Cercado de Lima} = 1.27$$

$$S_{MS} \text{ La Punta} = 1.21$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} \text{ Cercado de Lima} = 0.62$$

$$S_{M1} \text{ La Punta} = 0.83$$

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$$

$$S_{DS} \text{ Cercado de Lima} = 0.85$$

$$S_{DS} \text{ La Punta} = 0.81$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$$

$$S_{D1} \text{ Cercado de Lima} = 0.41$$

$$S_{D1} \text{ La Punta} = 0.55$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 \text{ Cercado de Lima} = 0.10$$

$$T_0 \text{ La Punta} = 0.14$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S \text{ Cercado de Lima} = 0.49$$

$$T_S \text{ La Punta} = 0.69$$

El valor de T_L (periodo de transición de largos periodos) será igual a 2.5 en los Suelos de Cercado de Lima y La Punta.

Figura 78 Diseño de Espectro de Respuesta (Adaptado de la Figura 11.4-1 del Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010)

Figura 79 Espectros de Diseño Elástico de las normas AASHTO 2012, ASCE 7-10, E030-2018 y envolvente de espectros de respuesta en el Suelo del Cercado de Lima

Figura 80 Espectros de Diseño Elástico de las normas AASHTO 2012, ASCE 7-10, E030-2018 y envolvente de espectros de respuesta en el Suelo de La Punta

4.2 Comparación de Resultados: Edificio Mirasol

4.2.1 Desplazamientos Máximos Probables

4.2.1.1 Cercado de Lima

Tabla 69: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	41.91	38.75	39.70	30.94	46.25
4	11.2	Arriba	32.60	29.93	30.75	23.80	35.60
3	8.4	Arriba	22.76	21.05	21.31	16.69	24.94
2	5.6	Arriba	13.18	12.30	12.23	9.67	14.43
1	2.8	Arriba	6.68	6.36	6.16	3.61	5.37

Figura 81 Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 70: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	12.15	9.93	9.92	7.57	11.31
4	11.2	Arriba	9.49	7.68	7.76	5.85	8.75
3	8.4	Arriba	6.63	5.38	5.43	4.08	6.10
2	5.6	Arriba	3.81	3.10	3.12	2.34	3.49
1	2.8	Arriba	1.99	1.76	1.86	0.85	1.27

Figura 82 Desplazamientos Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

4.2.1.2 La Punta

Tabla 71: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	42.61	38.50	42.42	34.05	51.08
4	11.2	Arriba	33.07	29.63	32.91	26.25	39.38
3	8.4	Arriba	23.00	20.77	22.84	18.35	27.53
2	5.6	Arriba	13.19	12.04	13.06	10.59	15.88
1	2.8	Arriba	4.85	4.51	4.79	3.93	5.89

Figura 83 Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Tabla 72: Resumen de Comparativo de Desplazamientos – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	12.51	9.97	7.35	11.71	17.57
4	11.2	Arriba	9.77	7.70	5.75	9.07	13.60
3	8.4	Arriba	6.82	5.40	4.03	6.37	9.55
2	5.6	Arriba	3.90	3.11	2.32	3.70	5.55
1	2.8	Arriba	1.42	1.15	0.85	1.38	2.07

Figura 84 Desplazamientos Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

4.2.2 Derivas Máximas

4.2.2.1 Cercado de Lima

Tabla 73: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	0.00321	0.00305	0.00307	0.00247	0.00368
4	11.2	Arriba	0.00339	0.00319	0.00324	0.00258	0.00385
3	8.4	Arriba	0.00330	0.00305	0.00312	0.00246	0.00367
2	5.6	Arriba	0.00278	0.00257	0.00257	0.00209	0.00312
1	2.8	Arriba	0.00239	0.00227	0.00220	0.00124	0.00184

Figura 85 Derivas Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 74: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	0.00095	0.00081	0.00077	0.00062	0.00092
4	11.2	Arriba	0.00102	0.00086	0.00083	0.00066	0.00098
3	8.4	Arriba	0.00101	0.00083	0.00082	0.00063	0.00095
2	5.6	Arriba	0.00089	0.00073	0.00073	0.00053	0.00080
1	2.8	Arriba	0.00071	0.00063	0.00066	0.00030	0.00045

Figura 86 Derivas Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

4.2.2.2 La Punta

Tabla 75: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	0.00329	0.00308	0.00326	0.00269	0.00404
4	11.2	Arriba	0.00347	0.00320	0.00345	0.00282	0.00423
3	8.4	Arriba	0.00338	0.00306	0.00335	0.00270	0.00405
2	5.6	Arriba	0.00288	0.00260	0.00284	0.00229	0.00343
1	2.8	Arriba	0.00167	0.00154	0.00164	0.00134	0.00202

Figura 87 Derivas Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Tabla 76: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Arriba	0.00098	0.00082	0.00057	0.00095	0.00143
4	11.2	Arriba	0.00106	0.00087	0.00062	0.00101	0.00151
3	8.4	Arriba	0.00104	0.00083	0.00061	0.00097	0.00146
2	5.6	Arriba	0.00089	0.00070	0.00053	0.00083	0.00125
1	2.8	Arriba	0.00051	0.00041	0.00031	0.00049	0.00074

Figura 88 Derivas Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

4.2.3 Fuerzas Máximas

4.2.3.1 Cercado de Lima

Tabla 77: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Abajo	356.76	313.05	222.85	234.97	345.07
4	11.2	Abajo	696.27	549.33	406.96	397.79	591.13
3	8.4	Abajo	951.73	699.40	541.01	505.34	754.87
2	5.6	Abajo	1122.03	838.74	625.37	601.36	894.02
1	2.8	Abajo	1186.72	894.16	661.76	658.55	974.32

Figura 89 Fuerza cortante Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 78: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Abajo	356.76	357.12	270.43	247.49	366.20
4	11.2	Abajo	696.27	615.00	521.78	440.19	655.63
3	8.4	Abajo	951.73	788.82	724.60	565.21	844.99
2	5.6	Abajo	1122.03	931.72	867.91	664.09	989.88
1	2.8	Abajo	1186.72	996.13	938.31	713.32	1060.54

Figura 90 Fuerza cortante Edificio Mirasol – Cercado de Lima – Dirección Y

4.2.3.2 La Punta

Tabla 79: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Abajo	313.70	284.92	268.66	234.30	351.96
4	11.2	Abajo	608.32	469.29	500.59	407.82	612.04
3	8.4	Abajo	833.92	599.96	687.31	524.70	787.33
2	5.6	Abajo	984.64	713.68	810.14	617.24	926.36
1	2.8	Abajo	1060.49	787.95	881.42	668.26	1003.29

Figura 91 Fuerza cortante Edificio Mirasol – La Punta – Dirección X

Tabla 80: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14	Abajo	313.70	313.86	194.30	253.60	381.07
4	11.2	Abajo	608.32	531.43	385.22	458.06	687.53
3	8.4	Abajo	833.92	674.80	538.05	593.14	889.93
2	5.6	Abajo	984.64	801.31	649.41	692.26	1038.96
1	2.8	Abajo	1060.49	874.09	726.34	739.21	1109.84

Figura 92 Fuerza cortante Edificio Mirasol – La Punta – Dirección Y

4.3 Comparación de Resultados: Edificio Codornices

4.3.1 Desplazamientos Máximos Probables

4.3.1.1 Cercado de Lima

Tabla 81: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	1.48	1.20	1.08	1.03	1.38
4	11.4	Arriba	1.31	1.07	0.96	0.92	1.23
3	8.55	Arriba	1.04	0.85	0.77	0.73	0.98
2	5.7	Arriba	0.71	0.58	0.53	0.50	0.67
1	2.85	Arriba	0.34	0.28	0.26	0.24	0.33

Figura 93 Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 82: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	54.01	43.80	47.81	41.64	62.45
4	11.4	Arriba	42.50	34.38	37.35	32.67	49.00
3	8.55	Arriba	29.70	23.90	25.76	22.71	34.07
2	5.7	Arriba	16.86	13.49	14.35	12.82	19.23
1	2.85	Arriba	5.84	4.65	5.01	4.42	6.63

Figura 94 Desplazamientos Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

4.3.1.2 La Punta

Tabla 83: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	1.59	1.31	0.67	0.83	1.26
4	11.4	Arriba	1.41	1.16	0.60	0.74	1.12
3	8.55	Arriba	1.12	0.93	0.48	0.59	0.89
2	5.7	Arriba	0.76	0.63	0.33	0.40	0.61
1	2.85	Arriba	0.37	0.31	0.16	0.20	0.30

Figura 95 Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Tabla 84: Resumen de Comparativo de Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	58.15	46.42	55.74	43.82	65.82
4	11.4	Arriba	45.76	36.45	43.73	34.38	51.65
3	8.55	Arriba	31.97	25.38	30.39	23.90	35.90
2	5.7	Arriba	18.15	14.34	17.14	13.48	20.25
1	2.85	Arriba	6.29	4.96	5.90	4.64	6.97

Figura 96 Desplazamientos Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

4.3.2 Derivas Máximas Probables

4.3.2.1 Cercado de Lima

Tabla 85: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	0.00006	0.00005	0.00004	0.00004	0.00005
4	11.40	Arriba	0.00009	0.00008	0.00007	0.00006	0.00009
3	8.55	Arriba	0.00012	0.00009	0.00009	0.00008	0.00011
2	5.70	Arriba	0.00013	0.00010	0.00010	0.00009	0.00012
1	2.85	Arriba	0.00012	0.00010	0.00009	0.00009	0.00011

Figura 97 Derivas Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 86: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	0.00404	0.00332	0.00367	0.00316	0.00474
4	11.40	Arriba	0.00449	0.00369	0.00407	0.00351	0.00526
3	8.55	Arriba	0.00450	0.00366	0.00400	0.00348	0.00522
2	5.70	Arriba	0.00387	0.00311	0.00333	0.00295	0.00443
1	2.85	Arriba	0.00205	0.00163	0.00176	0.00155	0.00233

Figura 98 Derivas Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

4.3.2.2 La Punta

Tabla 87: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	0.00007	0.00005	0.00003	0.00003	0.00005
4	11.40	Arriba	0.00010	0.00008	0.00004	0.00005	0.00008
3	8.55	Arriba	0.00013	0.00010	0.00005	0.00007	0.00010
2	5.70	Arriba	0.00014	0.00011	0.00006	0.00007	0.00011
1	2.85	Arriba	0.00013	0.00011	0.00006	0.00007	0.00010

Figura 99 Derivas Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Tabla 88: Resumen de Comparativo de Derivas – Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Arriba	0.00435	0.00351	0.00421	0.00332	0.00499
4	11.40	Arriba	0.00484	0.00390	0.00468	0.00369	0.00554
3	8.55	Arriba	0.00485	0.00388	0.00465	0.00366	0.00550
2	5.70	Arriba	0.00416	0.00329	0.00394	0.00310	0.00466
1	2.85	Arriba	0.00221	0.00174	0.00207	0.00163	0.00245

Figura 100 Derivas Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

4.3.3 Fuerzas Máximas Probables

4.3.3.1 Cercado de Lima

Tabla 89: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Abajo	255.15	202.95	100.65	132.82	177.97
4	11.4	Abajo	672.10	554.07	274.58	362.61	485.87
3	8.55	Abajo	996.46	843.67	419.29	552.17	739.86
2	5.7	Abajo	1222.10	1047.16	520.57	685.35	918.31
1	2.85	Abajo	1349.23	1153.81	574.31	755.15	1011.84

Figura 101 Fuerza cortante Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 90: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Abajo	255.15	235.45	194.57	243.87	252.47
4	11.4	Abajo	672.10	566.57	473.87	460.06	609.38
3	8.55	Abajo	996.46	800.84	652.41	607.64	857.62
2	5.7	Abajo	1222.10	945.49	748.33	697.49	1015.59
1	2.85	Abajo	1349.23	1012.22	837.55	732.40	1089.64

Figura 102 Fuerza cortante Edificio Codornices – Cercado de Lima – Dirección Y

4.3.3.2 La Punta

Tabla 91: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Abajo	274.68	213.10	74.68	160.96	161.83
4	11.4	Abajo	723.54	581.77	203.59	338.97	441.80
3	8.55	Abajo	1072.73	885.86	311.67	479.36	672.75
2	5.7	Abajo	1315.64	1099.52	387.05	572.28	835.01
1	2.85	Abajo	1452.51	1211.50	427.39	613.52	920.06

Figura 103 Fuerza cortante Edificio Codornices – La Punta – Dirección X

Tabla 92: Resumen de Comparativo de Fuerza cortante – Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
5	14.25	Abajo	274.68	247.23	210.86	252.19	261.21
4	11.4	Abajo	723.54	594.90	535.61	482.43	638.75
3	8.55	Abajo	1072.73	840.89	761.52	639.10	903.66
2	5.7	Abajo	1315.65	992.77	903.01	730.62	1067.77
1	2.85	Abajo	1452.51	1062.83	973.19	763.88	1140.98

Figura 104 Fuerza cortante Edificio Codornices – La Punta – Dirección Y

4.4 Comparación de Resultados: Edificio Pardo

4.4.1 Desplazamientos Máximos Probables

4.4.1.1 Cercado de Lima

Tabla 93: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X

Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamientos				
			Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	157.30	147.05	109.63	79.63	152.02
11	30.8	Arriba	144.69	134.76	100.04	72.96	138.77
10	28	Arriba	131.31	121.79	89.90	65.93	124.92
9	25.2	Arriba	117.09	108.14	79.21	58.53	110.69
8	22.4	Arriba	102.08	93.89	68.11	50.81	96.58
7	19.6	Arriba	86.48	79.23	56.79	42.87	81.90
6	16.8	Arriba	70.58	64.45	45.55	34.88	66.91
5	14	Arriba	54.78	49.90	34.91	27.00	52.09
4	11.2	Arriba	39.59	36.00	25.63	19.49	37.82
3	8.4	Arriba	25.62	23.30	16.85	12.61	24.65
2	5.6	Arriba	13.62	12.43	9.12	6.73	13.27
1	2.8	Arriba	4.56	4.20	3.13	2.28	4.54

Figura 105 Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 94: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	123.86	114.49	82.63	66.30	123.15
11	30.8	Arriba	112.62	103.89	74.79	60.15	111.45
10	28	Arriba	100.93	92.89	66.65	53.76	99.36
9	25.2	Arriba	88.83	81.54	58.25	47.18	87.10
8	22.4	Arriba	76.44	69.97	49.71	40.46	74.97
7	19.6	Arriba	63.93	58.33	41.16	33.72	62.70
6	16.8	Arriba	51.53	46.87	32.81	27.08	50.53
5	14	Arriba	39.53	35.84	24.86	20.70	38.78
4	11.2	Arriba	28.28	25.56	17.81	14.75	27.77
3	8.4	Arriba	18.17	16.36	11.48	9.44	17.86
2	5.6	Arriba	9.66	8.68	6.13	5.00	9.52
1	2.8	Arriba	3.33	2.99	2.11	1.71	3.29

Figura 106 Desplazamientos Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y

4.4.1.2 La Punta

Tabla 95: Resumen de Comparativo Desplazamientos – Edificio Pardo – La Punta – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	165.16	149.45	180.34	127.06	197.24
11	30.8	Arriba	151.93	137.00	165.15	116.47	180.23
10	28	Arriba	137.87	123.85	149.09	105.28	162.39
9	25.2	Arriba	122.94	109.97	132.15	93.47	143.94
8	22.4	Arriba	107.19	95.46	114.44	81.13	125.45
7	19.6	Arriba	90.80	80.52	96.24	68.42	106.25
6	16.8	Arriba	74.11	65.43	78.18	55.59	86.69
5	14	Arriba	57.52	50.58	60.75	42.97	67.35
4	11.2	Arriba	41.57	36.42	43.99	30.93	48.78
3	8.4	Arriba	26.90	23.50	28.57	19.96	31.70
2	5.6	Arriba	14.30	12.48	15.29	10.60	16.99
1	2.8	Arriba	4.78	4.20	5.19	3.56	5.78

Figura 107 Desplazamientos Edificio Pardo – La Punta – Dirección X

Tabla 96: Resumen de Comparativo Desplazamientos – Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	130.05	95.70	123.15	83.89	132.29
11	30.8	Arriba	118.25	86.85	111.78	76.11	119.75
10	28	Arriba	105.97	77.66	99.96	68.04	106.79
9	25.2	Arriba	93.27	68.17	87.75	59.70	93.61
8	22.4	Arriba	80.27	58.49	75.27	51.20	80.54
7	19.6	Arriba	67.13	48.75	62.70	42.66	67.34
6	16.8	Arriba	54.11	39.16	50.45	34.25	54.25
5	14	Arriba	41.51	29.93	38.64	26.16	41.61
4	11.2	Arriba	29.69	21.32	27.59	18.62	29.77
3	8.4	Arriba	19.08	13.64	17.69	11.90	19.14
2	5.6	Arriba	10.14	7.22	9.39	6.29	10.19
1	2.8	Arriba	3.50	2.47	3.23	2.15	3.52

Figura 108 Desplazamientos Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y

4.4.2 Derivas Máximas Probables

4.4.2.1 Cercado de Lima

Tabla 97: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X

Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas				
			Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	0.00455	0.00444	0.00342	0.00241	0.00477
11	30.8	Arriba	0.00478	0.00470	0.00362	0.00255	0.00503
10	28	Arriba	0.00508	0.00495	0.00382	0.00269	0.00527
9	25.2	Arriba	0.00536	0.00516	0.00397	0.00280	0.00546
8	22.4	Arriba	0.00557	0.00530	0.00404	0.00287	0.00557
7	19.6	Arriba	0.00568	0.00533	0.00402	0.00289	0.00556
6	16.8	Arriba	0.00564	0.00524	0.00388	0.00283	0.00540
5	14	Arriba	0.00543	0.00498	0.00362	0.00270	0.00516
4	11.2	Arriba	0.00499	0.00455	0.00322	0.00246	0.00474
3	8.4	Arriba	0.00428	0.00389	0.00276	0.00211	0.00409
2	5.6	Arriba	0.00324	0.00294	0.00214	0.00159	0.00312
1	2.8	Arriba	0.00162	0.00149	0.00111	0.00081	0.00161

Figura 109 Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 98: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	0.00402	0.00380	0.00280	0.00221	0.00419
11	30.8	Arriba	0.00418	0.00395	0.00291	0.00229	0.00435
10	28	Arriba	0.00432	0.00408	0.00300	0.00237	0.00448
9	25.2	Arriba	0.00442	0.00416	0.00305	0.00241	0.00455
8	22.4	Arriba	0.00447	0.00418	0.00305	0.00242	0.00455
7	19.6	Arriba	0.00443	0.00412	0.00299	0.00238	0.00445
6	16.8	Arriba	0.00429	0.00396	0.00284	0.00229	0.00425
5	14	Arriba	0.00402	0.00369	0.00262	0.00213	0.00397
4	11.2	Arriba	0.00362	0.00329	0.00231	0.00190	0.00356
3	8.4	Arriba	0.00304	0.00275	0.00192	0.00159	0.00299
2	5.6	Arriba	0.00227	0.00204	0.00144	0.00118	0.00223
1	2.8	Arriba	0.00118	0.00106	0.00076	0.00061	0.00118

Figura 110 Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y

4.4.2.2 La Punta

Tabla 99: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	0.00478	0.00447	0.00542	0.00380	0.00610
11	30.8	Arriba	0.00502	0.00473	0.00574	0.00403	0.00645
10	28	Arriba	0.00533	0.00499	0.00605	0.00425	0.00677
9	25.2	Arriba	0.00563	0.00522	0.00633	0.00444	0.00703
8	22.4	Arriba	0.00585	0.00537	0.00650	0.00457	0.00719
7	19.6	Arriba	0.00596	0.00541	0.00654	0.00460	0.00720
6	16.8	Arriba	0.00593	0.00532	0.00641	0.00452	0.00701
5	14	Arriba	0.00570	0.00507	0.00607	0.00431	0.00669
4	11.2	Arriba	0.00524	0.00462	0.00551	0.00393	0.00614
3	8.4	Arriba	0.00450	0.00394	0.00474	0.00334	0.00527
2	5.6	Arriba	0.00340	0.00296	0.00361	0.00252	0.00401
1	2.8	Arriba	0.00171	0.00149	0.00184	0.00127	0.00205

Figura 111 Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X

Tabla 100: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Arriba	0.00422	0.00317	0.00406	0.00279	0.00449
11	30.8	Arriba	0.00438	0.00330	0.00422	0.00289	0.00466
10	28	Arriba	0.00453	0.00341	0.00436	0.00299	0.00480
9	25.2	Arriba	0.00465	0.00347	0.00446	0.00305	0.00488
8	22.4	Arriba	0.00470	0.00349	0.00449	0.00306	0.00488
7	19.6	Arriba	0.00465	0.00344	0.00443	0.00302	0.00478
6	16.8	Arriba	0.00450	0.00331	0.00426	0.00290	0.00456
5	14	Arriba	0.00422	0.00308	0.00397	0.00270	0.00426
4	11.2	Arriba	0.00380	0.00275	0.00354	0.00241	0.00382
3	8.4	Arriba	0.00319	0.00230	0.00297	0.00201	0.00321
2	5.6	Arriba	0.00238	0.00170	0.00221	0.00148	0.00239
1	2.8	Arriba	0.00124	0.00088	0.00115	0.00077	0.00126

Figura 112 Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y

4.4.3 Fuerzas Máximas Probables

4.4.3.1 Cercado de Lima

Tabla 101: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Abajo	1741.13	1693.29	1126.50	776.73	1612.52
11	30.8	Abajo	3754.66	3357.57	2224.34	1542.88	3118.80
10	28	Abajo	5587.86	4693.52	3128.74	2147.37	4287.69
9	25.2	Abajo	7238.51	5790.10	3783.30	2637.87	5218.24
8	22.4	Abajo	8705.07	6719.31	4219.59	3052.00	6021.34
7	19.6	Abajo	9988.32	7528.30	4588.99	3413.78	6630.17
6	16.8	Abajo	11088.75	8242.81	4871.04	3735.65	7176.61
5	14	Abajo	12005.35	8869.05	5337.39	4020.62	7835.47
4	11.2	Abajo	12738.63	9399.24	5936.14	4265.95	8322.63
3	8.4	Abajo	13288.85	9821.29	6377.27	4463.05	8763.54
2	5.6	Abajo	13655.49	10113.84	6640.01	4597.22	9099.66
1	2.8	Abajo	13838.84	10256.26	6739.04	4655.76	9311.08

Figura 113 Fuerza cortante Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección X

Tabla 102: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – Cercado de Lima – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Abajo	1741.13	2011.80	1103.00	923.62	1827.54
11	30.8	Abajo	3754.66	4052.48	2288.96	1876.47	3621.41
10	28	Abajo	5587.86	5716.54	3287.96	2651.00	5044.18
9	25.2	Abajo	7238.51	7096.95	4090.11	3286.14	6185.46
8	22.4	Abajo	8705.07	8261.85	4786.36	3817.82	7134.73
7	19.6	Abajo	9988.32	9260.70	5346.41	4273.85	7879.26
6	16.8	Abajo	11088.75	10125.47	5779.34	4671.56	8538.28
5	14	Abajo	12005.35	10868.23	6292.23	5017.20	9300.38
4	11.2	Abajo	12738.63	11487.13	6783.09	5307.86	9872.98
3	8.4	Abajo	13288.85	11969.23	7138.85	5533.92	10356.31
2	5.6	Abajo	13655.49	12294.97	7354.22	5682.26	10707.16
1	2.8	Abajo	13838.84	12447.77	7439.26	5745.67	10922.72

Figura 114 Fuerza cortante Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección Y

4.4.3.2 La Punta

Tabla 103: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Abajo	1553.96	1306.47	1479.35	1082.54	1925.96
11	30.8	Abajo	3340.08	2681.20	3134.00	2244.45	3821.26
10	28	Abajo	4977.21	3852.62	4579.55	3236.48	5359.82
9	25.2	Abajo	6451.41	4856.45	5849.85	4082.81	6620.77
8	22.4	Abajo	7761.31	5719.18	6919.06	4805.35	7698.23
7	19.6	Abajo	8907.60	6457.49	7781.38	5422.06	8533.22
6	16.8	Abajo	9890.73	7080.68	8427.39	5944.34	9264.61
5	14	Abajo	10709.80	7592.05	8875.63	6375.47	10075.46
4	11.2	Abajo	11365.25	7992.41	9421.88	6714.01	10673.15
3	8.4	Abajo	11857.31	8283.69	9882.09	6956.50	11171.20
2	5.6	Abajo	12185.53	8466.83	10228.43	7101.53	11525.34
1	2.8	Abajo	12350.17	8546.83	10479.16	7157.18	11736.67

Figura 115 Fuerza cortante Edificio Pardo – La Punta– Dirección X

Tabla 104: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Pardo – La Punta – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	33.6	Abajo	1553.96	1352.51	1496.02	1091.65	1909.12
11	30.8	Abajo	3340.08	2764.19	3191.63	2263.94	3812.65
10	28	Abajo	4977.21	3945.43	4707.20	3254.65	5346.31
9	25.2	Abajo	6451.41	4942.95	6066.37	4088.96	6589.27
8	22.4	Abajo	7761.31	5790.00	7249.32	4792.74	7620.88
7	19.6	Abajo	8907.60	6510.88	8237.77	5389.08	8432.39
6	16.8	Abajo	9890.73	7121.87	9030.33	5894.14	9145.69
5	14	Abajo	10709.80	7630.30	9632.65	6314.68	9946.83
4	11.2	Abajo	11365.25	8038.14	10053.40	6649.97	10547.83
3	8.4	Abajo	11857.31	8343.04	10306.02	6894.93	11041.16
2	5.6	Abajo	12185.53	8540.49	10542.39	7045.07	11389.14
1	2.8	Abajo	12350.17	8629.09	10712.31	7105.02	11599.88

Figura 116 Fuerza cortante Edificio Pardo – La Punta– Dirección Y

4.5 Comparación de Resultados: Edificio Parque Alameda

4.5.1 Desplazamientos Máximos Probables

4.5.1.1 Cercado de Lima

Tabla 105: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	98.17	31.05	36.86	31.01	51.06
11	29.7	Arriba	90.09	28.44	34.03	28.40	46.78
10	27	Arriba	81.47	25.67	31.02	25.62	42.23
9	24.3	Arriba	72.40	22.75	27.82	22.70	37.44
8	21.6	Arriba	62.94	19.73	24.43	19.68	32.47
7	18.9	Arriba	53.25	16.66	20.88	16.61	27.42
6	16.2	Arriba	43.51	13.59	17.24	13.56	22.38
5	13.5	Arriba	33.95	10.60	13.58	10.58	17.45
4	10.8	Arriba	24.84	7.76	10.01	7.74	12.77
3	8.1	Arriba	16.47	5.15	6.67	5.14	8.47
2	5.4	Arriba	9.20	2.88	3.74	2.88	4.74
1	2.7	Arriba	3.46	1.08	1.46	1.18	1.77

Figura 117 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 106: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	218.48	92.35	134.66	91.17	166.08
11	29.7	Arriba	203.43	85.66	124.68	84.58	154.13
10	27	Arriba	186.75	78.32	113.68	77.36	141.00
9	24.3	Arriba	168.49	70.39	101.80	69.55	126.79
8	21.6	Arriba	148.76	61.94	89.24	61.23	111.61
7	18.9	Arriba	127.87	53.10	76.25	52.52	95.69
6	16.2	Arriba	106.20	44.04	63.11	43.58	79.33
5	13.5	Arriba	84.28	34.94	50.21	34.60	62.89
4	10.8	Arriba	62.74	26.04	37.43	25.81	46.82
3	8.1	Arriba	42.35	17.63	25.71	17.49	31.64
2	5.4	Arriba	24.04	10.07	14.93	10.00	18.03
1	2.7	Arriba	9.08	3.85	5.81	3.83	6.87

Figura 118 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y

4.5.1.2 La Punta

Tabla 107: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-X (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	98.18	39.92	57.66	39.56	59.25
11	29.7	Arriba	90.09	36.62	53.04	36.28	54.34
10	27	Arriba	81.48	33.09	48.10	32.78	49.10
9	24.3	Arriba	72.40	29.37	42.88	29.09	43.58
8	21.6	Arriba	62.94	25.51	37.41	25.26	37.84
7	18.9	Arriba	53.26	21.56	31.77	21.35	31.98
6	16.2	Arriba	43.52	17.61	26.07	17.43	26.11
5	13.5	Arriba	33.95	13.74	20.44	13.60	20.37
4	10.8	Arriba	24.84	10.05	15.03	9.95	14.90
3	8.1	Arriba	16.47	6.67	10.02	6.60	9.88
2	5.4	Arriba	9.20	3.72	5.63	3.68	5.52
1	2.7	Arriba	3.46	1.39	2.18	1.38	2.06

Figura 119 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Tabla 108: Resumen de Comparativo Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

Desplazamientos							
Piso	Elevación (m)	Posición	Desplazamiento-Y (mm)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	218.46	167.33	235.64	162.78	242.62
11	29.7	Arriba	203.41	155.33	218.33	151.12	225.25
10	27	Arriba	186.73	142.13	199.31	138.31	206.15
9	24.3	Arriba	168.47	127.81	178.95	124.39	185.41
8	21.6	Arriba	148.75	112.47	157.16	109.50	163.21
7	18.9	Arriba	127.86	96.36	134.29	93.84	139.86
6	16.2	Arriba	106.19	79.79	110.82	77.72	115.84
5	13.5	Arriba	84.27	63.15	87.36	61.52	91.70
4	10.8	Arriba	62.74	46.91	64.59	45.70	68.12
3	8.1	Arriba	42.35	31.62	43.30	30.80	45.91
2	5.4	Arriba	24.04	17.96	24.45	17.49	26.08
1	2.7	Arriba	9.08	6.82	9.33	6.64	9.89

Figura 120 Desplazamientos Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

4.5.2 Derivas Máximas Probables

4.5.2.1 Cercado de Lima

Tabla 109: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X

Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas				
			Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	0.00299	0.00098	0.00115	0.00099	0.00161
11	29.7	Arriba	0.00319	0.00105	0.00124	0.00105	0.00172
10	27	Arriba	0.00336	0.00111	0.00130	0.00111	0.00181
9	24.3	Arriba	0.00350	0.00115	0.00133	0.00115	0.00188
8	21.6	Arriba	0.00359	0.00116	0.00134	0.00116	0.00191
7	18.9	Arriba	0.00361	0.00116	0.00135	0.00115	0.00190
6	16.2	Arriba	0.00354	0.00112	0.00136	0.00112	0.00185
5	13.5	Arriba	0.00338	0.00106	0.00132	0.00106	0.00175
4	10.8	Arriba	0.00310	0.00097	0.00124	0.00097	0.00160
3	8.1	Arriba	0.00269	0.00084	0.00109	0.00084	0.00139
2	5.4	Arriba	0.00213	0.00067	0.00087	0.00067	0.00110
1	2.7	Arriba	0.00128	0.00040	0.00054	0.00044	0.00066

Figura 121 Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X

Tabla 110: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-Y				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	0.00557	0.00253	0.00397	0.00250	0.00450
11	29.7	Arriba	0.00618	0.00279	0.00441	0.00276	0.00496
10	27	Arriba	0.00676	0.00302	0.00473	0.00299	0.00538
9	24.3	Arriba	0.00730	0.00321	0.00492	0.00318	0.00574
8	21.6	Arriba	0.00774	0.00335	0.00497	0.00331	0.00600
7	18.9	Arriba	0.00802	0.00342	0.00497	0.00338	0.00615
6	16.2	Arriba	0.00812	0.00341	0.00495	0.00338	0.00615
5	13.5	Arriba	0.00798	0.00332	0.00476	0.00329	0.00600
4	10.8	Arriba	0.00755	0.00313	0.00451	0.00310	0.00565
3	8.1	Arriba	0.00678	0.00281	0.00406	0.00278	0.00505
2	5.4	Arriba	0.00554	0.00231	0.00338	0.00229	0.00414
1	2.7	Arriba	0.00336	0.00143	0.00215	0.00142	0.00255

Figura 122 Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y

4.5.2.2 La Punta

Tabla 111: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	0.00299	0.00098	0.00115	0.00099	0.00161
11	29.7	Arriba	0.00319	0.00105	0.00124	0.00105	0.00172
10	27	Arriba	0.00336	0.00111	0.00130	0.00111	0.00181
9	24.3	Arriba	0.00350	0.00115	0.00133	0.00115	0.00188
8	21.6	Arriba	0.00359	0.00116	0.00134	0.00116	0.00191
7	18.9	Arriba	0.00361	0.00116	0.00135	0.00115	0.00190
6	16.2	Arriba	0.00354	0.00112	0.00136	0.00112	0.00185
5	13.5	Arriba	0.00338	0.00106	0.00132	0.00106	0.00175
4	10.8	Arriba	0.00310	0.00097	0.00124	0.00097	0.00160
3	8.1	Arriba	0.00269	0.00084	0.00109	0.00084	0.00139
2	5.4	Arriba	0.00213	0.00067	0.00087	0.00067	0.00110
1	2.7	Arriba	0.00128	0.00040	0.00054	0.00044	0.00066

Figura 123 Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Tabla 112: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

Derivas							
Piso	Elevación (m)	Posición	Derivas-X				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Arriba	0.00557	0.00448	0.00641	0.00435	0.00649
11	29.7	Arriba	0.00618	0.00494	0.00708	0.00480	0.00715
10	27	Arriba	0.00676	0.00536	0.00771	0.00521	0.00777
9	24.3	Arriba	0.00730	0.00573	0.00827	0.00558	0.00832
8	21.6	Arriba	0.00774	0.00601	0.00867	0.00585	0.00873
7	18.9	Arriba	0.00802	0.00618	0.00886	0.00601	0.00896
6	16.2	Arriba	0.00812	0.00619	0.00879	0.00603	0.00899
5	13.5	Arriba	0.00798	0.00604	0.00843	0.00588	0.00876
4	10.8	Arriba	0.00755	0.00567	0.00788	0.00553	0.00824
3	8.1	Arriba	0.00678	0.00506	0.00698	0.00494	0.00736
2	5.4	Arriba	0.00554	0.00413	0.00564	0.00402	0.00600
1	2.7	Arriba	0.00336	0.00253	0.00346	0.00246	0.00366

Figura 124 Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

4.5.3 Fuerzas Máximas Probables

4.5.3.1 Cercado de Lima

Tabla 113: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección X

Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Abajo	1978.74	846.00	951.58	793.77	1189.10
11	29.7	Abajo	4205.17	1764.50	2020.60	1672.48	2512.03
10	27	Abajo	6224.59	2560.82	3026.72	2445.03	3683.29
9	24.3	Abajo	8030.49	3249.82	3932.70	3114.06	4704.52
8	21.6	Abajo	9626.54	3844.12	4731.28	3690.98	5589.35
7	18.9	Abajo	11014.03	4353.91	5430.09	4187.60	6351.85
6	16.2	Abajo	12194.44	4788.04	6038.80	4613.64	7003.63
5	13.5	Abajo	13169.45	5152.14	6582.44	4975.80	7552.69
4	10.8	Abajo	13941.08	5450.23	7044.89	5275.99	8001.45
3	8.1	Abajo	14511.85	5680.66	7344.71	5509.70	8344.86
2	5.4	Abajo	14885.10	5838.62	7601.27	5669.68	8575.56
1	2.7	Abajo	15066.05	5915.11	7721.50	5745.99	8683.82

Figura 125 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección X

Tabla 114: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Abajo	1982.14	710.12	1028.82	643.23	1067.57
11	29.7	Abajo	4212.80	1410.76	2102.18	1292.45	2175.37
10	27	Abajo	6236.53	1983.40	2962.88	1827.41	3112.25
9	24.3	Abajo	8046.76	2461.30	3589.46	2273.32	3908.68
8	21.6	Abajo	9647.14	2867.42	3963.92	2650.53	4591.75
7	18.9	Abajo	11038.91	3222.60	4529.89	2979.84	5186.52
6	16.2	Abajo	12223.47	3539.17	5085.67	3274.58	5707.68
5	13.5	Abajo	13202.43	3820.86	5552.07	3539.98	6161.45
4	10.8	Abajo	13977.73	4064.58	5980.48	3774.42	6547.34
3	8.1	Abajo	14551.78	4259.33	6369.33	3969.24	6855.62
2	5.4	Abajo	14927.73	4393.93	6690.67	4110.10	7068.75
1	2.7	Abajo	15110.61	4457.35	6886.35	4179.76	7168.85

Figura 126 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección Y

4.5.3.2 La Punta

Tabla 115: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-X (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Abajo	1978.74	937.59	1249.04	821.33	1234.63
11	29.7	Abajo	4205.17	1955.97	2665.23	1741.65	2617.51
10	27	Abajo	6224.59	2839.42	3942.78	2564.01	3852.70
9	24.3	Abajo	8030.49	3604.07	5065.61	3287.34	4938.85
8	21.6	Abajo	9626.54	4263.67	6030.86	3917.91	5885.58
7	18.9	Abajo	11014.03	4829.29	6838.91	4462.07	6702.59
6	16.2	Abajo	12194.44	5310.59	7492.63	4925.09	7397.85
5	13.5	Abajo	13169.45	5713.76	7997.14	5310.74	7977.12
4	10.8	Abajo	13941.08	6043.31	8361.48	5620.49	8442.63
3	8.1	Abajo	14511.86	6297.58	8600.17	5852.55	8791.63
2	5.4	Abajo	14885.10	6471.52	8733.53	6004.90	9021.03
1	2.7	Abajo	15066.05	6555.58	8785.50	6074.97	9126.71

Figura 127 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección X

Tabla 116: Resumen de Comparativo Derivas Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

Fuerza cortante							
Piso	Elevación (m)	Posición	Fuerza Cortante-Y (tonf)				
			Estático	Modal Espectral	Tiempo Historia	ASCE	AASHTO
12	32.4	Abajo	1982.14	1032.31	1322.99	904.69	1352.27
11	29.7	Abajo	4212.80	2112.71	2769.01	1875.98	2802.93
10	27	Abajo	6236.53	3048.99	4035.46	2725.58	4071.06
9	24.3	Abajo	8046.76	3864.12	5111.30	3464.20	5173.09
8	21.6	Abajo	9647.14	4572.06	6001.96	4103.82	6127.20
7	18.9	Abajo	11038.91	5184.96	6718.67	4656.87	6952.27
6	16.2	Abajo	12223.46	5709.51	7448.80	5131.34	7660.42
5	13.5	Abajo	13202.43	6147.76	8196.87	5530.52	8256.64
4	10.8	Abajo	13977.73	6498.84	8844.34	5853.58	8739.64
3	8.1	Abajo	14551.77	6758.14	9361.23	6095.66	9102.04
2	5.4	Abajo	14927.73	6923.32	9766.58	6250.87	9334.80
1	2.7	Abajo	15110.61	6995.20	10028.49	6318.18	9436.02

Figura 128 Fuerza cortante Edificio Parque Alameda – La Punta – Dirección Y

4.6 Amplificación sísmica

Para identificar la amplificación sísmica se realiza una toma de datos de las aceleraciones obtenidas en el centro de masa de cada nivel, determinando la amplificación del nivel uno al último nivel respectivamente de cada edificio propuesto para esta investigación. Finalmente se obtendrá una ecuación para determinar la amplificación sísmica de cada edificio.

4.6.1 Edificios de 5 niveles

4.6.1.1 Cercado de Lima

4.6.1.1.1 Mirasol

Figura 129 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – Cercado de Lima– Dirección X

Figura 130 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – Cercado de Lima– Dirección Y

4.6.1.1.2 Codornices

Figura 131 Amplificación sísmica Edificio Codornices – Cercado de Lima– Dirección X

Figura 132 Amplificación sísmica Edificio Codornices – Cercado de Lima– Dirección Y

4.6.1.2 La Punta

4.6.1.2.1 Mirasol

Figura 133 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – La Punta– Dirección X

Figura 134 Amplificación sísmica Edificio Mirasol – La Punta– Dirección Y

4.6.1.2.2 Codornices

Figura 135 Amplificación sísmica Edificio Codornices – La Punta– Dirección X

Figura 136 Amplificación sísmica Edificio Codornices – La Punta– Dirección Y

4.6.1.3 Resumen

Tabla 117: Resumen de Amplificación sísmica Tiempo Historia y Modal Espectral (5 niveles)

ANÁLISIS	MIRASOL				CODORNICES			
	LIMA (m/s ²)		PUNTA (m/s ²)		LIMA (m/s ²)		PUNTA (m/s ²)	
	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
Modal Espectral	15.93	18.17	14.50	15.97	9.59	11.12	10.07	11.68
Tiempo - historia	11.34	13.76	15.37	9.89	4.76	9.19	3.53	9.96

4.6.2 Edificios de 12 niveles

4.6.2.1 Cercado de Lima

4.6.2.1.1 Pardo

Figura 137 Amplificación sísmica Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección X

Figura 138 Amplificación sísmica Edificio Pardo – Cercado de Lima– Dirección Y

4.6.2.1.2 Parque Alameda

Figura 139 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección X

Figura 140 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – Cercado de Lima– Dirección Y

4.6.2.2 La Punta

4.6.2.2.1 Pardo

Figura 141 Amplificación sísmica Edificio Pardo – La Punta– Dirección X

Figura 142 Amplificación sísmica Edificio Pardo – La Punta– Dirección Y

4.6.2.2.2 Parque Alameda

Figura 143 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – La Punta– Dirección X

Figura 144 Amplificación sísmica Edificio Parque Alameda – La Punta– Dirección Y

4.6.2.3 Resumen

Tabla 118: Resumen de Amplificación símica Tiempo Historia y Modal Espectral (12 niveles)

ANÁLISIS	PARDO				PARQUE ALAMEDA			
	LIMA (m/s ²)		PUNTA (m/s ²)		LIMA (m/s ²)		PUNTA (m/s ²)	
	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
Modal Espectral	20.12	23.90	15.52	16.07	9.04	7.59	10.02	11.04
Tiempo - historia	13.38	13.10	17.58	17.77	10.17	11.00	13.35	14.14

5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Tanto el método modal espectral como el tiempo historia mediante acelerogramas sintéticos permiten conocer la respuesta de la estructura. Sin embargo, el segundo método requiere de mayor esfuerzo de cálculo, ya que analiza a detalle la variación de respuestas a lo largo del tiempo con los estratos reales en los que se va a construir la estructura.
- Los resultados de amplificación sísmica del suelo para un periodo de retorno de 475 años (Edificaciones comunes) de Cercado de Lima son muy parecidos a los establecidos en la Norma Técnica Peruana E-030, mientras que los resultados de ampliación sísmica de La Punta difieren a los parámetros establecidos en la norma E-030 obteniendo resultados más elevados (Fuerzas cortante, Desplazamientos y Derivas).
- Se observa en La Punta que al presentar el suelo una velocidad de propagación de ondas de corte calificado como suelos medianamente rígidos “S2”, mediante los ensayos MASW y MAM, tiene una mayores aceleraciones del sismo en la superficie que en los suelos del Parque de la Reserva calificado como roca o suelos muy rígidos “S1”, por lo que se puede observar que en el perfil geotécnico de La Punta se obtiene mayores resultados que en el perfil geotécnico de Cercado de Lima a partir de un periodo mayor a 0.2 segundos.
- En Cercado de Lima debido a la existencia de suelos rígidos tenemos una tendencia hacia los periodos cortos que oscilan en 0.2, por otro lado, se puede observar que en La Punta debido a la presencia de suelos flexibles se forma una plataforma más ancha (0.26 – 0.64).
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Mirasol (5 pisos) en el perfil geotécnico de Cercado de Lima en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 28.81% menor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 24.27% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis modal espectral es más conservador que el análisis tiempo – historia.

- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Mirasol (5 pisos) en el perfil geotécnico de La Punta en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 6.00% mayor por el método modal espectral en la dirección “X” y en la dirección “Y” es 38.07% menor, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis modal espectral es más conservador que el análisis tiempo – historia en la dirección “Y”.
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Codornices (5 pisos) en el perfil geotécnico de Cercado de Lima en el penúltimo nivel del análisis tiempo – historia, es un 50.47% menor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 15.60% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis modal espectral es más conservador que el análisis tiempo – historia.
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Codornices (5 pisos) en el perfil geotécnico de La Punta en el penúltimo nivel del análisis tiempo – historia, es un 65.02% menor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 6.59% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis modal espectral es más conservador que el análisis tiempo – historia.
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Pardo (12 pisos) en el perfil geotécnico de Cercado de Lima en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 33.49% menor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 45.18% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis modal espectral es más conservador que el análisis tiempo – historia.
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Pardo (12 pisos) en el perfil geotécnico de La Punta en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 13.27% mayor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 10.58% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis tiempo historia tiene una amplificación sísmica superior que el modal espectral.
- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Parque Alameda (12 pisos) en el perfil geotécnico de Cercado de Lima en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 12.50% mayor por el método modal espectral en la dirección “X” y de

44.90% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis tiempo historia tiene una amplificación sísmica superior que el modal espectral.

- La amplificación sísmica de la aceleración en el Edificio Parque Alameda (12 pisos) en el perfil geotécnico de La Punta en el último nivel del análisis tiempo – historia, es un 33.23% mayor por el método modal espectral en la dirección “X” y de 28.07% en la dirección “Y”, por lo que se concluye que para este perfil geotécnico el análisis tiempo historia tiene una amplificación sísmica superior que el modal espectral.
- **Variación de la Profundidad:** Se ha modelado seis (06) casos distintos en el que se conservarán las propiedades del suelo de dos estratos y se hará una iteración de la profundidad de ellos. A estos modelos, se le aplicará los cinco movimientos, con la finalidad de obtener los valores máximos de Desplazamiento de Corte, Deformaciones de Corte, Espectro de Respuesta y el PGA (Peak Ground Acceleration).

Se tendrá dos estratos, cada uno de ellos con velocidades de ondas de cortes de 300 m/s para el estrato superior y 800 m/s para el estrato inferior. Peso específico de 20 kN/m³.

	ESTRATO SUPERIOR		ESTRATO INFERIOR	
	Espesor (m)	Vs (m/s)	Espesor (m)	Vs (m/s)
CASO N°1	30.00	300.00	30.00	800.00
CASO N°2	25.00	300.00	35.00	800.00
CASO N°3	20.00	300.00	40.00	800.00
CASO N°4	15.00	300.00	45.00	800.00
CASO N°5	10.00	300.00	50.00	800.00
CASO N°6	5.00	300.00	55.00	800.00

- Se puede concluir de la siguiente gráfica que a mayor espesor del estrato superior con velocidad de ondas de corte de 300 m/s (estrato blando) presenta un mayor desplazamiento de la parte superior del suelo y mientras disminuye el espesor del estrato, el desplazamiento disminuye. Sin embargo, en el caso N°06, el estrato superior al ser de un espesor muy bajo no permite desarrollarse y amplificar el sismo.

- De la siguiente gráfica, se puede concluir que en el Caso N°03, existe mayor valor del PGA con respecto a los otros casos, debido al que el periodo fundamental del suelo presenta mayor aceleración en el espectro de respuesta de los acelerogramas a presentar.

- En la presente grafica podemos observar que al momento de disminuir el espesor del estrato superior este también empieza a disminuir su deformación por corte

- **Variación de la Velocidad de Ondas de Corte**

Dos estratos de espesores de 30 m cada uno.

	ESTRATO SUPERIOR		ESTRATO INFERIOR	
	Espesor (m)	Vs (m/s)	Espesor (m)	Vs (m/s)
CASO N°1	30.00	300.00	30.00	800.00
CASO N°2	30.00	350.00	30.00	750.00
CASO N°3	30.00	400.00	30.00	700.00
CASO N°4	30.00	450.00	30.00	650.00
CASO N°5	30.00	500.00	30.00	600.00
CASO N°6	30.00	550.00	30.00	550.00

- Se puede concluir de la siguiente gráfica que del caso 1 al caso 3 que las velocidades de ondas de corte en el estrato superior al aumentar, disminuye el desplazamiento. Sin embargo, en el caso 4 y 5 al no haber mucha diferencia en las velocidades de ondas de corte, el desplazamiento se mantiene. Finalmente, en el caso 6 al presentar una igualdad en las velocidades de ondas de corte en los estratos y al ser menores, hay un incremento en su desplazamiento.

- Se puede concluir que en el Caso N°03, se presenta mayor PGA, ya que en este caso el periodo fundamental del suelo presenta mayor aceleración con respecto al espectro de respuesta de los acelerogramas.

- En la presente grafica podemos observar que al aumentar las velocidades de ondas de corte del estrato superior este también empieza a disminuir su deformación por corte
- **Dos estratos de espesores de 20 m en el superior y 40 m en el inferior:**

	ESTRATO SUPERIOR		ESTRATO INFERIOR	
	Espesor (m)	Vs (m/s)	Espesor (m)	Vs (m/s)
CASO N°1	20.00	300.00	40.00	800.00
CASO N°2	20.00	350.00	40.00	750.00
CASO N°3	20.00	400.00	40.00	700.00
CASO N°4	20.00	450.00	40.00	650.00
CASO N°5	20.00	500.00	40.00	600.00
CASO N°6	20.00	550.00	40.00	550.00

- Se puede concluir de la siguiente gráfica que del caso 1 que las velocidades de ondas de corte en el estrato superior al aumentar, disminuye el desplazamiento. Sin embargo, en el caso 2 y 3 al no haber mucha diferencia en las velocidades de ondas de corte, el desplazamiento se mantiene. Finalmente, en el caso 6 al presentar una igualdad en las velocidades de ondas de corte en los estratos y al ser menores, hay un incremento en su desplazamiento.

- De la siguiente gráfica, se puede concluir que en los estratos con 20 m – 40 m, se obtiene mayor valor de P.G.A. cuando existe mayor velocidad de onda de corte en el estrato inferior. Se observa que al iterar la velocidad de onda de corte del estrato inferior y superior, es decir, al hacer más flexible el estrato inferior y rígido el estrato superior, se observa una decreciente de las aceleraciones del espectro de respuesta y del P.G.A.

- En la presente grafica podemos observar que al aumentar las velocidades de ondas de corte del estrato superior este también empieza a disminuir su deformación por corte

- Variación de Ondas de Corte en Estratos 30 m – 30 m vs. Variación de Ondas de Corte en Estratos 20 m – 40 m

- De la siguiente gráfica, se puede concluir que a mayor sea el espesor del estrato flexible, este presentará mayor desplazamiento al momento de la aceleración de un sismo.

Variación de ondas de corte en estratos de 30m - 30m	MÁXIMOS					
	1	2	3	4	5	6
Desplazamiento de Corte (m)	0.037	0.032	0.029	0.028	0.028	0.029
Variación de ondas de corte en estratos de 20m - 40m	MÁXIMOS					
	1	2	3	4	5	6
Desplazamiento de Corte (m)	0.027	0.026	0.026	0.026	0.027	0.029
Variación Porcentual (%)	26.89%	19.27%	12.16%	6.82%	2.75%	0.00%

- En el siguiente cuadro, se puede apreciar que al momento de variar las velocidades de ondas de corte, los desplazamientos se comienzan a igualar. Esto se debe a que las propiedades geosísmicas del estrato superior e inferior se comienzan a hacerse similares.

Variación de ondas de corte en estratos de 30m - 30m	MÁXIMOS					
	1	2	3	4	5	6
Espectro de Respuesta (g)	2.026	1.914	1.741	1.577	1.436	1.373
Variación de ondas de corte en estratos de 20m - 40m	MÁXIMOS					
	1	2	3	4	5	6
Espectro de Respuesta (g)	1.990	1.661	1.500	1.418	1.394	1.378
Variación Porcentual (%)	1.78%	13.22%	13.84%	10.12%	2.96%	-0.37%

- De la siguiente gráfica y cuadro, se puede concluir que en los casos 2, 3 y 4, existe mayor variación porcentual, ya que, al presentar un mayor incremento de velocidad de ondas de corte en el estrato superior y decrecimiento de la variación de ondas de corte del estrato inferior, aceleración va a ser menor.
- Los periodos del edificio “Mirasol” (5 niveles) con los periodos del suelo ubicados en el Parque de la Reserva – Cercado de Lima son similares en el eje Y-Y por lo que presenta mayor amplificación sísmica en esa dirección respecto a los suelos de La Punta - Callao. Así mismo, en el suelo de La Punta – Callao son similares en el eje X-X por lo que presenta mayor amplificación sísmica respecto al eje Y-Y. Finalmente, debido a que existe resonancia por el suelo del Parque de la Reserva – Cercado de Lima, los resultados de amplificación son similares a los de La Punta –Callao.

- La amplificación sísmica del edificio “Mirasol” en los suelos del Parque de la Reserva – Cercado de Lima con el análisis Tiempo – Historia con el uso de acelerogramas sintéticos, son superiores a las amplificaciones sísmicas del análisis Modal – Espectral, presentando resultados mayores en el análisis Tiempo – Historia.
- La amplificación sísmica de los edificios en La Punta Callao, son superiores a los del Parque de la Reserva – Cercado de Lima, obteniendo mayores resultados en cuanto al análisis sísmico (Desplazamientos, Derivas y Fuerzas), debido a la presencia de estratos blandos en La Punta. Sin embargo, los edificios propuestos cumplen con los parámetros establecidos en la norma E-030-2018.
- Una forma de validar los resultados obtenidos en la presente investigación es la comparación de los resultados de los espectros de diseño y respuesta, con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Peruana E-030, AASHTO 2010 Y ASCE 7-10. En esta investigación se realizó ese comparativo teniendo resultados favorables en los distintos suelos propuestos.

6 CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda calcular el valor real del factor de reducción sísmica en función a la ductilidad, sobrerresistencia y amortiguamiento de la estructura, debido a que es posible que este factor haya sido sobrestimado.
- Se recomienda realizar el estudio con análisis dinámicos Tiempo Historia No Lineales con la finalidad de obtener resultados más precisos.
- Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales de los elementos usados en los modelos estructurales, es recomendable realizar ensayos para determinar dichas propiedades.
- Se recomienda considerar en todo análisis estructural aquellos elementos no estructurales que generen patologías estructurales tales como: torsión en planta, columna corta, etc.; debido al aporte considerable de rigidez que proporcionan.
- Se recomienda realizar este estudio en edificios con poca variabilidad de derivas respecto a los parámetros permisibles de la norma E-030 2018, con el fin de determinar el comportamiento.
- Es recomendable para edificaciones mayores a 12 niveles, realizar el análisis tiempo-historia con acelerogramas sintéticos que toman en cuenta los perfiles geotécnicos en el que se cimentará la estructura.
- Se recomienda, para futuras investigaciones, trabajar con una cantidad de mayor a siete registros de acelerogramas, con la finalidad de obtener resultados más confiables para el análisis tiempo-historia.
- Se recomienda, para futuras investigaciones, trabajar con edificios de menores y mayores alturas con la finalidad de observar el comportamiento sísmico a cortos y largos períodos.

- Se recomienda, para futuras investigaciones, realizar el análisis tiempo historia con edificaciones de clasificación A (Edificaciones Esenciales) y clasificación B (Edificaciones Importantes), ya que para este tipo de edificio se trabajaría con peligros uniformes distintos.

7 REFERENCIAS

- (1) KRAMMER, Steven (1996). “Geotechnical Earthquake Engineering”, Pretince-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- (2) Instituto Nacional de Defensa Civil, “sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo” (2006)
- (3) Ministerio de Salud, “Sismo 15 de agosto 2007” (2007)
- (4) Castillo Jorge y Alva Jorge, 1993:6-7
- (5) BRAY, J.D. (1995). “Geotechnical Earthquake Engineering”, The Civil Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press. Cap 25
- (6) Norma Técnica E-030, Diseño sismo resistente, 2018:6
- (7) Pinilla C. Correlación entre el perfil de velocidad de propagación de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2013.
- (8) Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Reporte de los distritos más vulnerables por el suelo ante un sismo de gran intensidad en Lima Metropolitana según niveles de aceleración. Lima: CISMID; 2015.
- (9) Instituto Nacional de Defensa Civil. Vulnerabilidad de suelos de Lima Metropolitana son catalogados como zonas de peligro ante grandes sismos. Lima: INDECI; 2018.
- (10) Agencia Peruana de Noticias. Tipos de suelos de Lima Metropolitana: seguridad para construir en las zonas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2017.
- (11) Centro de Estudios y Prevención de Desastres. Diseño del escenario sobre el impacto de sismo (DEIS) de gran intensidad de 8.8 grados en Lima Metropolitana y el Callao. San Isidro: Organización no gubernamental del distrito San Isidro/PREDES; 2018.
- (12) Asociación Peruana de Ingeniería Geotécnica. Estructuras Antisísmicas de suelos.

Lima: APGEO: Especialidad de Ingeniería Geológica de la PUCP; 2018.

- (13) Valenzuela F, Ruiz S, Reyes A, Terán A. Factores de amplificación de resistencia para el diseño de estructuras con asimetría en fluencia. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México; 2018.
- (14) Valencia J, Molina A, Correa V. Método de elementos finitos en dos dimensiones para estudio de propagación en potenciales electrostáticos. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira; 2015.
- (15) Villanueva A. Estudio de amplificación de ondas sísmicas en los suelos de Chorrillos. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 2013.
- (16) Benito B, Cabañas L. Caracterización del movimiento del suelo en ingeniería sísmica. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2015.
- (17) Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. Impacto de los desastres en América Latina y el caribe 1990-2013. Ginebra: UNISDR; 2015.
- (18) Pastor M, Fernández J, Mira P. Modelización del comportamiento sísmico de geoestructuras. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2014.
- (19) Molina F, Verzeletti G, Magonette E, Bono F, Renda V. Ensayo sísmico de estructuras. Asturias: Universidad de Oviedo; 2014.
- (20) Carreño E, Bravo B, Suárez A, Tordesillas M. Registro y tratamiento de acelerogramas. Lima: Instituto Geográfico Nacional del Perú; 2018.
- (21) Álvarez S. El efecto local sobre el movimiento sísmico del suelo: fenomenología y resultados recientes. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2015.
- (22) Schmidt V. Factores de amplificación del suelo en función del periodo obtenidos a

- partir de regresiones para Costa Rica. San José: Universidad de Costa Rica; 2013.
- (23) Schmidt V. Avances para estudios del riesgo sísmico a escala regional y local: aplicación a América Central y a la Bahía de Cádiz. Madrid: Universidad Politécnica de Cataluña; 2014.
 - (24) Sanz J. Técnicas de amplificación: fundamento teórico. Madrid: Hospital Clínico San Carlos; 2014.
 - (25) Reinoso E, Jaimes M. Criterios para obtener acelerogramas de diseño en sitios afectados por varias fuentes sísmicas usando como ejemplo el caso de terreno firme de México. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México; 2015.
 - (26) Chan S, Ruiz S, Montiel M. Escalamiento de acelerogramas y mínimo número de registros requeridos para el análisis de estructuras. Revista de Ingeniería Sísmica SMIS; 2017.
 - (27) Danna J. Caracterización y evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán; 2017.
 - (28) Flores F, Ayes J. Generación de acelerogramas sintéticos mediante el uso de wavelets, orientados a aplicaciones geotécnico-estructurales. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Petróleo; 2018.
 - (29) Godinez E, Perez L, Tena A. Metodología para la generación de acelerogramas. Cuernavaca: Universidad Autónoma de Chiapas sintéticos; 2013.
 - (30) Lopez S, Rodriguez I. Generación de acelerogramas sintéticos del terremoto de Tohoku en Japón considerando efectos de sitio. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2017.
 - (31) American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012.

- (32) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE STANDARD
ASCE/SEI 2010.