



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Análisis comparativo del comportamiento estructural basado en sollicitaciones sísmicas de una edificación de concreto armado según NTP-E030-2018, NCH433-2012 y NEC-SE-DS-2015”

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

AUTORES:

TERRONES MUÑOZ, LUIS IVÁN

VILCA TICLIA, ORLANDO

ASESOR:

CASTILLO CHAVEZ, JUAN HUMBERTO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

PRESIDENTE

Ing. Valdivieso Velarde, Alan Yordan

SECRETARIO

Ing. Farfán Córdova, Marlon Gastón

VOCAL

Ing. Castillo Chávez, Juan Huberto

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado a este momento importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante, por acompañarme en los buenos y malos momentos y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme en el transcurso de mi vida; quien, junto con mi madre, estoy seguro se sienten orgullosos de mis logros. A mi familia en general por estar a mi lado en todo momento. A mis docentes por sus enseñanzas que me han permitido culminar mi profesión. (Orlando vilca)

A Dios por no dejarme desistir en tiempo difíciles, a mi padre por siempre inculcarme buenos valores. A mis padres Iván Terrones y Sonia Muñoz, por todo su esfuerzo y entrega para hacer de mí una persona de bien, por su cariño y comprensión en todo momento, a mis hermanos Alexandra y Giuliano por ser el motor y motivo de mi esfuerzo. (Luis Terrones)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE, Segundo Vilca, mi MADRE, Sabina Ticlia y a mis hermanos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional, quienes me han ayudado a llegar hasta donde estoy ahora. Por último, a mi compañero de tesis porque en esta armonía de equipo lo hemos logrado y a mi asesor de tesis quién nos ayudó en todo momento, Ing. Humberto Castillo e Ing. Marlon Farfán. (Orlando vilca)

A Dios por darme la vida y la oportunidad de ser mejor cada día, a la Universidad César Vallejo por albergarme durante toda mi vida universitaria, a mis profesores por ayudar a cumplir esta meta y a mis padres, amigos y familiares por el apoyo incondicional. (Luis Terrones)

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Luis Iván Terrones Muñoz, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N°73076329; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y autentica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigente de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre del 2018

Luis Iván Terrones Muñoz
DNI: 73076329

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Orlando Vilca Ticia, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N°72888141; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y autentica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigente de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre del 2018

Orlando Vilca Ticia
DNI: 72888141

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento de los requisitos en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la tesis titulada: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL BASADO EN LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO SEGÚN LA NTP E.030-2018, NCH 433-2012 Y NEC-SE-DS-2015”, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado determina la importancia y la influencia que tiene un análisis comparativo de normas sismo resistentes de países que comparten similares características sismológicas y geotécnicas, por lo que constatamos que el análisis comparativo de normas es indispensable para detectar carencias y virtudes que garantizan un control adecuado del comportamiento estructural ante solicitaciones sísmicas.

Orlando Vilca Ticlia

Luis Iván Terrones Muñoz

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN	vii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
I. INTRODUCCIÓN	23
1.1. Realidad problemática.....	23
1.2. Trabajos previos	25
1.3. Teorías relacionadas al tema	32
1.3.1. Peligrosidad sísmica.....	32
1.3.2. Efectos de los sismos en los edificios	36
1.3.3. Condiciones generales de análisis y diseño sismo resistente	38
1.3.4. Modelamiento y análisis computacional Etabs v16.2.1	40
1.3.5. Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018	41
1.3.6. Norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-2015.....	56
1.3.7. Norma chilena de diseño sísmico de edificios, Nch433-2012	76
1.4. Formulación del problema	90
1.5. Justificación del estudio	90
1.6. Hipótesis.....	91
1.7. Objetivos	91
1.7.1. Objetivos general.....	91
1.7.2. Objetivos específicos.....	91
II. MÉTODO.....	93
2.1. Diseño de investigación	93

2.2.	Variables, operacionalización	94
2.2.1.	Variable:	94
2.3.	Población y muestra	95
2.3.1.	Población.....	95
2.3.2.	Muestra.....	95
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	95
2.4.1.	Técnica	95
2.4.2.	Instrumento.....	95
2.5.	Métodos de análisis de datos	95
2.6.	Aspectos éticos	97
III.	RESULTADOS	98
3.1.	Características del edificio	98
3.2.	Estructuración del edificio.....	99
3.3.	Pre dimensionamiento	99
3.3.1.	Columnas.....	99
3.3.2.	Vigas	101
3.3.3.	Losas aligeradas en dos direcciones.....	101
3.3.4.	Losa macizas	102
3.3.5.	Muros de concreto armado	102
3.4.	Calculo de cargas	103
3.5.	Análisis sísmico con la norma peruana NTP-E.030-2018.....	106
3.5.1.	Resultados del análisis, caso 1	106
3.5.2.	Resultados del análisis, caso 2	114
3.5.3.	resultados del análisis, caso 3.....	120
3.5.4.	Resultados del análisis, caso 4	126
3.6.	Análisis sísmico con la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.....	133
3.6.1.	Resultados del análisis, caso 1	134

3.6.2.	Resultados del análisis, caso 2	141
3.6.3.	Resultados del análisis, caso 3	147
3.6.4.	Resultados del análisis, caso 4	153
3.7.	Análisis sísmico con la norma chilena NCH433-2012.....	160
3.7.1.	resultados del análisis, caso 1	160
3.7.2.	Resultados del análisis, caso 2	167
3.7.3.	Resultados del análisis, caso 3	173
3.7.4.	Resultados del análisis, caso 4	179
3.8.	Comparación entre normas NTP-E.030-2018, NEC-SE-DS-2015 Y NCH433-2012....	186
3.8.1.	Comparación cualitativa.....	186
3.8.2.	Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Ecuador)	192
3.8.3.	Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Chile).....	200
3.8.4.	Comparación de espectros de respuesta elástica	208
3.8.5.	Ajuste de fuerza cortante de diseño.....	210
IV.	DISCUSIÓN	211
V.	CONCLUSIONES	214
VI.	RECOMENDACIONES	216
VII.	REFERENCIAS	218

ÍNDICE DE CUADROS

Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018

Cuadro 1: Factores de zona “Z”	42
Cuadro 2: Clasificación y perfiles de suelo.....	43
Cuadro 3: Factor de suelo.....	44
Cuadro 4: Periodos T_p y T_L	44
Cuadro 5: Categoría de la edificación y factor U	46
Cuadro 6: Sistemas estructurales.....	47
Cuadro 7: Coeficiente básico de reducción sísmica	48
Cuadro 8: Factor de irregularidad I_a	48
Cuadro 9: Factor de irregularidad I_p	49
Cuadro 10: Categoría y regularidad de las edificaciones	49
Cuadro 11: Estimación del peso sísmico	50
Cuadro 12: Límites de distorsión de entrepiso	56
Norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-2015	
Cuadro 13: Factores de zona “Z”	58
Cuadro 14: Clasificación de los perfiles de suelo	59
Cuadro 15 : Factores de sitio F_a	59
Cuadro 16: Factores de sitio F_d	60
Cuadro 17 : Factores de sitio F_s	60
Cuadro 18: Valores del coeficiente que depende del tipo de edificio C_t	65
Cuadro 19: Tipo de uso y coeficiente I de la estructura	65
Cuadro 20: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles	66
Cuadro 21: Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada.....	66
Cuadro 22: Irregularidades en planta	67
Cuadro 23: Irregularidades en planta.	68
Cuadro 24: Valores de inercias agrietadas.	70

Cuadro 25: Valores de coeficiente k	72
Cuadro 26: Limites de derivas de los pisos	75
Norma chilena de diseño sísmico de edificios, Nch433-2012	
Cuadro 27: Factor zona	77
Cuadro 28: Clasificación de perfil de suelos	77
Cuadro 29: Parámetros que dependen del tipo de suelo.....	78
Cuadro 30: Valor máximo de C.....	79
Cuadro 31: Categoría de edificación y coeficiente I	80
Cuadro 32: Coeficiente de reducción sísmica R y Ro	81
Cuadro 33: matriz de operacionalización de variables.....	94
Cuadro 34: rangos de clasificación de suelo y zona.....	98
Cuadro 35: casos de análisis para cada país	99
Cuadro 36: resumen pre dimensionamiento de columnas.....	100
Cuadro 37: carga muerta adicional y cargas vivas usadas para el cálculo del peso sísmico	104
Cuadro 38: resumen del peso total de la edificación 100%CM, 100%CV y 100%CVT ..	105
Cuadro 39: resumen del peso sísmico 100%CM+25%CV+25%CVT	105
Análisis sísmico con la norma peruana NTP-E.030-2018	
Cuadro 40: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NTP E.030	106
Resultados del análisis, caso 1	
Cuadro 41: Periodos de vibración y masas participativas	107
Cuadro 42: cortantes estáticos	108
Cuadro 43: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	108
Cuadro 44: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	109
Cuadro 45: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	109
Cuadro 46: cortantes dinámico	110

Cuadro 47: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	110
Cuadro 48: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	111
Cuadro 49: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)	111
Cuadro 50: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	113
Resultados del análisis, caso 2	
Cuadro 51: cortantes estáticos.	114
Cuadro 52: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	114
Cuadro 53: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	115
Cuadro 54: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	115
Cuadro 55: cortantes dinámico	116
Cuadro 56: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	116
Cuadro 57: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	117
Cuadro 58: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico).....	117
Cuadro 59: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	119
Resultados del análisis, caso 3	
Cuadro 60: cortantes estáticos	120
Cuadro 61: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	120
Cuadro 62: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	121
Cuadro 63: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	121
Cuadro 64: cortantes dinámico	122
Cuadro 65: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	122
Cuadro 66: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	123
Cuadro 67: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)	123
Cuadro 68: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	125
Resultados del análisis, caso 4	
Cuadro 69: cortantes estáticos.	126
Cuadro 70: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	126

Cuadro 71: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	127
Cuadro 72: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	127
Cuadro 73: cortantes dinámico	128
Cuadro 74: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	128
Cuadro 75: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	129
Cuadro 76: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico).....	129
Cuadro 77: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	131
Cuadro 78: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NTP E.030-2018	132
Análisis sísmico con la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015	
Cuadro 79: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NEC.....	133
Resultados del análisis, caso 1	
Cuadro 80: Periodos de vibración y masas participativas	134
Cuadro 81: cortantes estáticos	135
Cuadro 82: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	135
Cuadro 83: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	136
Cuadro 84: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	136
Cuadro 85: cortantes dinámico	137
Cuadro 86: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	137
Cuadro 87: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	138
Cuadro 88: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico	138
Cuadro 89: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	140
Resultados del análisis, caso 2	
Cuadro 90: cortantes estáticos.....	141
Cuadro 91: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	141
Cuadro 92: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	142
Cuadro 93: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	142

Cuadro 94: cortantes dinámico	143
Cuadro 95: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	143
Cuadro 96: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	144
Cuadro 97: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico).....	144
Cuadro 98: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	146
Resultados del análisis, caso 3	
Cuadro 99: cortantes estáticos	147
Cuadro 100: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	147
Cuadro 101: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	148
Cuadro 102: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	148
Cuadro 103: cortantes dinámico	149
Cuadro 104: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	149
Cuadro 105: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	150
Cuadro 106: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico	150
Cuadro 107: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	152
Resultados del análisis, caso 4	
Cuadro 108: cortantes estáticos	153
Cuadro 109: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	153
Cuadro 110: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)	154
Cuadro 111: control de derivas inelásticas de entre piso (estático).....	154
Cuadro 112: cortantes dinámico	155
Cuadro 113: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	155
Cuadro 114: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	156
Cuadro 115: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico).....	156
Cuadro 116: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	158
Cuadro 117: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NTP E.030-2018	159

Análisis sísmico con la norma chilena NCH433-2012

Cuadro 118: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NCH .. 160

Resultados del análisis, caso 1

Cuadro 119: Periodos de vibración y masas participativas 161

Cuadro 120: cortantes estáticos 161

Cuadro 121: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)..... 162

Cuadro 122: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático) 162

Cuadro 123: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)..... 163

Cuadro 124: cortantes dinámico 163

Cuadro 125: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico) 164

Cuadro 126: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico) 164

Cuadro 127: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico) 165

Cuadro 128: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño 166

Resultados del análisis, caso 2

Cuadro 129: cortantes estáticos 167

Cuadro 130: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)..... 167

Cuadro 131: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático) 168

Cuadro 132: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)..... 168

Cuadro 133: cortantes dinámico 169

Cuadro 134: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico) 169

Cuadro 135: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico) 170

Cuadro 136: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico) 170

Cuadro 137: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño 172

Resultados del análisis, caso 3

Cuadro 138: cortantes estáticos 173

Cuadro 139: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)..... 173

Cuadro 140: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático) 174

Cuadro 141: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático).....	174
Cuadro 142: cortantes dinámico.....	175
Cuadro 143: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	175
Cuadro 144: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	176
Cuadro 145: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico).....	176
Cuadro 146: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	178
Resultados del análisis, caso 4	
Cuadro 147: cortantes estáticos.....	179
Cuadro 148: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático).....	179
Cuadro 149: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático).....	180
Cuadro 150: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático).....	180
Cuadro 151: cortantes dinámico.....	181
Cuadro 152: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico).....	181
Cuadro 153: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)	182
Cuadro 154: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico).....	182
Cuadro 155: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño	184
Cuadro 156: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NCH433-2012	185
Cuadro 157: Ajuste de fuerzas Norma peruana.....	210
Cuadro 158: Ajuste de fuerzas norma Ecuatoriana	210
Cuadro 159: Ajuste de fuerzas norma Chilena.....	210

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pangea, su rotura y la formación de Laurasia y Gondwana.....	33
Figura 2: Corrientes de convección.....	33
Figura 3: Placas tectónicas	34
Figura 4: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura.....	36
Figura 5: Modelo de un sistema de un grado de libertad.	37
Figura 6: Amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distinto periodo fundamental de vibración.	37
Figura 7: Relación carga- deformación de una estructura.....	38
Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018	
Figura 8: mapa de zonificación sísmica del Perú	42
Figura 9: Espectro de diseño	54
Norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-2015	
Figura 10: Mapa de zonificación sísmica Ecuador.....	57
Figura 11: Espectro elástico de aceleraciones	61
Norma chilena de diseño sísmico de edificios, Nch433-2012	
Figura 12: Espectro inelástico de diseño	86
Análisis sísmico con la norma peruana NTP-E.030-2018	
Figura 13: Espectro elástico de diseño reducido caso 1	112
Figura 14: Espectro elástico de diseño reducido caso 2	118
Figura 15: Espectro elástico de diseño reducido caso 3	124
Figura 16: Espectro elástico de diseño reducido caso 4	130
Análisis sísmico con la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015	
Figura 17: Espectro elástico de diseño reducido caso 1	139
Figura 18: Espectro elástico de diseño reducido caso 2	145
Figura 19: Espectro elástico de diseño reducido caso 3	151
Figura 20: Espectro elástico de diseño reducido caso 4	157
Análisis sísmico con la norma chilena NCH433-2012	

Figura 21: Espectro elástico de diseño reducido caso 1	165
Figura 22: Espectro elástico de diseño reducido caso 2	171
Figura 23: Espectro elástico de diseño reducido caso 3	177
Figura 24: Espectro elástico de diseño reducido caso 4	183
Figura 25: comparación cualitativa entre normas NTP E.030-2018 Y NEC-SE-DS-2015.....	188
Figura 26: comparación cualitativa entre normas NTP E.030-2018 Y NCH433-2012	191
Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Ecuador)	
Figura 27: comparación del corte basal estático (eje x-x).....	192
Figura 28: comparación del corte basal estático (eje y-y).....	192
Figura 29: comparación del corte basal dinámico (eje x-x)	193
Figura 30: comparación del corte basal dinámico (eje y-y)	193
Figura 31: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje x-x)	194
Figura 32: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje y-y)	194
Figura 33: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x) .	195
Figura 34: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x) .	195
Figura 35: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático (eje x-x)....	196
Figura 36: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático eje (y-y)....	196
Figura 37: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje x-x). 197	
Figura 38: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje y-y). 197	
Figura 39: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje x-x).....	198
Figura 40: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje y-y).....	198
Figura 41: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje x-x).....	199
Figura 42: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje y-y)	199
Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Chile)	
Figura 43: comparación del corte basal estático (eje x-x).....	200
Figura 44: comparación del corte basal estático (eje y-y).....	200

Figura 45: comparación del corte basal dinámico (eje x-x)	201
Figura 46: comparación del corte basal dinámico (eje y-y)	201
Figura 47: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje x-x)	202
Figura 48: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje y-y)	202
Figura 49: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x) .	203
Figura 50: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x) .	203
Figura 51: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático (eje x-x)....	204
Figura 52: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático eje (y-y)....	204
Figura 53: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje x-x) .	205
Figura 54: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje y-y) .	205
Figura 55: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje x-x).....	206
Figura 56: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje y-y).....	206
Figura 57: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje x-x).....	207
Figura 58: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje y-y)	207
Figura 59: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 1	208
Figura 60: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 2.....	208
Figura 61: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 3.....	209
Figura 62: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 4.....	209

RESUMEN

Las normas sísmo resistentes de Perú, Ecuador y Chile tienen como finalidad, ante un sismo, preservar la vida humana y garantizar la continuidad funcional de las edificaciones; en tal sentido resulta pertinente realizar investigaciones que contribuyan con el mejoramiento de nuestra norma. En ese sentido, el objetivo de la presente investigación es realizar un análisis comparativo de las normas la NTP E.030-2018, NCH 433-2012 y NEC-SE-DS-2015. El estudio se realizó teniendo en cuenta una edificación de concreto armado basado en muros estructurales ubicado en las zonas limítrofes de Perú-Ecuador y Perú-Chile, considerando similares parámetros de zona y características de suelo, el análisis consideró para la norma peruana una Zona 4 con suelo S1 y S2, seguidamente una Zona 3 con suelo S1 y S2; para la norma Ecuatoriana una Zona V con suelo tipo D y tipo C, seguidamente una Zona IV con suelo tipo D y tipo C; para la norma chilena una Zona 3 con suelos tipo D y tipo B, seguidamente una Zona 2 con suelo tipo D y tipo C, obteniéndose, para el análisis con la NTP E.030-2018, los valores máximos en el caso 2, teniéndose un desplazamiento máximo de 0.4099 cm y un valor de cortante basal de 1144.747 Tn; para el análisis con la NEC-SE-DS-2015, los valores máximos en el caso 4, siendo estos un desplazamiento máximo de 0.442 cm y un valor de cortante basal de 1051.471 Tn; para el análisis con la NCH433-2012, los valores máximos en el caso 2, siendo estos un desplazamiento máximo de 0.455cm y un valor de cortante basal de 732.638 Tn. se concluye que la NTP E.030-2018 es la más exigente en valores de diseño, pero no en cuanto a metodología de análisis, es decir que en lo que concierne al coeficiente de reducción sísmica (R), la norma chilena y ecuatoriana reducen más la respuesta con respecto a la norma peruana, es decir que tanto la norma ecuatoriana como la norma chilena consideran a la estructura con mayor capacidad de disipar energía inelásticamente. En lo que se refiere al cortante basal, la norma peruana es la que presenta mayores valores con respecto de las otras dos normas, lo cual quiere decir que la estructura es más resistente porque se diseña para fuerzas mayores. el análisis comparativo de normas es indispensable para detectar carencias y virtudes que garantizan un control adecuado del comportamiento estructural ante sollicitaciones sísmicas.

Palabras clave: análisis, pseudo-aceleración, cortante, derivas, desplazamientos.

ABSTRACT

The earthquake resistant regulations of Peru, Ecuador and Chile are aimed at, that in an earthquake, preserve human life and ensure the functional continuity of buildings, in this sense it is pertinent to carry out research that contributes to the improvement of our norm. In that sense, The objective of this research is to carry out a comparative analysis of the standards of NTP E.030-2018, NCH 433-2012 and NEC-SE-DS-2015. The study was carried out taking into account a reinforced concrete building based on structural walls located in the border areas of Peru-Ecuador and Peru-Chile, considering similar zone parameters and soil characteristics, the analysis considered for the Peruvian norm a Zone 4 with soil S1 and S2, then a Zone 3 with floor S1 and S2; for the Ecuadorian standard a Zone V with soil type D and type C, followed by a Zone IV with floor type D and type C; for the Chilean standard a Zone 3 with soils type D and type B, followed by a Zone 2 with floor type D and type C. obtaining, for the analysis with NTP E.030-2018, the maximum values in case 2, having a maximum displacement of 0.4099 cm and a basal shear value of 1144.747 Tn; for the analysis with the NEC-SE-DS-2015, the maximum values in case 4, these being a maximum displacement of 0.442 cm and a basal shear value of 1051.471 Tn; for the analysis with NCH433-2012, the maximum values in case 2, these being a maximum displacement of 0.455cm and a basal shear value of 732.638 Tn. It is concluded that the NTP E.030-2018 is the most demanding in design values, but not in terms of analysis methodology, that is to say that as far as the coefficient of seismic reduction (R) is concerned, the Chilean and Ecuadorian norm reduce plus the answer with respect to the Peruvian norm, that is to say that both the Ecuadorian norm and the Chilean norm consider the structure with the greatest capacity to dissipate energy inelastically. With regard to the basal shear, the Peruvian standard is the one that presents higher values with respect to the other two standards, which means that the structure is more resistant because it is designed for larger forces. The comparative analysis of standards is essential to detect deficiencies and virtues that guarantee an adequate control of the structural behavior before seismic solicitations.

Keywords: analysis, pseudo acceleration, shear, drifts, displacements.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La costa del pacífico desde Alaska pasando por centro américa hasta llegar a Chile, constituyen cerca del 90% de los sismos reportados en todo el mundo (prensa libre, 2018), ya que américa latina y el caribe se encuentran dentro de una zona altamente sísmica a la que se conoce como cinturón de fuego, esta zona presenta una gran recurrencia de sismos que recorren el pacífico de sur a norte, en cuyo recorrido devastador se encuentra con Chile, Perú, Ecuador, Colombia, México, y todos los demás países centroamericanos, como ejemplo de lo devastadora que significa ser esta zona, en cuanto a la ocurrencia de sismos, está el terremoto del 31 de mayo de 1970 en Perú que dejó un saldo de 70 000 víctimas de las cuales 50 000 se reportaron fallecidos y 20 000 desaparecidos (La Republica, 2007), el terremoto en Chile el 22 de mayo de 1960 que provocó la muerte de 3 000 personas (El Nuevo Herald, 2010), y el terremoto en Ecuador el 12 de diciembre de 1979 cuyo saldo de muertes supero los 800 (NTR, 2016). Esto sin mencionar la recurrencia de sismos de magnitud considerable en la última década en américa latina.

Estella Minaya, directora del Centro Regional de sismología para América del Sur en el año 2010, afirmó que Sudamérica presenta un alto índice de peligro ya que se encuentra inmerso en el cinturón de fuego, zona de subducción en la cual la placa de Nazca se introduce por debajo de la placa sudamericana, cuyo roce genera una acumulación de energía que posteriormente es liberada mediante la ruptura de una de ellas, donde las zonas más expuestas son los países de Chile, Perú y Ecuador (El Nuevo Herald, 2010).

El peligro sísmico, el cual es propio de la naturaleza; y la vulnerabilidad, propia de las edificaciones, nos ayudan a comprender de mejor manera el riesgo al que se enfrentan las edificaciones. Esta situación ha llevado a países con gran recurrencia de sismos como lo son Perú, Ecuador y Chile, a realizar estudios y aplicar tecnologías que permitan describir de mejor manera las principales causas de riesgo en zonas de posible ocurrencia de terremotos. De esta manera, el crecimiento en el desarrollo de la investigación de este fenómeno, ha permitido desarrollar normativas que se adaptan a las condiciones sísmicas de cada país. Estas normas por lo general tienen como objetivo reducir el índice de vulnerabilidad de las

edificaciones y por ende el riesgo, mediante parámetros y metodologías de análisis y diseño, garantizando que las edificaciones sean duraderas y resistentes ante posibles sismos de magnitud moderada o severa, generando un mayor grado de confianza en la población al diseñar sus edificaciones siguiendo los procedimientos y requisitos de dichas normativas.

Sin embargo, cada vez los sismos se presentan con mayor intensidad lo cual ha llevado a que las investigaciones continúen, análogamente se ha ido actualizando y mejorando dichas normas, fortaleciendo sus parámetros a fin de aumentar el nivel de exigencia para lograr edificaciones más seguras (Jaramillo y Rocha, 2013). Esta tarea es muy ardua y para llevarla a cabo y obtener buenos resultados ha sido necesario que los investigadores se apoyen en otras normas, recopilando datos y parámetros sísmicos de países más avanzados en la materia, que comparten similitudes con respecto al tema de estudio, y posteriormente adaptarlos a nuestras condiciones, tal como es el caso de esta investigación.

Tras el terremoto ocurrido en Perú el año 2007, el 24 de enero del 2016 se aprobó la norma E.030-2016, la cual fue mejorada considerablemente con respecto a la E.030-2003, por otro lado a causa del terremoto ocurrido en Chile el año 2010, se actualizó la norma chilena NCh-2009 resultando en la NCh433-2012, la cual incorporó parámetros más rigurosos con respecto a su predecesora, la normativa ecuatoriana NEC-2011 no se quedó atrás ya que al recibir constantes críticas sobre su confiabilidad técnica, esta fue actualizada en la norma NEC-SE-DS-20015.

Sin embargo, desde la publicación de la Norma Técnica Peruana de diseño sísmo resistente (2016), han surgido diversas opiniones acerca de su confiabilidad técnica generando controversia entre los estudiosos de la materia, hoy en día los Ingenieros Civiles aceptan la norma de diseño sísmico actual y la aplican en los diseños estructurales de las edificaciones a construir.

No obstante, existen profesionales que critican dicha norma argumentando que ésta aún posee algunas fallas que pueden ser mejoradas y que hay consideraciones que no cuentan con un sustento técnico adecuado en algunas de sus secciones, solo por mencionar un ejemplo es el caso del espectro de diseño, que resulta en un sobredimensionamiento para las estructuras de periodos cortos, lo que a su vez significa mayores costos a los que se requeriría

realmente (Alfaro, 2017, p.18), este es uno de los motivos por el cual el mes de septiembre del presente año entra en vigencia la nueva norma E.030 (2018), realizando modificaciones en este y otros aspectos, tales como el cálculo de irregularidades, un nuevo control de derivas, etc.

De esta manera, con las últimas actualizaciones en las normas: peruana (2018), ecuatoriana (2015) y chilena (2012), se dispone de las últimas consideraciones en cuanto a la evaluación de edificaciones sismo resistente de cada país en mención.

En tal sentido esta investigación tiene a bien evaluar el nivel de exigencia en cuanto a metodología y parámetros de la NTP E.030-2016 mediante un estudio comparativo respecto a las normas de Chile y Ecuador aplicadas a un edificio de concreto armado, y poder determinar aspectos o parámetros que en posteriores investigaciones ayuden a mejorar nuestra norma teniendo como base esta investigación, así como la normativa respectiva de cada país de estudio, especialmente la norma chilena, cuyo país es considerado uno de los más avanzados en lo que se refiere a diseño sismo resistente en toda América del sur.

1.2. Trabajos previos

Alfaro (2017), en la tesis titulada “Estudio Comparativo de la Norma Peruana E.030 Diseño Sismoresistente y la Norma Chilena NCH433 Diseño Sísmico de Edificios, y su Aplicación a un Edificio de Concreto Armado” tuvo como finalidad el estudio comparativo de las normas sísmicas peruana E.030 y chilena NCh433 aplicado a un edificio multifamiliar de concreto armado de cuatro niveles de tipo dual. La estructuración, pre dimensionamiento y geometría de los elementos estructurales que conforman la estructura de edificación se consideraron iguales para ambos análisis; la estructura se consideró como irregular. Luego de modelar la edificación en el programa Etabs v15.2.2 se obtuvieron los periodos fundamentales (T) de la estructura aplicando las cargas estáticas. Con los periodos fundamentales de la estructura (T) obtenidos se calculó el espectro de diseño con la norma NCh433, lo cual presentó una diferencia con la norma E.030 ya que se calculó por tabulación de periodos n.

Se ingresaron los espectros de diseño en el programa Etabs para ambos análisis sísmicos modales. Se obtuvieron las deformaciones inelásticas para el caso de la norma E.030 y las deformaciones elásticas para el caso de la norma NCh433; también se obtuvieron los desplazamientos laterales y las derivas de entrepiso. Con estos resultados y de acuerdo al procedimiento de cálculo de cada norma se realizó una comparación y discusión de resultados. Finalmente, se concluyó que con la norma sísmica NCh433, según su procedimiento de análisis y el método para calcular el espectro de diseño, se obtuvieron resultados menores en comparación con la norma E.030, tanto en deformaciones laterales como en las derivas de entrepiso.

Canchig (2016), en la tesis titulada “Análisis comparativo del diseño estructural de un proyecto de vivienda en hormigón armado aplicando las Normas del Código Ecuatoriano de Construcción (CEC 2002) y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015)”, tuvo como objetivo realizar el análisis comparativo del diseño estructural utilizando cada norma, cuantificando las dimensiones y las cuantías de los refuerzos y también comparando la vulnerabilidad sísmica de cada edificación.

La investigación concluyó que el factor de reducción de respuesta sísmica es menor para la norma NEC con respecto a la norma CEC según las normas y códigos estudiados, implicando esto un aumento de 24% de cortante basal; lo cual genera un incremento en las cuantías de acero y volumen de hormigón, lográndose un incremento en los costos del proyecto planteado al utilizar el NEC 2015 con relación al CEC 2002.

Avendaño (2016), en la tesis titulada “Análisis sismo resistente de un edificio de cinco niveles ubicado en la comuna de Tóme”, tuvo como objetivo realizar un análisis de comportamiento sísmico del Edificio de Hormigón armado de acuerdo a la norma NCH 433-2009, también diseñar la franja de loseta central de hormigón armado de acuerdo a norma. Teniendo en cuenta tres modelos para el análisis modal espectral.

La investigación concluyó que los desplazamientos para cada uno de los modelos son prácticamente iguales en el eje X y menores a los obtenidos en el sentido del eje Y, aduciendo este fenómeno a la existencia de una mayor rigidez en el eje X; además también se concluyó que para las solicitaciones de corte y momento flector producto de a torsión de las dos torres

laterales en la losa central y su posterior verificación como viga de gran altura, fue posible indicar que solo la estructura no falla si solo se considera a las dos primera barras como armadura de borde; por tal motivo el diseño establecido en el proyecto es el correcto.

García y Moscoso (2016), en la tesis titulada “Análisis comparativo de la respuesta sísmica de distorsiones de entrepiso - deriva y fuerzas cortantes de una edificación de concreto armado con sistema dual, mediante los análisis sísmico dinámico, aplicado con la norma de diseño sismo resistente E.030 del 2016 y la norma chilena de diseño sísmico de edificios Nch 433.of1996 modificada en 2012”, tuvieron como objetivo principal efectuar un estudio que permite comparar el comportamiento sísmico mediante un procedimiento dinámico modal espectral usando la NTP E.030-2016 y la NCh 433.Of1996-2012 en un edificio de hormigón armado de sistema dual, esta comparación se basó en datos obtenidos de desplazamientos laterales, distorsiones de entrepiso, y cortantes basales calculados haciendo uso de las dos normas antes mencionadas.

La investigación concluyó que la norma peruana es más rigurosa en lo que se refiere a las derivas de entrepiso, esto se produjo por los reajustes que se hicieron posteriormente al análisis sísmico modal espectral. De igual manera los desplazamientos laterales obtenidos en la norma chilena fueron menores a los propuestos en la norma peruana. Con respecto a las distorsiones de entrepiso, la norma chilena presenta menores restricciones ante los valores admisibles propuestos por la norma peruana. Por otro lado, con respecto a la cortante basal se concluyó que los resultados en base a la norma chilena son mayores a los obtenidos en la aplicación de la norma peruana. Asimismo, se concluyó que el parámetro de suelo influye significativamente en la elaboración del espectro de diseño, lo cual influye en la variación de resultados obtenidos en ambas normas.

Gonzales y Veli (2016), en la tesis titulada “Evaluación del comportamiento sísmico de una edificación con sistema MDL aplicando la NTP E.030-2016 y la norma chilena 433-2012”, tuvieron como objetivo principal evaluar cómo se comporta una edificación con sistema de muros de ductilidad limitada aplicado en dos casos en Chile y en Perú, basándose en sus respectivas normas cumpliendo con los requerimientos mínimos dispuestos por cada norma. Esta investigación se basó en el estudio de parámetros presentes en cada norma tales como: la zonificación, parámetros de sitio, coeficiente de amplificación sísmica, el factor e reducción sísmica, a fin de determinar la zona de mayor peligro sísmico, el desempeño

sísmico basado en la cortante basal, el desempeño sísmico de la estructura, y el grado de seguridad estructural respectivamente.

La investigación concluyó que los valores de las distorsiones de entrepiso de cada caso, cumplen con las especificaciones mínimas dispuestas por cada norma tanto peruana como chilena. De igual manera se concluyó que dentro del parámetro de zonificación la norma peruana tiene un valor de 0.45g, mientras que la norma chilena un valor de 0.3g, por lo que se presenta un mayor peligro sísmico en la norma peruana. Asimismo, se concluyó que los parámetros de sitio no sufrieron variaciones entre las dos normas, por otro lado, el coeficiente de amplificación sísmica según la norma chilena es de 0.253 siendo menor que el de la norma peruana, lo cual representa que la cortante basal será menor con respecto a la NTP-E.030, por ende, tendrá un mejor comportamiento sísmico. Por otro lado, se cumplió satisfactoriamente con las derivas de entrepiso dispuestas por cada norma. Asimismo, se concluyó que la norma chilena es más rigurosa que la norma peruana en los que respecta a los parámetros de diseño sismo resistente.

Jarrín y Romo (2015), en la tesis titulada “Comparación de los capítulos para diseño sismo resistente de la norma american society of civil engineers 7 2010 (ASCE 7-10) con la norma ecuatoriana de la construcción del 2011 (NEC-11), por medio de su aplicación en el diseño estructural del proyecto de un mercado en la parroquia de Guayllabamba”, tuvieron como objetivo principal efectuar una comparación mediante el análisis sísmico basándose en los parámetros dispuestos en las normas ASCE 7-10 y la NEC-11, con respecto al análisis y diseño sísmico de pórticos que resisten a momentos, además de realizar el análisis de cada parámetro dispuesto por cada norma, las semejanzas y similitudes en los parámetros de cada norma, y la elaboración del diseño estructural del mercado de Guayllabamba.

La investigación concluyó que la variación de las aceleraciones en los periodos estructurales de los espectros generados genera un incremento de la cortante basal de diseño, ello implica mayores demandas de acero, incremento de secciones, etc. Por otro lado, el autor basándose en el análisis recomienda que en lugar de considerar en una sola norma condiciones para diseñar y detallar los elementos estructurales, se podría disponer que para el detallado de dichos elementos se haga mención en su totalidad al código del Instituto Americano del Concreto (ACI) vigente, ya que dicho instituto realiza constantemente investigaciones sobre

el tema a fin establecer condiciones para mejorar el comportamiento de concreto armado que se lograría mediante un óptimo detallamiento de los elementos estructurales, por otro lado con respecto a las derivas, recomienda que se debería limitar tanto por el tipo de sistema estructural resistente, como también por la importancia que esta tiene, así se estaría priorizando las estructuras que por filosofía deberían permanecer operativas después de ocurrido el sismo.

León y Gutiérrez (2018), en la tesis titulada “Comparación estructural y económica de edificio de 7 pisos ante cambio de la norma E.030 diseño sismo resistente”, tuvieron como objetivo principal realizar un análisis sísmico de una edificación de concreto armado mediante la NTP E.030-2003 y la NTP E.030-2016, y posteriormente el diseño de los elementos estructurales, basándose en las solicitaciones sísmicas y comparando la respuesta de la estructura por medio de desplazamientos, fuerzas cortantes, y fuerzas internas de los elementos estructurales, además de una comparación desde un punto de vista económico entre la estructura diseñada mediante la NTP del 2003 y del 2016.

La investigación concluyó que al realizar el análisis con la norma del 2016 se obtuvo una deriva máxima de 0.0038 lo cual está por debajo de la deriva máxima de la norma de 0.007, además se concluyó que el parámetro sísmico de mayor influencia en los resultados del análisis fue el factor que representa la aceleración de la gravedad en el suelo (Z) que pasó de 0.40 a 0.45, lo cual significó un incremento de la cortante basal que a su vez llevo a generar un diseño nuevo de la estructura; por otro lado, los esfuerzos internos producidos en placas, vigas y columnas fueron mayores en un rango de 10% y 20% con respecto a los valores obtenidos aplicando la norma del 2003.

Rivera (2015), en la tesis titulada “Determinación de parámetros espectrales de registros sísmicos chilenos en función de propiedades características del suelo”, tuvo como objetivo buscar la relación entre los parámetros espectrales (velocidad de onda de corte en los 30 primeros metros y el periodo que predomina en el suelo según el método de Nakamura) con los factores y periodos que conceptualicen el espectro de Newmark-Hall, que fuera calculados mediante los diversos ya existentes y nuevos métodos propuestas en esta investigación. Para realizar análisis se tiene en consideración las definiciones existentes en la norma americana ASCE 7-10, así como también otras más de estudios previos. También

se propone que se considere el espectro de Newmark-Hall teniendo en consideración los registros sísmicos, tanto como para la pseudoaceleración espectral como para el espectro de pseudovelocidad, logrando así la determinación de parámetros espectrales.

Dentro de los resultados obtenidos se corrobora que el parámetro de velocidad de onda a los primeros 30 metros, a diferencia del periodo de suelo según el método de Nakamura, no tiene relación con los parámetros espectrales de Newmark-Hall; evidenciándose que los espectros de diseños elaborados con estas relaciones fueron iguales o semejantes a los espectros de diseño según valor del periodo del suelo (según método Nakamura) y también a los espectros de diseño de la norma chilena NCh 433

Guzman (2015), en la tesis titulada “Diseño sísmo resistente de edificios de hormigón armado (cálculo de periodos de vibración y niveles de agrietamiento)”, se planteó realizar una comparación entre las normas de diseño sísmo resistente de Ecuador, México, Colombia, Perú, Chile, Nueva Zelanda y Estados Unidos, destacando en dicha investigación los criterios de agrietamiento que establece cada norma con relación al cálculo del periodo de vibración, a fin de establecer los parámetros más influyentes en la respuesta estructural de un edificio. La muestra en estudio estuvo representada por 4 edificios de 5, 10, 15 y 20 pisos respectivamente cuyo sistema estructural se basó en pórticos resistentes a momentos, sistema dual y muros de corte, asimismo se aplicó en tres tipos de suelo diferentes. La etapa de diseño y análisis se realizó mediante procedimientos de análisis estáticos y dinámicos.

La investigación concluyó que el factor más influyente en el periodo de vibración de la estructural está relacionado estrechamente con el agrietamiento de los elementos. Por otro lado, se concluye que las normas que involucran un factor de agrietamiento en la etapa de análisis y diseño de sus estructuras, es la normativa de Ecuador y la de Estados Unidos, mientras que las otras normas en mención no lo consideran. Presentándose así menores valores del periodo de vibración al aplicar las normas que no consideran este factor de agrietamiento, con respecto a las que, si lo consideran, esto se debe a la variación de la rigidez de los elementos en cuestión.

Valareso, Suárez, Zapata y Morocho (2014), en la investigación titulada “Análisis comparativo de pórticos diseñados con varios códigos sísmoresistentes”, tuvieron como

objetivo aplicar la metodología de diseño sismo resistente de los códigos de diseño de Colombia, Chile, Ecuador, Perú, Venezuela y el IBC, cuya muestra para la investigación fueron 4 pórticos planos de 4, 6, 8 y 12 pisos, para el análisis se tuvo en cuenta el diseño directo basado en desplazamientos y el diseño basado en iguales desplazamientos, de los cuales resultaron 32 diseños distintos, posteriormente el desempeño de la estructura fue verificada mediante un análisis no lineal (Tiempo Historia), la comparación se basó la elaboración del espectro de diseño década código, en los desplazamientos máximos, derivas máximas, además de una comparación económica basado en la cantidad de concreto y acero requeridos para los elementos estructurales.

La investigación concluyó que los pórticos diseñados con normativa peruana y colombiana presentaron mayor demanda de secciones y refuerzo, lo cual incrementa significativamente los costos, por otro lado se concluyó que el factor “R” no garantiza el cumplimiento de desplazamientos de las estructuras, de igual manera se concluyó que los métodos basados en fuerzas los códigos de Venezuela y Chile predicen de mejor manera el comportamiento de la estructura, mientras que el que se basa en desplazamientos presentan diseños más económicos.

Jaramillo y Rocha (2013), en la tesis titulada “Comparación entre la norma ecuatoriana de la construcción 2011 y la norma american society of civil engineers 07-10 para diseño sismo-resistente: corte basal”, tuvieron como objetivo principal analizar el grado de exigencia en lo que respecta a los parámetros y especificaciones técnicas de la norma ecuatoriana (NEC-11) con respecto a la norma americana (ASCE07-10), basándose en un análisis cualitativo entre estas dos normas, enfocándose en las pautas para determinar las fuerzas sísmicas (cortante basal), y los espectros de respuesta sísmica que propone cada norma.

Por otro lado, se realizó una comparación cuantitativa basada en los valores obtenidos del Cortante Basal, teniendo como base la ubicación, el tipo de sistema, estructural, el tipo de suelo en el cual se asienta, y el uso destinado para dicha estructura. La investigación concluye que los procedimientos para diseño sísmico de la norma ASCE07-10 son más rigurosa que la norma NEC-11, principalmente por las restricciones en cuanto a las irregularidades (en planta y elevación), la categorización de las estructuras en función al riesgo sísmico de la zona, los rangos mínimos del coeficiente C_s del cortante basal, y el ajuste de fuerzas para el mismo.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Peligrosidad sísmica

Ecuador, Perú y Chile están ubicados geográficamente en una zona que se conoce como una de las que presentan mayor grado de peligrosidad sísmica del mundo, por motivo de ser parte del cinturón de fuego, esto obliga que los proyectistas estructurales tengan que diseñar sus edificaciones reconociendo la importancia de los efectos del sismo y el comportamiento estructural de la edificación frente a este.

Se entiende como Peligro Sísmico, el probable suceso de movimientos dentro de un período de tiempo y área determinada, producto de la fuerza de las ondas sísmicas cuyos parámetros: desplazamiento, velocidad, aceleración, magnitud o intensidad son cuantificados, para poder realizar posteriormente un análisis de los fenómenos que se suscitan desde el hipocentro hasta el epicentro. Para un correcto diseño sísmico de una edificación, es prescindible conocer los parámetros antes mencionados, especialmente la máxima aceleración de ondas de sismo que se produzca en el suelo donde se ejecutara el proyecto, (Aguiar, 2008, p. 23).

Es importante saber que por más fuerte que sea un sismo, este de por sí solo no es el que mata, lo que mata son los edificios que colapsan debido a que han sido diseñados y construidos sin los criterios mínimos de diseño sismo resistente.

1.3.1.1. Origen de los sismos

Para tener una idea de cómo y dónde se originan los sismos, previamente debemos conocer acerca de la deriva continental, la composición de la tierra y placas tectónicas. El primer concepto hace referencia a que inicialmente todos los continentes eran parte de una sola masa la cual se conoce como Pangea, pero como esta masa está en constante movimiento, generó la fractura y su posterior ruptura siendo la primera en el área de Groenlandia provocando su separación de Europa, como resultado se originaron dos nuevos continentes conocidos como Laurasia y Gondwana (Encyclopædia Britannica Inc). Hasta el día de hoy este constante y lento desplazamiento de los continentes continúa y a este fenómeno se le conoce como deriva continental (figura 1).

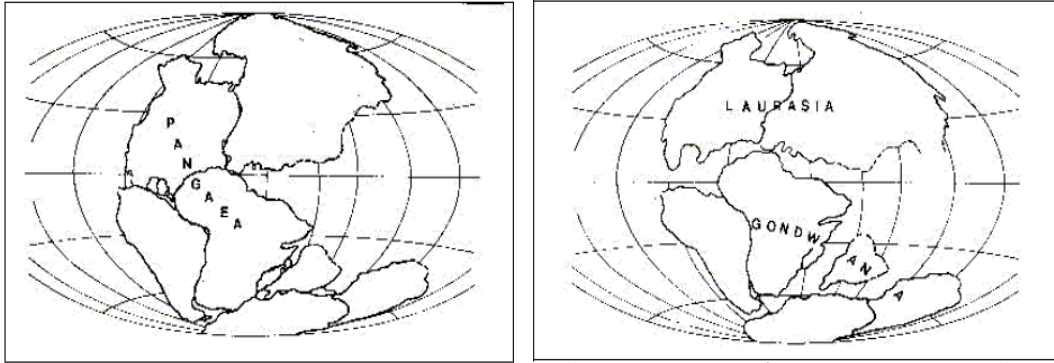


Figura 1. Pangea, su rotura y la formación de Laurasia y Gondwana
 Fuente: BBC, Mikkel Juul Jensen / Bonnier Publications / SPL

La tierra está compuesta por una serie de capas sólidas, líquidas y semilíquidas. El centro de la tierra está compuesto por una parte sólida, la capa de material que lo cubre es líquido y sobre ella se encuentra la corteza terrestre que es sólida con un espesor variable en toda su longitud siendo más abultada bajo las montañas y más reducido bajo el mar. El centro de la tierra está compuesto por materiales y minerales a muy altas temperaturas, es una gran fuente de calor sobre la que se halla el manto líquido, cuyo material está en continuo movimiento, el material de abajo sube y el material de arriba baja (figura 2), a este fenómeno se denomina corriente de convección y es la causa para que los continentes continúen moviéndose en diferentes direcciones (Aguiar, 2008, p. 3).

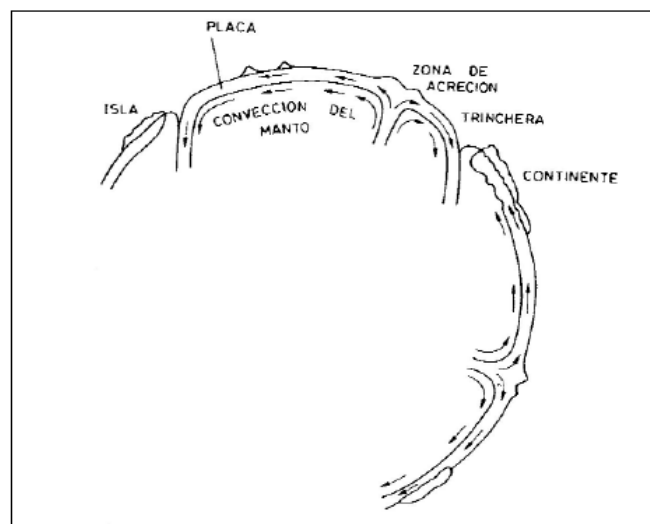


Figura 2. Corrientes de convección.
 Fuente: Aguiar, 2008.

Por otro lado, las placas tectónicas son grandes masas de tierra fracturadas en constante movimiento (figura 3), es aquí en donde se llevan a cabo grandes liberaciones de energía producto del roce o colisión de estas placas, Al chocar dos placas, una de las dos cede y se va para abajo con dirección al manto; la región de la zona de choque se denomina zonas de subducción. Por otra parte, en la zona donde no existe el choque, que es en los dorsales marinos, aparece una nueva superficie terrestre. De esta forma se mantiene el equilibrio en el mundo, por las zonas de subducción desaparece la superficie creada y por los dorsales marinos aparece nuevas superficies (BBC, 2017).



Figura 3. Placas tectónicas
 Aguiar, 2008, p. 5

El constante movimiento que existe entre las placas en ciertas ocasiones produce liberaciones de energía producto de la fricción, por lo general estas liberaciones se perciben como sismos. El sitio específico donde se genera la ruptura y su posterior liberación de energía, se denomina “foco”. La profundidad de dicho foco, y sus coordenadas geográficas, permiten conocer la distancia que hay entre una determinada zona hacia el centro de ruptura; la proyección del foco hacia la superficie de la tierra se conoce como epicentro y es el punto donde el sismo se propaga sobre la superficie (Grases, 2014, p. 21).

1.3.1.2. Peligro sísmico en Perú

Perú está ubicado geográficamente en una zona que se conoce como una de las que presentan mayor grado de peligrosidad sísmica del mundo, por motivo de ser parte del cinturón de fuego, donde convergen las placa de nazca y la placa sudamericana, por lo tanto, es necesario conocer el comportamiento probable de este peligro en un área determinada a fin de planificar y mitigar los efectos que podrían producirse en el futuro. La manera de conocer este comportamiento, es a través de la evaluación del peligro sísmico. Esto se logra usando diferentes bases de datos de sismos y leyes de atenuación, como resultado se tiene un mapa de peligro sísmico compuesto de iso-aceleraciones, que corresponden a las máximas aceleraciones en el suelo como un porcentaje de la aceleración de la gravedad (anexo 1 y 2).

1.3.1.3. Sismicidad en Perú

La sismicidad en el territorio peruano es debida al proceso de subducción de placas y a la dinámica de cada una de las unidades tectónicas presentes en el interior del continente. El anexo 3 presenta el mapa de la actividad sísmicas ocurrida en Perú entre 1960 al 2012 ($M_w > 4.0$). Los sismos han sido diferenciados por su rango de profundidad focal: superficiales ($h < 60$ km), intermedios ($61 < h < 350$ km) y profundos ($h > 351$ km) (IGP, 2014, p. 10).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2014, p. 10), “en Perú la información sobre la sismicidad histórica data del año 1500 y la calidad y veracidad de su información dependerá de la distribución y densidad poblacional en las regiones afectadas por los sismos. Para estos eventos se conoce la fecha de ocurrencia, entonces pueden ser utilizados para evaluar la tasa de recurrencia y la sismicidad de una determinada región. La recopilación de esta información fue hecha por Silgado (1978) y Dorbath et al (1990); siendo mayor para eventos ocurridos frente a la costa peruana con respecto a los que habrían ocurrido en el interior del país” (anexo 4).

Según estos autores, los terremotos de mayor magnitud ocurridos frente a la costa son el de 1586 (primer gran terremoto con documentación histórica), 1687 y 1746 que destruyeron en gran porcentaje a la ciudad de Lima, además de producir tsunamis con olas que posiblemente

alcanzaron alturas de 15-20 metros. En la región sur, los terremotos más notables fueron los ocurridos en 1604, 1784 y 1868, siendo este último el mejor documentado y descrito en detalle por Montessus de Ballore (1911) y Vargas (1922). Estos eventos produjeron daños importantes en las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna; además de Arica e Iquique en Chile. El terremoto de 1868 habría generado tsunamis con olas de 14 metros de altura afectando a los departamentos de Tacna (Perú), Arica e Iquique (Chile), (IGP, 2014, p. 12).

1.3.2. Efectos de los sismos en los edificios

El efecto de las ondas sísmicas se transmite desde el suelo hacia la estructura a través de los cimientos (ver Figura 4), “el movimiento del suelo genera que la base de la estructura siga este movimiento, no obstante la superestructura se reusa a seguirlo, lo cual significa que por efectos de inercia, la masa del edificio tiende a oponerse a los desplazamientos que se generan en su base, producto de ello es que se presentan fuerzas inerciales que al no ser tratadas adecuadamente, significan un peligro para la integridad de la estructura ” (García y Moscoso, 2018, p. 13).

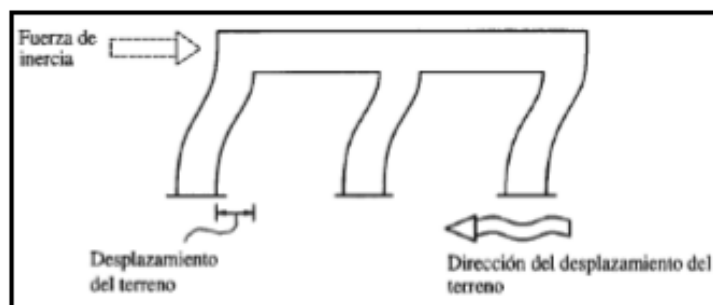


Figura 4. Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura.

Fuente: Bazan y Meli, 2004.

Según García y Moscoso, 2018. La estructura de un edificio vibra de forma distinta al suelo debido a que este tiene su propio índice de flexibilidad. Los esfuerzos a los que es sometida la estructura no dependen solo de la intensidad del movimiento sísmico, si no también son proporcionales a la masa de la edificación y a las propiedades dinámicas del mismo, definiendo así su forma de vibrar.

El modelo de comportamiento de un edificio ante una fuerza sísmica se simplifica asumiendo solo un grado de libertad, considerando solo una masa concentrada y un elemento resistente con rigidez lateral y amortiguamiento que describa las características reales de la estructura, (ver figura 5).



Figura 5. Modelo de un sistema de un grado de libertad.
Fuente: Bazan y Meli, 2004.

El nivel de amplificación de las ondas sísmicas depende en gran manera del grado de amortiguamiento que pueda tener el suelo, es decir cuando las ondas son de periodo corto, las estructuras rígidas y pesadas son las más afectadas, mientras que cuando los periodos son largos, las más afectadas son las estructuras altas y flexibles (García y Moscoso, 2018, p. 14). (Ver figura 6)

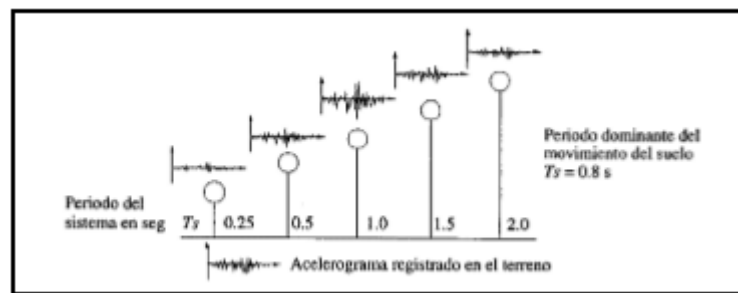


Figura 6. Amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distinto periodo fundamental de vibración.
Fuente: Bazan y Meli, 2004.

Por otro lado, el efecto del sismo en la estructura, depende también del tipo de material usado en la estructura, esto supone que al tener sistemas estructurales diferentes se modifica la respuesta sísmica. El comportamiento no lineal de la estructura se describe mediante la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento del edificio ($P-\Delta$), teniendo en cuenta las deformaciones que hacen que la estructura alcance sus distintos estados límites (ver figura 7).

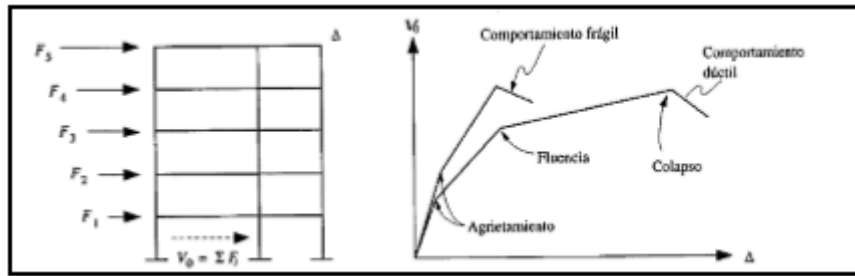


Figura 7. Relación carga- deformación de una estructura.
Fuente: Bazan y Meli, 2004.

1.3.3. Condiciones generales de análisis y diseño sismo resistente

La gran mayoría de las normas de diseño sismo resistente establecen condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento adecuado, respondiendo de manera satisfactoria a las solicitaciones y demandas sísmicas producto del análisis.

Las edificaciones en general independientemente del sistema o configuración estructural por el que este compuesto, el uso que esta brinde, o la importancia que represente en el contexto de sus funciones, debería ser diseñada para cumplir las siguientes funciones: evitar pérdidas humanas, asegurar que después de sucedido un sismo severo los servicios básicos de la edificación tengan continuidad, y reducir lo más que se pueda los daños a la edificación.

El uso del conocimiento de técnicas de análisis de estructuras y de diseño, ayuda al ingeniero a determinar qué tipos de soluciones estructurales son las más adecuadas para diseñar una edificación en condiciones específicas ya sea propias de la estructura o inherentes al contexto donde se plantea su funcionamiento, que por alguna razón podrían estar restringiendo el funcionamiento correcto de la misma, permitiendo al ingeniero tener una conceptualización

de sistemas estructurales eficientes que no solo son seguros, sino también funcionales y económicos (Sarkisian y Skidmore, 2012, p.2).

Para que una edificación responda adecuadamente a las acciones sísmicas, esta debe ser dotada de una adecuada rigidez, resistencia sísmica y ductilidad. Además, se garantiza un buen comportamiento sísmico cuando la edificación presenta los siguientes aspectos: simetría (tanto en la distribución de masas como en rigideces), pesos mínimos (sobre todo en los últimos pisos), selección de los materiales de construcción adecuados, consideraciones de las condiciones locales, procedimiento constructivo correcto y supervisión estructural rigurosa.

Por otro lado, los procedimientos de análisis sísmico tienen por objetivo conocer desplazamientos laterales máximos, fuerzas cortantes, distorsiones de pisos, etc. Esto se logra realizando procedimientos de análisis ya sea lineales o no lineales, el primero se desarrolla en un contexto elástico de la estructura, mientras que el segundo sobrepasa ese límite y se desarrolla dentro del rango inelástico (MIDUVI, 2016), en ambos casos están presentes los análisis estáticos y dinámicos. Mientras que el análisis estático se basa en la estimación del periodo fundamental de vibración para cuantificar la fuerza cortante en la base, para luego ser distribuida en cada piso de la edificación dotada de cierta rigidez y determinar los desplazamientos máximos en esas condiciones; por otro lado el análisis dinámico se basa en el registro de aceleraciones generando espectros y combinando los aportes de cada modo de vibración de la estructura a fin de obtener un valor representativo de la respuesta sísmica, este método es más representativo de la estructura real.

Cualquiera que sea el método de análisis, Cada norma sismo resistente establece su propio procedimiento mediante el cual se ajustan los valores obtenidos por métodos de análisis dinámicos con los de un análisis estático equivalente, tal como se detallara más adelante. Con los valores dinámicos ajustados se procede a evaluar los efectos $P-\Delta$ que eventualmente pueden incrementar las fuerzas cortantes, los desplazamientos y las derivas. Finalmente se considerarán los efectos torsionales y se añadirán sus efectos a los resultados del análisis anterior.

1.3.4. Modelamiento y análisis computacional Etabs v16.2.1

Hoy en día existen una gran cantidad de herramientas de diseño y análisis estructural, que facilitan en buena manera la obtención de los resultados de análisis y diseño siempre y cuando que la persona que interactúa con la herramienta tenga basto conocimiento de las normas y códigos utilizados en el análisis.

ETABS es un software eficaz para realizar análisis y diseños estructurales de edificios. Su nombre es la abreviatura en inglés de Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones) (Cobeña, 2005, p. 53).

En sus más de 30 años de investigación y desarrollo continuo, ETABS ofrece herramientas de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados, permite realizar rápidamente el análisis de modelos complejos y permite trabajar con procedimientos no lineales, (CSI-Etabs, 2018).

Etabs permite crear modelos sumamente realistas, además permite elaborar informes, detallados y de lectura fácil, que involucre cualquier tipo de análisis y diseño realizado en el modelo. Para el caso de estructuras a base de concreto armado y metálicas, se pueden obtener diseños esquemáticos del modelo, los resultados y detalles de cada elemento se pueden visualizar mediante tablas, cuadros y reportes que brinda el software, para cada condición de análisis del modelo, (CSI-Etabs, 2018).

Etabs brinda una serie de herramientas para los ingenieros estructuristas que modelan y diseñan edificios, tanto industriales de un piso, como también edificios de varios pisos, con enormes capacidades y de fácil uso, (CSI-Etabs, 2018).

1.3.5. Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018

Perú está dentro de una zona altamente sísmica, lo cual representa un alto peligro sísmico tanto para edificaciones existentes y para las nuevas que están en proyecto de ejecución o que han sido construidas recientemente, estas son en gran medida condicionadas por parámetros que están estrechamente ligados con las fuerzas sísmicas como aquellas fuerzas actuantes en la base y su posterior transmisión a la estructura así como los desplazamientos laterales de cada entre piso de la edificación producidos por estas fuerzas, momentos torsionales, fuerzas internas y demás parámetros que merecen un tratamiento acorde a la normativa vigente de diseño sismo resistente a fin de que las edificaciones tengan un comportamiento adecuado en caso de la ocurrencia de un sismo.

En tal sentido la NTP E.030, permite verificar que la edificación cumpla con las condiciones mínimas de rigidez de la estructura, desplazamientos laterales, momentos torsionales, y fuerzas internas en los elementos estructurales, para lograr un diseño de la estructura que satisfaga con las disposiciones mínimas establecidas por esta norma. El tipo de sismo de diseño en el que se basa el desarrollo de esta norma es en los sismos raros que tiene un periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de excedencia de 10%.

1.3.5.1. Filosofía y Principios del Diseño Sismo resistente

La norma reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de edificaciones, por lo que podrían presentarse daños importantes producto de los movimientos sísmicos, mas no permitir que la edificación colapse ni mucho menos provocar daños graves a las personas, sabiendo esto propone los siguientes principios de diseño sismo resistente:

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

1.3.5.2. Zonificación sísmica, factor “Z”

El territorio peruano actualmente se encuentra dividido en cuatro zonas (figura 8), lo cual representa el nivel de sismicidad basada en las características generales de los movimientos sísmicos. A cada zona se le asigna un factor al cual se le conoce como factor Z, este factor representa la aceleración máxima horizontal en el terreno (roca) con una probabilidad de 10% de ser excedida en un periodo de 50 años equivalente a un periodo de retorno de 475 años. Asimismo, este factor se interpreta como un porcentaje de la aceleración de la gravedad ver Cuadro 1.

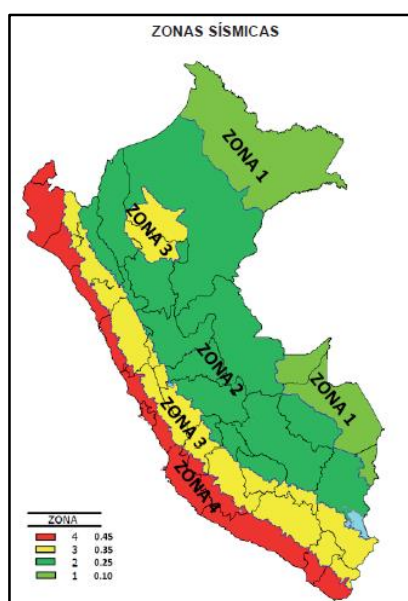


Figura 8: mapa de zonificación sísmica del Perú
Fuente: NTP E.030-2016

Cuadro 1: Factores de zona “Z”

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

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.3. Perfiles de suelo

Los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (S_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación, (NTP E.030-2018). En el cuadro 2 se muestra la clasificación de los 5 tipos de perfiles de suelo según la NTP E.030-2018.

Cuadro 2: Clasificación y perfiles de suelo.

PERFILES DE SUELO				
TIPO	DESCRIPCIÓN	V_s	N_{60}	S_u
S0	ROCA DURA	> 1500 m/s	----	----
S1	ROCA O SUELOS MUY RIGIDOS	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S2	SUELOS INTERMEDIOS	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	SUELOS BLANDOS	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	CONDICIONES EXCEPCIONALES	clasificación basada según el EMS		

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.4. Parámetros de sitio, factor "S" y periodos "Tp" y "TL"

La NTP E.030-2018 relaciona cada zona sísmica "Z" con el tipo de perfil de suelo descrito en el cuadro 2, e indica el factor "S" (factor de amplificación del suelo) correspondiente para cada caso (Cuadro 3). A su vez su correspondiente periodo T_p , (periodo que define la plataforma del factor C) y T_L (período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante) (Cuadro 4).

Cuadro 3: Factor de suelo

FACTOR DE SUELO "S"				
zona \ suelo	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: NTP E.030-2018

Cuadro 4: Periodos T_p y T_L

PERIODOS " T_p " Y " T_L "				
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T_p	0.30	0.40	0.60	1.00
T_L	0.80	2.50	2.00	1.60

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.5. Factor de amplificación sísmica "C"

Este coeficiente representa el factor de amplificación de la aceleración sísmica en la estructura respecto de la aceleración en el suelo. El factor de amplificación sísmica "C" depende de los parámetros de sitio T_p , T_L y T , siendo este último el periodo fundamental de vibración de la estructura. A continuación, se describen las siguientes expresiones para determinar el factor "C" según la NTP E.030-2018:

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

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

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

$$T < 0.2 * T_p \quad C = 1 + 7.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

1.3.5.6. Periodo fundamental de vibración “T”

El periodo fundamental de vibración “T” depende de las características de rigidez y distribución de masas de la edificación. El periodo fundamental de vibración “T” puede ser calculado para cada una de las direcciones de análisis mediante la expresión aproximada que se indican a continuación:

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

Donde:

- h_n = altura total de la edificación medida desde el nivel del terreno.
- $C_T = 35$ 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

Alternativamente el valor de T se puede calcular de una manera más apropiada considerando las características estructurales y de deformación de los elementos resistentes; este se puede calcular mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- F_i = 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 = desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) 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.

Nota: el valor del periodo T calculado considerando las características estructurales (modelo matemático), no debe ser mayor en 25% del valor T calculado por el método aproximado.

1.3.5.7. Categoría de la edificación y factor de uso “U”

Cada estructura debe ser clasificada en función a su uso e importancia de acuerdo con las categorías indicadas en el cuadro 5. El factor de uso o importancia (U), definido en el cuadro 5 se usará según la clasificación que se haga de la estructura. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar $U = 1$ (NTP E.030-2018).

Cuadro 5: Categoría de la edificación y factor U

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
Edificaciones esenciales (A)	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, reservorios, centros de salud, etc.	1.5
Edificaciones importantes (B)	Cines, teatros, estadios, coliseos, y demás Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas.	1.3
Edificaciones comunes (C)	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, etc.	1.0
Edificaciones temporales (D)	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: NTP E.030-2018

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5, (NTP E.030-2018).

Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista, (NTP E.030-2018). Para más detalle de la categorización de las edificaciones según la NTP E.030-2018 ver el anexo 5.

1.3.5.8. Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas “Ro”

La NTP E.030-2018 define 5 sistemas estructurales (sistemas de concreto armado, de acero, de albañilería, de madera y de tierra) cuyos elementos que los conforman deben cumplir con las especificaciones mínimas dispuesta en el reglamento nacional de edificaciones vigente (RNE), para cada caso.

El cuadro 6 describe de forma general el sistema estructural de concreto armado, así como también los elementos que lo conforman, además de condiciones mínimas en cuanto a la resistencia de dichos elementos ante los esfuerzos producidos por el sismo. El coeficiente básico de reducción sísmica “Ro” depende del tipo de sistema estructural predominante en cada dirección de análisis, el cuadro 7 muestra el valor de este coeficiente para estructuras de concreto armado.

Cuadro 6: Sistemas estructurales

S. ESTRUCTURAL	ELEMENTOS QUE LO CONFORMAN	DESCRIPCIÓN
CONCRETO ARMADO	Pórticos	$\geq 80\%$ de la cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos.
	Muros estructurales	$\geq 70\%$ de la cortante en la base actúa sobre los muros estructurales.
	Dual	Mayor al 20% y menor al 70% del cortante en la base actúa en los muros, y en los pórticos por lo menos el 30%
	Muros de ductilidad limitada (MDL)	La resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos. Refuerzo vertical una sola capa y se prescinde de confinamiento. Máximo 8 pisos.

Fuente: NTP E.030-2018

Cuadro 7: Coeficiente básico de reducción sísmica

SISTEMA ESTRUCTURAL	Ro
CONCRETO ARMADO	
Pórticos	8
Dual	7
Muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada (MDL)	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.9. Irregularidades “Ia”, “Ip” y coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas “R”

Se denominan Estructuras Regulares a aquellas que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Cuadros 8 y Cuadro 9. En estos casos, el factor Ia (factor de irregularidad en altura) o Ip (factor de irregularidad en planta) será igual a 1.0. Estructuras Irregulares son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en las Cuadros 8 y 9, de presentarse más de una irregularidad ya sea en planta o en altura, se considerara el menor valor entre los obtenidos para cada dirección de análisis, (NTP E.030-2018).

Cuadro 8: Factor de irregularidad Ia

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	FACTOR “Ia”
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	0.75
Irregularidad Extrema de Rigidez Irregularidad Extrema de Resistencia	0.5
Irregularidad de Masa o Peso	0.9
Irregularidad Geométrica Vertical	0.9
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0.8
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	0.6

Fuente: NTP E.030-2018

Cuadro 9: Factor de irregularidad I_p

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	FACTOR " I_p "
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.6
Esquinas Entrantes	0.9
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.9

Fuente: NTP E.030-2018

El coeficiente de reducción sísmica " R " se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Nota: Para mayor detalle de las irregularidades en planta y en altura ver anexo 6 y 7.

Por otro lado, las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares según las restricciones del cuadro 10, estableciendo los procedimientos de análisis, y determinando el coeficiente " R " de reducción de fuerzas sísmicas, el cuadro 10 presenta las restricciones en cuanto a irregularidades para edificaciones de tipo A, B y C en función a la zona en la que se ubiquen (NTP E.030-2018).

Cuadro 10: Categoría y regularidad de las edificaciones

CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	ZONA	RESTRICCIONES
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.10. Modelo de análisis

La NTP E.030-2018, específica que en el modelo para el análisis se debe considerar una distribución espacial de masas y rigideces adecuados que permitan calcular las características más importantes del comportamiento de la estructura. Asimismo, señala que para edificaciones de concreto armado y albañilería se calcularán las inercias brutas, es decir sin considerar la figuración y el esfuerzo.

Para edificios en los cuales los sistemas de piso trabajan como diafragmas rígidos, se podrá representar mediante un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, que consta de dos componentes ortogonales entre sí de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos se compatibilizarán mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales se hará en función a las rigideces de los elementos resistentes, (NTP E.030-2018). Para efectos de esta investigación, el análisis se realizará considerando un modelo lineal elástico con solicitaciones sísmicas reducido que supone un sistema elástico con 5% de amortiguamiento viscoso respecto al amortiguamiento crítico según la norma peruana E.030-2018.

1.3.5.11. Estimación de peso sísmico

De acuerdo a la NTP E.030-2018, el peso sísmico será igual a la carga permanente total de la edificación (CM) más un porcentaje de carga viva o sobrecarga (CV) según corresponda, (Cuadro 11).

Cuadro 11: Estimación del peso sísmico

CATEGORÍA	%CM	%CV	
		PISOS INFERIORES	TECHOS Y AZOTEAS
A	100%	50%	25%
B	100%	50%	25%
C	100%	25%	25%
DEPÓSITOS	100%	80%	25%
TANQUES SILOS, Y SIMILARES	100%	100%	25%

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.12. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

Este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación, (NTP E.030-2018).

Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares según el numeral 3.5 de no más de 30 m de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares, (NTP E.030-2018).

1.3.5.12.1. Fuerza cortante en la base

La fuerza cortante en la base para cada dirección de análisis se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- V = Fuerza cortante en la base.
- Z = Factor de zona.
- U = Factor de uso o importancia.
- C = Factor de amplificación sísmica.
- R = coeficiente de reducción sísmica.
- P = Peso de la edificación.

El valor de C/R para cada dirección de análisis debe cumplir con la siguiente expresión:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

1.3.5.12.2. Distribución de la fuerza sísmica en altura

La distribución de la fuerza cortante se distribuye en cada nivel de la estructura incluyendo el último, estas fuerzas se determinan mediante la siguiente expresión dispuesta por la NTP E.030-2018:

$$F_i = \alpha_i * V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i * (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j * (h_j)^k}$$

Donde:

- V = Fuerza cortante.
- P_i = Peso del nivel i.
- h_i = Altura de nivel i con relación al nivel del terreno.
- n = Número de pisos de la edificación.

El valor del exponente “k” está en base al periodo fundamental de vibración (T) de la estructura, y puede ser calculado como sigue:

- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
- b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.

1.3.5.12.3. Excentricidad accidental

La NTP E.030-2018, indica que, para edificaciones con diafragmas rígidos, las fuerzas en cada nivel calculadas según el numeral 1.3.4.12.2, actúa en el centro de masa del nivel respectivo; además debe considerarse aparte de la excentricidad propia de la estructura el efecto de la excentricidad accidental ($e_{accidental(i)}$) para cada dirección de análisis.

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental se considerará 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental (M_{ti}) que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i * (e_{accidental(i)} + e_{propia(i)})$$

1.3.5.13. Análisis dinámico modal espectral

Este método se puede aplicar a cualquier estructura que se quiera diseñar usando los resultados del análisis dinámico por combinación modal espectral tales como los modos de vibración, la aceleración espectral, la fuerza cortante mínima y la excentricidad accidental.

1.3.5.13.1. Modos de vibración

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis, (NTP E.030-2018).

1.3.5.13.2. Espectro de diseño

Para el análisis en cada una de las direcciones horizontales se deberá usar un espectro inelástico de pseudoaceleraciones el cual se interpreta como una fracción de la aceleración de la gravedad, cuya ecuación está definida por la ecuación posterior. La figura 9 muestra de forma gráfica el espectro de diseño elástico según la NTP E.030-2018.

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

Donde:

- S_a = Aceleración espectral

- Z = Factor de zona.
- U = Factor de uso.
- C = Factor de amplificación sísmica.
- R = coeficiente de reducción sísmica.
- g = Aceleración de gravedad (9.81 m/s²)

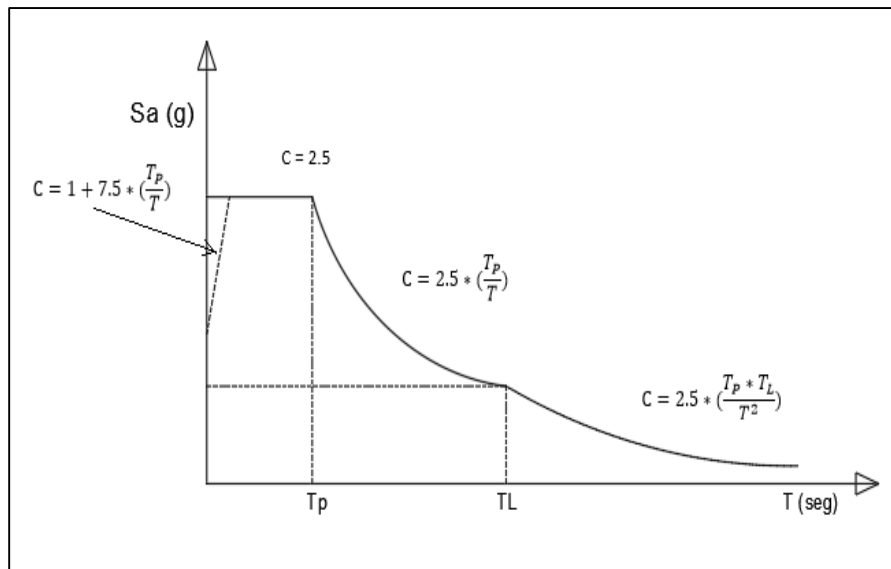


Figura 9: Espectro de diseño
Fuente: NTP E.030-2018

1.3.5.13.3. Criterios de combinación

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso. La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) podrá determinarse usando la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas. Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

β , fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05.

ω_i , ω_j son las frecuencias angulares de los modos i , j .

Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

1.3.5.13.4. Fuerza cortante mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos, (NTP E.030-2018).

1.3.5.13.5. Excentricidad accidental (efectos de torsión)

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable, (NTP E.030-2018).

1.3.5.14. Determinación de desplazamientos laterales

Los desplazamientos laterales para cada dirección de análisis se calcularán multiplicando por 0,75 R (para estructuras regulares) y por 0.85 R (para estructuras irregulares) los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

1.3.5.15. Desplazamientos laterales relativos admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso para cada dirección de análisis, calculado en el numeral 1.3.5.14, no deberá ser mayor a los límites especificados en el cuadro 12.

Cuadro 12: Límites de distorsión de entrepiso

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO	
MATERIAL PREDOMINANTE	$(\Delta i/h_{ei})$
CONCRETO ARMADO	0.007
ACERO	0.010
ALBAÑILERÍA	0.005
MADERA	0.010
EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON MDL	0.005

Fuente: NTP E.030-2018

1.3.6. Norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-2015

El objetivo de esta norma es reducir significativamente el riesgo sísmico que acaece a las edificaciones ante la peligrosidad sísmica que presenta el territorio Ecuatoriano, y el índice de vulnerabilidad de dichas edificaciones, aplicando criterios y métodos para el análisis y posterior diseño de las mismas, así como una serie de especificaciones mínimas para satisfacer las sollicitaciones sísmicas y de tal manera cumplir satisfactoriamente con los principios y filosofía de la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.

El sismo de diseño en el que se basa el desarrollo de esta norma es en los sismos raros, evento sísmico que tiene una probabilidad de 10% de ser excedido en 50 años, con un periodo de retorno de 475 años.

1.3.6.1. Filosofía de diseño sismo resistente NEC-SE-DS-2015.

- a) Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- b) Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- c) Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

1.3.6.2. Zonificación sísmica y factor de zona “Z”

El territorio ecuatoriano actualmente se encuentra dividido en seis zonas (figura 10), lo cual representa el nivel de sismicidad basada en las características generales de los movimientos sísmicos. A cada zona se le asigna un factor al cual se le conoce como factor Z, este factor representa la aceleración máxima horizontal en el terreno (roca) con una probabilidad de 10% de ser excedida en un periodo de 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años. Asimismo, este factor se interpreta como un porcentaje de la aceleración de la gravedad (Cuadro 13).

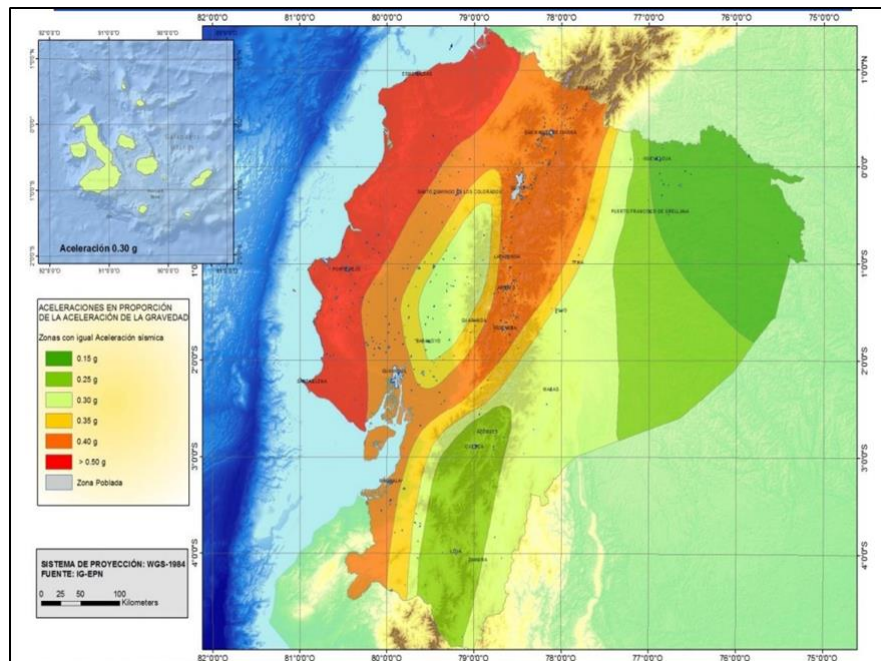


Figura 10: Mapa de zonificación sísmica Ecuador
Fuente: NEC-SE-DS-2015

Cuadro 13: Factores de zona “Z”

zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥0.5
caracterización del peligro sísmico	intermedia	alta	alta	alta	alta	muy alta

Fuente: NEC-SE-DS-2015

1.3.6.3. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

La NEC-SE-DS-2015, define 6 tipos de perfiles de suelo presentes en el territorio ecuatoriano, los cuales los clasifica en función de la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_{s30}), o alternativamente, la combinación de los dos siguientes procedimientos: para cualquier perfil de suelo, el promedio ponderado de los “ N_{60} ” obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), y para suelos no cohesivos el promedio ponderado de los “ N_{ch} ” obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), también se puede determinar mediante el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (S_u) para suelos cohesivos, el índice de plasticidad (IP) y contenido de agua en porcentaje (w) para estratos de arcilla, Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación.

En el cuadro 14 se muestra los 6 tipos de perfiles de suelo, con sus respectivas especificaciones y propiedades que debe cumplir para ser clasificado como uno de los 6 tipos de perfil de suelo según la NEC-SE-DS-2015.

Cuadro 14: Clasificación de los perfiles de suelo

TIPO DE PERFIL DE SUELO	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL	DEFINICIÓN
A	P. de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	P. de roca de rigidez	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	P. de suelos muy densos o roca blanda	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	P. de suelos muy densos o roca blanda	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	P. de suelos rígidos	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	P. de suelos rígidos	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	P. que cumpla con:	$V_s < 180$ m/s
	P. que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	P. de suelos poco manejables. Se recomienda ver el anexo 8	

Fuente: NEC-SE-DS-2015

1.3.6.4. Coeficientes de amplificación o reducción dinámica de perfiles de suelo F_a , F_d y F_s

El coeficiente de amplificación de suelo en zona de periodo corto (F_a), amplifica los valores en las ordenadas del espectro de respuesta elástica de aceleraciones en roca considerando los efectos de sitio; el coeficiente F_d , amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos en roca considerando los efectos de sitio, y el coeficiente F_s , consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos, (NEC-SE-DS-2015) (cuadro 15, 16 y 17).

Cuadro 15 : Factores de sitio F_a

tipos de perfil de suelo	zona sísmica y factor "Z"					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Cuadro 16: Factores de sitio Fd

tipos de perfil de suelo	zona sísmica y factor "Z"					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.70	1.35	1.6	1.5

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Cuadro 17 : Factores de sitio Fs

tipos de perfil de suelo	zona sísmica y factor "Z"					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Nota: para los perfiles de suelo tipo F, no se proporcionan valores de Fa, Fd ni Fs, debido a que requieren estudios especiales conforme lo estipula el numeral 10.6.4 y 10.5.4 de la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015 pero no corresponde para los fines de esta disertación.

1.3.6.5. Espectro elástico de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico se interpreta como una fracción de la aceleración de la gravedad, depende básicamente de componentes anteriormente señalados tales como el factor de zona Z y coeficiente de amplificación o reducción dinámica del suelo Fa, Fd, Fs según sea el caso (NEC-SE-DS-2015). La figura 11 muestra de forma gráfica el espectro de diseño elástico según la NEC-SE-DS-2015.

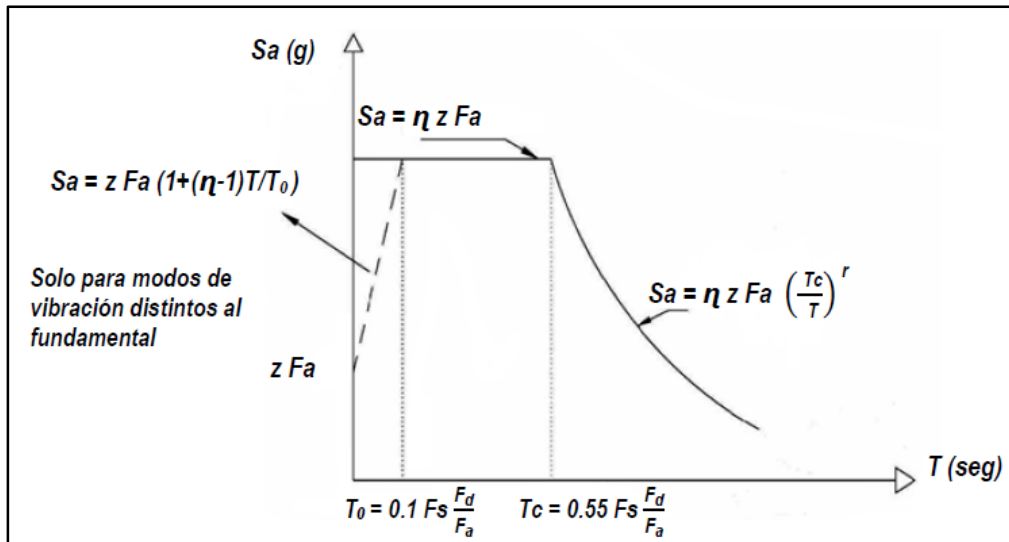


Figura 11: Espectro elástico de aceleraciones
Fuente: NEC-SE-DS-2015

Este espectro de diseño pertenece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05 y se obtiene de la aplicación de las siguientes ecuaciones, para periodos de vibración T entre dos rangos.

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c$$

Donde:

- η = Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado. Este valor varía dependiendo de la región del Ecuador, cuyos valores fueron calculados para el sismo de diseño de esta norma y se muestran a continuación:
 - $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
 - $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
 - $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente
- r = Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
 - $r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E
 - $r = 1.5$ para tipo de suelo E.

- S_a = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
- T = Período fundamental de vibración de la estructura.
- T_c = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- Z = Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Así mismo los límites para los periodos T_c y T_L están definidos por las siguientes expresiones:

$$T_c = 0.55 F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2.4 * F_d$$

Donde:

- F_a , F_d y F_s = parámetros definidos en la sección 1.3.6.4.
- T_c = Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- T_L = Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.

Nota: Para los perfiles de suelo D y E el valor máximo para T_L deberá ser de 4 segundos.

Por otro lado, la NEC-SE-DS-2015 establece que para un análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de S_a debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de período de vibración menores a T_0 :

$$T_0 = 0.10 F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$S_a = Z F_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \quad \text{para } T \leq T_0$$

Donde:

- η = Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- F_a = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- F_d = Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- F_s = Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
- S_a = Es el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
- T = Período fundamental de vibración de la estructura
- T_0 = Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que
- Z = Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad (g).

1.3.6.6. Período fundamental de vibración de la estructura “T”

El cálculo del período de vibración T se calculará como una estimación inicial que permita hallar las fuerzas cortantes para aplicar a la estructura; este valor se calculará para cada dirección de análisis. Este período se puede calcular de manera aproximada mediante la siguiente expresión: (NEC-SE-DS-2015)

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

- C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio (Cuadro 18).
- h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
- T = Período de vibración

Alternativamente el valor de T se puede calcular de una manera más apropiada considerando las características estructurales y de deformación de los elementos resistentes; este se puede calcular mediante la siguiente expresión: NEC-SE-DS-2015

$$T_a = 2\pi * \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n w_i * \delta_i^2)}{(g * \sum_{i=1}^n f_i * \delta_i)}}$$

Donde:

- f_i = Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i , de acuerdo con los principios descritos en el presente capítulo.
- δ_i = Deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i
- w_i = Peso asignado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente) peso: $w /$ cargas: W .

Nota 1: el valor del periodo T_a calculado considerando las características estructurales (modelo matemático), no debe ser mayor en 30% del valor T_a calculado por el método aproximado.

Nota 2: Una vez dimensionada la estructura, los períodos fundamentales deben recalcularse por el método 2 o por medio de un análisis modal. El cortante basal debe ser re-evaluado junto con las secciones de la estructura. Este proceso debe repetirse hasta que, en interacciones consecutivas, la variación de períodos sea menor o igual a 10% (NEC-SE-DS-2015).

Cuadro 18: Valores del coeficiente que depende del tipo de edificio Ct

TIPO DE ESTRUCTURA	Ct	α
PÓRTICOS ESPECIALES DE HORMIGÓN ARMADO		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Nota 3: para estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha = 1$) el valor de Ct se puede calcular mediante la expresión del anexo 9.

1.3.6.7. Categorías de edificio y coeficiente de importancia “I”

La norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015 clasifica las edificaciones según su importancia, establece tres categorías de edificaciones, edificaciones esenciales, edificaciones de ocupación especial y otras edificaciones comunes, así mismo establece para cada categoría un coeficiente de importancia I (Cuadro 19).

Cuadro N°19: Tipo de uso y coeficiente I de la estructura

categoría	tipos de uso, destino e importancia	coeficiente "I"
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Para mayor detalle acerca de la clasificación según la importancia, ver anexo 10.

1.3.6.8. Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica “R”

La norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015 considera criterios de configuración estructural, tipo de suelo, periodo de vibración, factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia estructural, etc. para determinar el coeficiente de reducción sísmica R, el cual se permite

aplicar este parámetro en edificaciones diseñadas con ciertas particularidades en su configuración estructural y sus conexiones, que permiten desarrollar una posible falla y con adecuada ductilidad. En los Cuadros 20 y 21 se muestra los grupos de sistemas estructurales considerados por esta norma y su respectivo factor de reducción sísmica para cada caso.

Cuadro 20: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles

SISTEMAS ESTRUCTURALES DÚCTILES	R
SISTEMAS DUALES	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
OTROS SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Cuadro 21: Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA	R
PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS	
Hormigón Armado con secciones de dimensión limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
MUROS ESTRUCTURALES PORTANTES	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Nota: en caso en que el sistema estructural resulte en una combinación de dos o más sistemas como los del cuadro 20 y 21, se tomara el menor valor de R para cada dirección de análisis.

1.3.6.9. Irregularidades y coeficientes de configuración estructural (ϕ_P y ϕ_E)

Los coeficientes de configuración estructural incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregularidades (NEC-SE-DS-2015).

El cuadro 22 y 23 indican los tipos de irregularidades que se pueden presentar en las edificaciones, tanto en planta (ϕ_P) como en elevación (ϕ_E), junto con ello el coeficiente de configuración estructural para cada caso.

Cuadro 22: Irregularidades en planta

IRREGULARIDAD EN PLANTA	
Tipo 1 - Irregularidad torsional	$\phi_{Pi}=0.9$
Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas	$\phi_{Pi}=0.9$
Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso	$\phi_{Pi}=0.9$
Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos	$\phi_{Pi}=0.9$

Fuente: NEC-SE-DS-2015

El coeficiente de irregularidad en planta (ϕ_P) se calcula con la siguiente expresión:

$$\phi_P = \phi_{PA} \times \phi_{PB}$$

Donde:

- ϕ_P = Coeficiente de regularidad en planta
 ϕ_{PA} = Mínimo valor ϕ_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1, 2 y/o 3
- ϕ_{PB} = Mínimo valor ϕ_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4
- ϕ_{Pi} = Coeficiente de configuración en planta

Cuadro 23: Irregularidades en planta

IRREGULARIDAD EN ALTURA	
Tipo 1 - Piso flexible	$\phi E_i=0.9$
Tipo 2 - Distribución de masa	$\phi E_i=0.9$
Tipo 3 - Irregularidad geométrica	$\phi E_i=0.9$

Fuente: NEC-SE-DS-2015

El coeficiente de irregularidad en elevación (ϕE) se calcula con la siguiente expresión:

$$\phi E = \phi E_A \times \phi E_B$$

Dónde:

- ϕE = Coeficiente de regularidad en elevación
- ϕE_A = Mínimo valor ϕE_i de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; ϕE_i en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por el cuadro para la irregularidad tipo 1
- ϕE_B = Mínimo valor ϕE_i de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; ϕE_i en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por el cuadro para la irregularidad tipo 2 y/o 3
- ϕE_i = Coeficiente de configuración en elevación

Nota 1: si la estructura no presenta ninguna de las irregularidades en elevación descritas en el cuadro 22 y 23, el valor de ϕP y ϕE respectivamente será igual a 1, y se asumirá como regular en planta o en elevación según sea el caso.

Nota 2: para obtener mayor detalle de las irregularidades tanto en planta como en altura, ver anexo 11 y 12.

1.3.6.10. Métodos de análisis

El procedimiento de análisis se puede realizar mediante la obtención de fuerzas laterales, estáticas y dinámicas donde se encuentren involucrados las características de configuración estructural, masas y rigideces. La norma NEC-SE-DS-2015 define dos casos en los que se

debe aplicar uno o los dos procedimientos de análisis, esto depende de la configuración estructural del edificio tal como sigue:

“Para el cálculo de estructuras regulares tanto en planta como en elevación ($\phi_P = \phi_E = 1$ según el numeral 1.3.10.9) se podrán aplicar procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales. Para todas las estructuras, la aplicación del método estático basado en fuerzas descrito en la sección 1.3.10.13 se considerará como requisito mínimo. En los casos restantes, se utilizará el procedimiento de cálculo dinámico, descrito en la sección 1.3.10.14, que permiten incorporar efectos torsionales y de modos de vibración distintos al fundamental” (NEC-SE-DS-2015).

Cabe resaltar que para efectos de esta investigación el análisis a llevar a cabo se realizara mediante el método de diseño basado en fuerzas (DBF), donde se encuentran los procedimientos de cálculo estáticos y el cálculo dinámico. Ya que la NEC-SE-DS-2015 propone otro método alternativo (diseño directo basado en desplazamientos) que para efectos de esta investigación no es neCésaria su disertación.

Para, el análisis (DBF) se realizará considerando un modelo lineal y elástico equivalente que supone un sistema elástico con 5% de amortiguamiento viscoso según la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.

1.3.6.11. Modelación estructural

La norma ecuatoriana establece que el modelo estructural debe incluir todos los elementos que conforman el sistema estructural, con una adecuada distribución de masas y rigideces, de tal manera que en el análisis se logre obtener las características más importantes del comportamiento dinámico de la estructura.

Además, establece que para el cálculo de las rigideces y de derivas máximas se tiene que considerar las inercias agrietadas de los elementos que conforman el sistema estructural, estos valores se presentan en el cuadro 24.

Cuadro 24: Valores de inercias agrietadas.

INERCIA AGRIETADA	
ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO	ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA
0.5 I _g para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable)	0.5 I _g para muros con relación altura total/longitud > 3
0.8 I _g para columnas	Para muros con relación altura/longitud menores a 1.5, no se necesita utilizar valores de inercia agrietada
0.6 I _g para muros estructurales: -- Para estructuras sin subsuelos, se aplicarán únicamente en los dos primeros pisos de la edificación. -- Para estructuras con subsuelos, se aplicarán en los dos primeros pisos y en el primer Subsuelo -- En ningún caso se aplicarán en una altura menor que la longitud en planta del muro -- Para el resto de pisos la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.	Para muros con relación altura/longitud entre 1.5 y 3, puede obtenerse el factor multiplicativo de I _g por interpolación, entre 1 y 0.5.

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Nota: Los requisitos anteriores reconocen el hecho de que las secciones de los elementos se encuentran agrietadas desde el instante mismo de su construcción y, más aún cuando se presenten las fuerzas del sismo de diseño (NEC-SE-DS-2015).

1.3.6.12. Estimación de carga sísmica reactiva W

De acuerdo a la nec-2015 la carga W se interpreta como la carga reactiva por sismo y se calculara para casos en general tomando el 100% de la carga muerta (D) y para casos de almacenaje y bodegas el 100% de la carga muerta (D) más el 25% de la carga viva de piso (L_i), esto independientemente del tipo de análisis que se realice (DBF o DBD).

1.3.6.13. Análisis estático

Se aplicará como mínimo el método estático para todo tipo de estructura.

1.3.6.13.1. Cortante basal de diseño V

El cortante basal de diseño V a nivel de cargas ultimas, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

Donde:

- Sa (Ta) = Espectro de diseño en aceleración.
- ϕ_P y ϕ_E = Coeficientes de configuración en planta y elevación.
- I = Coeficiente de importancia.
- R = Factor de reducción de resistencia sísmica.
- V = Cortante basal total de diseño.
- W = Carga sísmica reactiva.
- Ta = Período de vibración.

1.3.6.13.2. Distribución vertical de las fuerzas sísmicas laterales

La distribución del cortante basal en altura se realizará para cada piso mediante la aplicación de fuerzas laterales aplicadas al centro de masa con una excentricidad de 5% perpendicular a la dirección de la fuerza en cada sentido de análisis de forma creciente de abajo hacia arriba, estas fuerzas se pueden calcular mediante las siguientes expresiones:

$$V = \sum_{i=1}^n F_i \quad V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad F_x = \frac{W_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i^k} * V$$

Donde:

- V = Cortante total en la base de la estructura.
- V_x = Cortante total en el piso x de la estructura
- F_i = Fuerza lateral aplicada en el piso i de la estructura
- F_x = Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

- n = Número de pisos de la estructura
- W_x = Peso asignado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente)
- W_i = Peso asignado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente)
- h_x = Altura del piso x de la estructura
- h_i = Altura del piso i de la estructura
- k = Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura “ T ”, (ver cuadro 25).

Cuadro 25: Valores de coeficiente k

VALORES DE $T(s)$	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75+0.50*T$
> 2.5	2

Fuente: NEC-2015

1.3.6.13.3. Momentos torsionales horizontales y torsión accidental

La masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada de una distancia igual al 5% de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, con el fin de tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental, tanto para estructuras regulares como para estructuras irregulares. El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales (NEC-SE-DS-2015).

El momento torsional de diseño en un piso determinado debe calcularse como el momento resultante de las excentricidades entre las cargas laterales de diseño en los pisos superiores al piso considerado y los elementos resistentes a cargas laterales en el piso, más la torsión accidental (asumiendo el centro de masas desplazado) (NEC-SE-DS-2015).

Cuando existe irregularidad torsional (coeficiente de regularidad en planta), los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación torsional A_x , calculado con la expresión: (NEC-SE-DS-2015)

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right)^2$$

Donde:

- A_x = Factor de amplificación torsional
- δ_{prom} = Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel x.
- $\delta_{m\acute{a}x}$ = Valor del desplazamiento máximo en el nivel x.

Nota: el factor A_x por ningún motivo deberá ser mayor a 3.

1.3.6.14. Análisis dinámico espectral

Se aplicarán estos métodos para todo tipo de estructura (con excepción de las estructuras totalmente regulares).

El análisis espectral se usará el espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones descrito en la sección 1.3.6.5, o se construir el espectro mediante las curvas de peligro definidas en la sección 3.1.2 de la norma NEC-SE-DS-2015. Se aplicará obligatoriamente este método para todo tipo de estructuras irregulares. Para el análisis dinámico de estructuras irregulares se utilizará un modelo tridimensional (de acuerdo a la complejidad de la respuesta estructural). Para estructuras de hormigón armado y de mampostería, en el cálculo de la rigidez y de las derivas máximas, se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas de los elementos estructurales, tal como se describe en el numeral 1.3.6.11.

1.3.6.14.1. Espectro de diseno

El espectro de diseno se determinará de acuerdo al numeral 1.3.6.5. Para estructuras de ocupación normal, se disenar la curva $S_a(T)$ mediante el factor Z. Para estructuras esenciales o de ocupación especial, se determinarán los valores de aceleración mediante las curvas de peligro sísmico definidas en la sección 3.1.2 de la norma Nec-2015 para los distintos modos de vibración; estos valores se substituirn al factor Z para disenar la curva $S_a(T)$, verificando que la aceleración espectral de diseno no sea menor que la obtenida con

el espectro definido en el numeral 1.3.6.5, cumpliendo así las bases de diseño descritas en el numeral 2.2 y el nivel de fuerzas sísmicas descritos en 4.3.3 de la norma NEC-SE-DS-2015.

Para estructuras construidas en suelos tipo F, se desarrollarán acelerogramas y espectros específicos al sitio de emplazamiento (NEC-SE-DS-2015).

1.3.6.14.2. Ajuste del cortante basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

La norma ecuatoriana especifica que el cortante basal dinámico no debe ser menor al 80% del cortante basal estático para estructuras regulares, ni menor al 85% del cortante basal estático para estructuras irregulares (NEC-SE-DS-2015).

1.3.6.14.3. Numero de modos de vibración

La norma NEC- 2015 especifica que para el análisis dinámico espectral se deben considerar todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios períodos de vibración, así como todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones de análisis.

1.3.6.14.4. Torsión

Para el análisis se deberá considerar los efectos torsionales propios de la estructura, incluyendo los efectos debido a la excentricidad accidental, descritos en el numeral 1.3.6.13.3.

1.3.6.14.5. Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso ΔM)

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos ΔM de la estructura, causada por el sismo de diseño.

Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación

de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas (NEC-SE-DS-2015).

La deriva máxima inelástica Δ_M se calculará como sigue:

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Donde:

- Δ_M = Deriva máxima inelástica
- Δ_E = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas
- R = Factor de reducción de resistencia.

Nota 1: los valores obtenidos mediante este numeral no deben exceder a los valores máximos dispuestos en el cuadro 26.

Nota 2: los valores máximos se han establecido considerando secciones agrietadas en los elementos estructurales que conforman la estructura, tal como se describe en el numeral 1.3.6.11.

1.3.6.14.6. Límites permisibles de las derivas de los pisos

La norma ecuatoriana Nec, 2015 restringe las derivas máximas para cualquier piso, limitándolas a los valores límites de las derivas inelásticas descritas en el cuadro 26, se sabe que la deriva máxima se interpreta como un porcentaje de la altura de piso del edificio.

Cuadro 26: Límites de derivas de los pisos

estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Fuente: NEC-SE-DS-2015

1.3.7. Norma chilena de diseño sísmico de edificios, Nch433-2012

El objetivo de esta norma chilena 433 del año 1996 que fue modificada en el año 2012 es reducir significativamente el riesgo sísmico que acaece a las edificaciones ante la peligrosidad sísmica que presenta el territorio chileno, y el índice de vulnerabilidad de dichas edificaciones, aplicando criterios y métodos para el análisis y posterior diseño de las mismas, así como una serie de especificaciones mínimas para satisfacer las sollicitaciones sísmicas y de tal manera cumplir satisfactoriamente con los principios y filosofía de la norma chilena Nch433-2012.

El sismo de diseño en el que se basa el desarrollo de esta norma es en los sismos raros, evento sísmico que tiene una probabilidad de 10% de ser excedido en 50 años, con un periodo de retorno de 475 años.

1.3.7.1. Filosofía y Principios del Diseño Sismo resistente, Nch433-2012.

La norma chilena de diseño sísmico de edificios dirige sus lineamientos orientados a lograr el diseño de edificaciones que:

- a) Resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- b) Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- c) Aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad severa.

1.3.7.2. Zonificación sísmica

El territorio chileno actualmente se encuentra dividido en tres zonas (ver anexo 14, 15 y 16), lo cual representa el nivel de sismicidad basada en las características generales de los movimientos sísmicos. A cada zona se le asigna un factor que representa la aceleración máxima efectiva horizontal en el terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en un periodo de 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años. En otras palabras, este factor se interpretará como un porcentaje de la aceleración de la gravedad (cuadro 27).

Cuadro 27: Factor zona

FACTORES DE ZONA "Ao"	
ZONA	Ao
1	0.20g
2	0.30g
3	0.40g

Fuente: Nch433-2012

1.3.7.3. Perfiles de suelo

Actualmente la norma Nch433-2012 tiene identificado 6 perfiles de suelo clasificados mediante procedimientos que principalmente consideran la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s), o alternativamente para suelos clasificados como arenas, el promedio ponderado de los N_1 obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (S_u) para suelos cohesivos. También mediante la resistencia a la compresión simple del suelo (q_u) o mediante la designación de calidad de la roca (RQD) propuesto por la norma ASTM D 6032 (ver cuadro 28). Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación (Nch433, 2012).

Cuadro 28: Clasificación de perfil de suelos

suelo tipo		V_{s30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	N_1 (golpes/pie)	S_u (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		≥ 0.40 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		≥ 0.30 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180			≥ 30	≥ 0.05
E	Suelo de compacidad o consistencia media	< 180			≥ 20	< 0.05
F	Suelos especiales	Ver nota	Ver nota	Ver nota	Ver nota	Ver nota

Fuente: Nch433-2012.

ϵ_{qu} = Deformación unitaria desarrollada cuando se alcanza la resistencia máxima en el ensayo de compresión simple.

Nota: este tipo pertenecen los suelos licuables, saturados, orgánicos, colapsables, etc. Por ser suelos que presentan ciertas singularidades en su comportamiento mecánico, requieren estudios especiales que quedaran a criterio del proyectista (Nch433, 2012).

1.3.7.4. Parámetros de sitio, factor S y periodos T_0 y T'

La norma chilena establece valores para el factor de suelo S, y periodos T_0 y T' , factores que dependen del tipo de suelo, cuadro 29.

Cuadro 29: Parámetros que dependen del tipo de suelo

TIPO DE SUELO	S	T_0 (s)	T' (s)	n	p
A	0.9	0.15	0.20	1.00	2.0
B	1.00	0.30	0.35	1.33	1.5
C	1.05	0.40	0.45	1.40	1.6
D	1.20	0.75	0.85	1.80	1.0
E	1.30	1.20	1.35	1.80	1.0
F	---	---	---	---	---

Fuente: Nch433-2012.

1.3.7.5. Factor de amplificación sísmica C

A continuación, se describe la siguiente expresión para determinar el factor “C” según la Nch433, 2012:

$$C = \frac{2.75 * S * A_0}{g * R} * \left(\frac{T'}{T^*}\right)^n$$

Donde:

- n, T^* , S = son parámetros relativos al tipo de suelo de fundación.
- A_0 = Aceleración efectiva Máxima.
- R = factor de reducción de respuesta sísmica (ver numeral 1.3.6.9).

- T^* = periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Este parámetro en ningún caso debe ser menor a $A_0 \cdot S / 6g$, ni mayor a lo establecido en el cuadro 30:

Cuadro 30: Valor máximo de C

R	C_{max}
2	0.90 SA_0/g
3	0.60 SA_0/g
4	0.55 SA_0/g
5.5	0.40 SA_0/g
6	0.35 SA_0/g
7	0.35 SA_0/g

Fuente: Nch433-2012

Nota: para edificio cuyos elementos resistentes están conformados muros de concreto armado o por una combinación de muros y pórticos de concreto armado y paños de albañilería confinada, el valor de C se calculará según el anexo 13.

1.3.7.6. Periodo de vibración T^*

La norma chilena establece que el valor del periodo de vibración T^* en cada dirección de análisis se deberá calcular mediante un procedimiento debidamente sustentado; en tal caso y como es sabido que el periodo de vibración depende de las características de rigidez y distribución de masas de la edificación, para fines de esta investigación nos apoyaremos de una tesis realizada en el año 2018 por los señores García Mario y Vladimir Nieves, quienes elaboraron su tesis para optar el grado de ingeniero civil, haciendo una comparación de la respuesta sísmica de un edificio de concreto armado, teniendo como base la norma peruana NtpE.030-2018 y la norma chilena Nch433-2018, estos autores recomiendan la siguiente expresión para el cálculo del periodo de vibración, basada en la ordenanza general de construcciones de Chile:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Donde:

- m = Masa
- k = Rigidez
- T = Periodo de Vibración en el sentido de análisis.

1.3.7.7. Categoría de la edificación y coeficiente relativo I

La categoría de la edificación según la norma chilena está en función de la importancia y el tipo de uso que esta tenga. El cuadro 31 indica la categoría de edificación y su respectivo coeficiente relativo I.

Cuadro 31: Categoría de edificación y coeficiente I

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE RELATIVO I
I	Instalaciones agrícolas, instalaciones provisionarias, instalaciones menores de almacenaje	0.6
II	Edificaciones destinadas a la habitación privada o uso público	1.0
III	Bibliotecas, museos, y otros establecimientos que alberguen gran cantidad de personas.	1.2
IV	Hospitales, cuarteles policiales, estaciones terminales, torres de control, y demás establecimientos cuyo uso es de especial importancia en caso de una catástrofe.	1.2

Fuente: Nch433-2012

Para más detalle de la categorización de las edificaciones según la Nch433-2012 ver el anexo 17 y 18.

1.3.7.8. Sistemas estructurales

La norma Nch433, 2012 establece los sistemas estructurales por su capacidad de soportar las fuerzas sísmicas por sus elementos resistentes dotados de ciertas rigideces adecuadas que permiten que bajo estas acciones el sistema trabaje de manera óptima, estos sistemas estructurales son los siguientes:

Sistemas de muros y otros sistemas arriostrados: en estos sistemas las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por muros o por pórticos arriostrados cuyos elementos que por lo general trabajan por esfuerzo axial resisten las acciones sísmicas.

Sistemas de pórticos: las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por pórticos

Sistemas mixtos: las cargas gravitacionales y sísmicas son resistidas por una combinación de los sistemas ya mencionados previamente.

1.3.7.9. Coeficiente de reducción sísmica R (estático) y Ro (dinámico)

El cuadro 32 muestra el coeficiente de reducción sísmica R (para análisis estático) y Ro (para análisis modal espectral) según la norma chilena 433-2012 para cada sistema estructural. Este sistema refleja las características de absorción y disipación de energía de la estructura resistente. Si fuera el caso de que el edificio presente pisos con diferentes sistemas estructurales el valor de R o Ro será del subsistema que obtenga el menor R o Ro. Por otro lado, si la estructura resistente cuenta con sistemas con diferente valor de R o Ro según distintas direcciones horizontales, el análisis se deberá efectuar con el menor valor de R o Ro (Nch433, 2012).

Cuadro 32: Coeficiente de reducción sísmica R y Ro

SISTEMA ESTRUCTURAL	MATERIAL ESTRUCTURAL	R	Ro
PÓRTICOS	Hormigón armado	7	11
MUROS Y SISTEMAS ARRIOSTRADOS	Hormigón armado	7	11
	HORMIGÓN ARMADO Y ALBAÑILERÍA CONFINADA		
	Si se cumple el criterio (ver nota 1)	6	9
	Si no se cumple el criterio (ver nota 1)	4	4
	Madera	5.5	7
	Albañilería confinada	4	4
	ALBAÑILERÍA ARMADA		
	De bloques de hormigón que se llenan todos los huecos	4	4
De ladrillos cerámicos y bloques de hormigón que no se llenan todos los huecos	3	3	

Fuente: Nch433-2012

Nota 1: los muros de hormigón armado deben tomar en cada piso, el 50% del esfuerzo de corte del piso, como mínimo.

Nota 2: no procede el uso del análisis modal espectral para cualquier sistema o material que no pueda ser clasificado en alguna de las categorías anteriores por lo tanto no se establece un valor de R_o , el valor de R será igual a 2.

1.3.7.10. Regularidad estructural

La norma Nch433, 2012 no especifica criterios o condiciones de regularidad estructural, por lo que en esta norma no encontraremos un parámetro que defina de manera cuantitativa ciertas irregularidades que presenten las edificaciones. Sin embargo, se debe poner especial cuidado en el diseño de estructural irregulares (en H, en L, en T, en U, etc.) a fin de garantizar el correcto funcionamiento esta, o en caso contrario cada cuerpo se debe proyectar como una estructura separada de acuerdo al capítulo 5.10 de la norma chilena de diseño sismo resistente.

1.3.7.11. Modelo de análisis

La estructura debe ser analizada para acciones sísmicas independientes en cada una de las dos direcciones horizontales perpendiculares.

La norma Nch433, 2012 especifica que para cualquier método usado para el análisis se tendrá que considerar un modelo de la estructura que involucre como mínimo tres grados de libertad por piso: un desplazamiento horizontal en cada dirección perpendicular y la rotación del piso en torno a la vertical. De la misma forma para la selección del número de grados de libertad incluidos en el análisis se debe considerar una distribución espacial de masas y rigideces adecuados que permitan calcular las características más importantes del comportamiento de la estructura.

Por otro lado, se pueden desprestigiar los efectos de la torsión accidental en el diseño de los elementos estructurales si, al realizar el análisis indicado en 1.3.7.14.4 a) se obtienen variaciones de los desplazamientos horizontales en todos los puntos de las plantas del edificio iguales o menores al 20%, respecto del resultado obtenido del modelo con los centros de masas en su ubicación natural (Nch433, 2012).

Para efectos de esta investigación, el análisis que se realice para determinar los esfuerzos internos producidos por las acciones sísmicas, se debe considerar el comportamiento lineal elástico de la estructura que supone un sistema elástico con 5% de amortiguamiento viscoso.

1.3.7.12. Estimación de la masa sísmica.

Para la estimación de la masa sísmica se debe considerar las cargas permanentes más un porcentaje de la sobrecarga de uso, que no puede ser inferior a 25% en construcciones destinadas a la habitación privada o al uso público donde no es usual la aglomeración de personas o cosas, ni a un 50% en construcciones en que es usual esa aglomeración (Nch433, 2012).

1.3.7.13. Análisis estático

La norma Nch433, 212 limita el uso del análisis estático a las siguientes estructuras: a) todas las estructuras de las categorías I y II ubicadas en la zona 1; b) todas las estructuras de no más de 5 pisos y de altura no mayor que 20m; las estructuras de 6 a 15 pisos cuando se cumpla con las condiciones descritas en el anexo 19 para cada dirección de análisis.

1.3.7.13.1. Cortante basal

La fuerza cortante en la base para cada dirección de análisis se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_0 = CIP$$

Donde:

- C = coeficiente sísmico definido en el numeral 1.3.7.5.
- I = coeficiente relativo al edificio definido en el numeral 1.3.7.7.
- P = peso total de la edificación sobre el nivel basal calculado según 1.3.7.12.

1.3.7.13.2. Distribución de fuerza sísmica en altura

Para estructuras de no más de 5 pisos las fuerzas sísmicas horizontales se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$F_k = \frac{A_k * P_k}{\sum_{j=1}^N A_j * P_j} * Q_0$$
$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{H}}$$

Donde:

- A_k = factor de ponderación del peso asociado al nivel k.
- P_k = peso asociado al nivel k.
- Z_k = altura del nivel k, sobre el nivel basal.
- H = altura total del edificio sobre el nivel basal

Para estructuras de más de 5 pisos, pero menos de 16, se puede usar las formulas previas o cualquier otro sistema de fuerzas horizontales que satisfagan lo dispuesto en el anexo 19.

1.3.7.13.3. Análisis por torsión accidental

Los resultados del análisis hecho para las fuerzas estáticas aplicadas en cada una de las direcciones de acción sísmica, se deben combinar con los del análisis por torsión accidental. Para este efecto, se debe aplicar momentos de torsión en cada nivel, calculados como el producto de la fuerza estática que actúa en ese nivel por la excentricidad accidental dada por (Nch433, 2012):

$$\pm 0.10 * b_{ky} \frac{Z_k}{H} \quad \text{para el sismo segun X}$$
$$\pm 0.10 * b_{kx} \frac{Z_k}{H} \quad \text{para el sismo segun Y}$$

Donde:

- b_{kx} = dimensión en la dirección X, de la planta en el nivel k.

Se debe tomar igual signo para las excentricidades en cada nivel. De modo que en general es necesario considerar dos casos para cada dirección de análisis (Nch433, 2012).

1.3.7.14. Análisis dinámico modal espectral

Este método se aplica a estructuras que presentan modos de vibración con amortiguamiento modales del 5% respecto al amortiguamiento crítico (Nch433, 2012).

1.3.7.14.1. Modos de vibración

Se deben incluir en el análisis todos los modos normales ordenados según valores crecientes de las frecuencias propias, que sean necesarios para que la suma de las masas equivalentes para cada de las dos acciones sísmicas sea mayor o igual a 90% de la masa total (Nch433, 2012).

1.3.7.14.2. Criterios de combinación modal

Los desplazamientos y rotaciones de los diafragmas horizontales y las solicitaciones de cada elemento estructural se deben calcular para cada una de las direcciones de acción sísmica, superponiendo las contribuciones de cada uno de los modos de vibrar (Nch433, 2012).

Las combinaciones de los valores modales máximos se realizarán mediante la siguiente expresión, en la que las sumas Σ_i y Σ_j deberán ser sobre todos los modos considerados, además los coeficientes de acoplamiento modal ρ_{ij} se deberán determinar por el método de combinación cuadrática completa (CQC) o por CQC con ruido blanco filtrado por un suelo de características T_0 (ver anexo 20).

$$X = \sqrt{\sum_i * \sum_j * \rho_{ij} * X_i * X_j}$$

1.3.7.14.3. Espectro de diseño

Para el análisis en cada una de las direcciones horizontales se deberá usar un espectro de diseño de pseudoaceleraciones inelástico el cual se interpreta como una fracción de la aceleración de la gravedad, depende básicamente de parámetros relativos al tipo de suelo y los periodos de vibración de la estructura tal como se muestra en las ecuaciones posteriores. La figura 12 muestra de forma gráfica el espectro de diseño inelástico según la Nch433-2012.

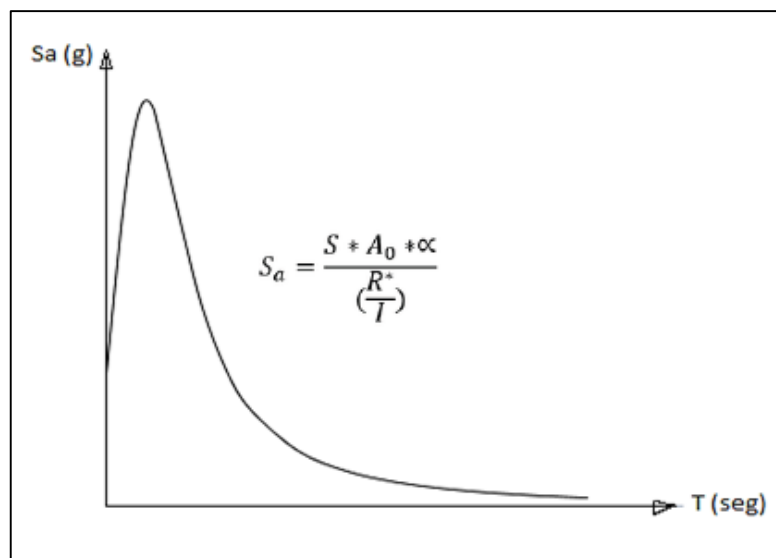


Figura 12: Espectro inelástico de diseño
Fuente: Nch433-2012

Donde:

- Los parámetros S , A_0 , I se determinan según lo mencionado en los numerales anteriores.
- El factor de amplificación α se determinará para cada modo de vibración n , mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{1 + 4.5 * \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3}$$

Dónde:

- ✓ T_n = periodo de vibración del modo n
- ✓ T_0, p = parámetros que dependen del tipo de suelo calculados en los numerales anteriores
- El factor R^* se determina mediante:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.10 * T_0 + \frac{T^*}{R_0}}$$

Donde:

- ✓ T^* = periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis
- ✓ R_0 = valor definido en los numerales anteriores.
- Alternativamente para edificios estructurados con muros, el factor de reducción R^* se puede calcular mediante:

$$R^* = 1 + \frac{NR_0}{4T_0 * R_0 + N}$$

Donde:

- ✓ N = número de pisos del edificio

1.3.7.14.4. Torsión accidental

Para el análisis en ambas direcciones horizontales se tiene que considerar una excentricidad accidental que es definida como la incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, así como también los efectos torsionales producto de esta excentricidad, este efecto torsional se calculara mediante las dos formas siguientes (Nch433, 2012):

- a) Desplazando transversalmente la ubicación de los centros de masa del modelo en $\pm 0.05 b_{ky}$ para el sismo en dirección X, y $\pm 0.05 b_{kx}$ para el sismo en dirección Y. Se debe tomar igual signo para los desplazamientos en cada nivel k, De modo que en

general es necesario considerar dos casos para cada dirección de análisis, además del caso con los centros de masas en su ubicación natural.

- b) Aplicando momentos de torsión estáticos en cada nivel calculado como el producto de la variación del esfuerzo de corte combinado en ese nivel, por una excentricidad accidental dada por:

$$\pm 0.10 * b_{ky} \frac{Z_k}{H} \quad \text{para el sismo segun X}$$

$$\pm 0.10 * b_{kx} \frac{Z_k}{H} \quad \text{para el sismo segun Y}$$

Se debe tomar igual signo para las excentricidades en cada nivel. De modo que en general es necesario considerar dos casos para cada dirección de análisis. Los resultados de estos análisis se deberán sumar a los de los análisis modales que resulten de considerar el sismo actuando según la dirección X o Y de la planta, del modelo con los centros de masas en su ubicación natural.

1.3.7.14.5. Limitaciones del esfuerzo de corte basal

Cortante basal mínimo: Es el mínimo valor que puede tomar el esfuerzo de corte basal, de no alcanzar este valor el corte basal deberá ser multiplicado por un factor, de manera que éste alcance como mínimo el valor definido. Es caso de aplicar dicho factor de amplificación, se debe multiplicar a las solicitaciones de los elementos estructurales, a los desplazamientos y a las rotaciones de los diafragmas horizontales (Nch433, 2012).

$$Q_{0min} = \frac{I * S * A_0 * P}{6g}$$

Donde:

- $Q_0 \text{ min}$ = Corte Basal Mínimo.
- A_0 = Aceleración efectiva máxima del suelo
- S = parámetro que depende del tipo de suelo.
- I = Coeficiente relativo al edificio, cuyos valores dependen de la categoría del edificio.

- P = Peso sísmico total del edificio sobre el nivel basal.

Cortante basal máximo: Este es el máximo valor que puede tomar el corte basal, depende del coeficiente sísmico máximo. En el caso que el corte basal entregado por el análisis sobrepase este valor, este deberá ser multiplicado por un factor de tal manera que sea igual o inferior al Q_{0max} . Es caso de aplicar dicho factor de reducción, se debe multiplicar a las solicitaciones de los elementos estructurales, pero no se le debe multiplicar a los desplazamientos ni a las rotaciones de los diafragmas horizontales (Nch433, 2012).

$$Q_{0max} = C_{max} * I * P$$

Donde:

- Q_0 máx = Corte Basal Máximo.
- I = Coeficiente relativo al edificio, cuyos valores dependen de la categoría del edificio.
- C máx = Coeficiente Sísmico máximo.
- P = Peso sísmico total del edificio sobre el nivel basal.

1.3.7.15. Desplazamientos laterales relativos admisibles

Los desplazamientos horizontales y rotaciones de los diafragmas de piso se deben calcular para las acciones sísmicas de diseño estipuladas en la cláusula 6, incluyendo el efecto de la torsión accidental.

El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002 (Nch433, 2012).

El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en cualquier punto de la planta en cada una de las direcciones de análisis, no debe exceder en más de 0,001h al desplazamiento relativo correspondiente medido en el centro de masas, en que h es la altura de entrepiso (Nch433, 2012).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento estructural ante las solicitaciones sísmicas aplicando la norma peruana E.030-2018, norma chilena NCh433-2012 y norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015 y cuáles son las principales diferencias de metodologías de diseño y consideraciones sísmicas de las normas en estudio para el análisis sísmico de un edificio de concreto armado?

1.5. Justificación del estudio

La necesidad de evaluar la NTP E.030-2018, NCh433-2012 y la NEC-SE-DS-2015, radicó en el propósito de dar a conocer desde un punto de vista técnico mediante un estudio comparativo, las principales consideraciones sísmicas de cada norma y su influencia en el comportamiento estructural de una edificación de concreto armado, cuyos resultados permitirán concluir cuál de estas normas considera parámetros más rigurosos y cuál de ellas dispone de una metodología de diseño y consideraciones sísmicas que garantice una mayor seguridad y un mejor comportamiento sísmico a las edificaciones de concreto armado.

Dicha comparación normativa de estos tres países que conforman el cinturón de fuego genera un aporte social importante ya que mediante éste, se podrían detectar vulnerabilidades en nuestra norma que pueden ser aprovechadas para un posterior análisis a fin de identificar aspectos o parámetros que pueden ser mejorados reduciendo al máximo la vulnerabilidad de las edificaciones, para cumplir satisfactoriamente con la filosofía que rige dicha norma, la cual es asegurar la continuidad de las edificaciones y salvaguardar la vida de las personas, teniendo como base la influencia de las normas de Chile y Ecuador, sabiendo que comparten características similares en cuanto al peligro sísmico al cual están expuestos.

El presente trabajo de investigación ayudará a fortalecer futuras investigaciones que busquen analizar, mejorar y/o interpretar de mejor manera la metodología y los parámetros existentes de las normas sísmicas de los países que conforman el cinturón de fuego teniendo como base la disertación de las normas de diseño sismo resistente de Perú, Ecuador y Chile.

1.6. Hipótesis

El análisis comparativo de las tres normas en estudio permitirá conocer cuál de estas brinda mayor seguridad y permite un mejor comportamiento estructural de la edificación en estudio, además se obtendrán diferencias en los resultados del análisis de cada norma ya que estas tienen diferentes factores de reducción, factores de amplificación sísmica y metodologías distintas para la determinación del espectro de diseño.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos general

Realizar el análisis comparativo que permita conocer que norma ofrece una mayor seguridad y un mejor comportamiento estructural ante las solicitaciones sísmicas, aplicando la norma peruana NTP E.030-2018, norma chilena NCh433-2012 y norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar la fuerza cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante un análisis sísmico aplicado a un edificio de concreto armado, utilizando los parámetros de la norma técnica peruana NTP E.030-2018.
- Determinar la fuerza cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante un análisis sísmico aplicado a un edificio de concreto armado, utilizando los parámetros de la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.
- Determinar la fuerza cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante un análisis sísmico aplicado a un edificio de concreto armado, utilizando los parámetros de la norma chilena NCh433-2012.

- Evaluar el parámetro reducción sísmica, según lo establecido en la NTPE.030-2018, NEC-SE-DS-2015 y NCH433-2012.
- Evaluar el parámetro amplificación sísmica, según lo establecido en la NTPE.030-2018, NEC-SE-DS-2015 y NCH433-2012.
- Evaluar el parámetro respuesta espectral, según lo establecido en la NTPE.030-2018, NEC-SE-DS-2015 y NCH433-2012.

II. MÉTODO

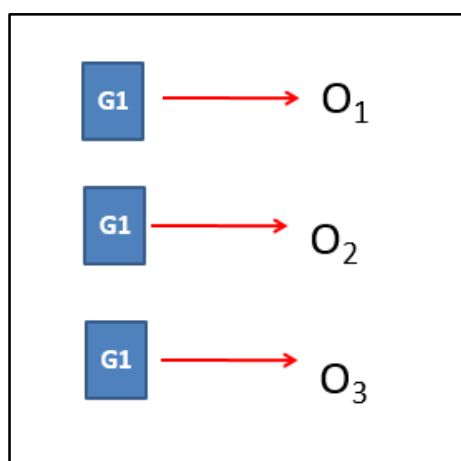
2.1. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental ya que se realiza sin manipular deliberadamente las variables, además no se asignan aleatoriamente a los tratamientos, (Hernández, Fernández, Bapista,2014).

El diseño de la presente investigación es de tipo transversal porque recopila datos en un momento preciso. Tiene el propósito de es realizar la descripción de las variables y analizar su influencia en un momento dado, (Hernández, Fernández, Bapista,2014).

La presente investigación es de carácter descriptivo ya que “Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández, Fernández, Bapista,2014).

El esquema del diseño de investigación será:



G1: Edificio de Concreto Armado.

O1: Parámetros de diseño sísmico resistente de la norma peruana NTP E.030-2018

O2: Parámetros de diseño sísmico resistente de la norma chilena NCh 433-2012

O3: Parámetros de diseño sísmico resistente de la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015.

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1. Variable:

Comportamiento estructural:

El comportamiento estructural es la respuesta que tiene la estructura de un edificio a la acción de la fuerza cortante debido al sismo que recibe en su base y que es transmitida hacia la superestructura (Ibrahim, Ahmed y Malek, Amirbrahim, 2016).

Definición Operacional:

Se medirá a través de la magnitud de los desplazamientos, fuerzas cortantes y derivas obtenidas mediante un análisis estático y dinámico.

Indicadores:

Desplazamientos laterales, fuerzas laterales y distorsiones de entre piso (derivas).

Cuadro 33: matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Comportamiento estructural de un edificio de concreto armado	Análisis sísmico estático	Análisis estático lineal que consta en calcular y distribuir las fuerzas laterales. (Hansen,2012)	Se realizará según las especificaciones de la NTP E.030-2018, NCh433-2012 y NEC-SE-DS-2015	Desplazamiento (cm)	Razón
				Distorsiones de ente piso (drifts)	Razón
				Fuerza cortante (Tn)	Razón
				Espectro de diseño (g)	Razón
	Análisis sísmico dinámico	Análisis sísmico que trabaja con los espectros de aceleración obtenidos y combinándolos con los modos de vibración. (Hansen, 2012)	Se realizará según las especificaciones de la NTP E.030-2018, NCh433-2012 y NEC-SE-DS-2015	Desplazamiento (cm)	Razón
				Distorsiones de ente piso (drifts)	Razón
				Fuerza cortante (Tn)	Razón
				Espectro de diseño (g)	Razón

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

El grupo investigador optó por considerar las variables, que fueron medidas y los resultados sirvieron para describir el fenómeno de interés. De tal forma se consideró como población una edificación de concreto armado, con un sistema resistente de muros estructurales cuyo uso está destinado para oficinas la cual se ubicará en tres países distintos, Perú, Ecuador y Chile para su respectivo análisis.

2.3.2. Muestra

Para la presente investigación la muestra es no probabilística, considerando que nuestra muestra es igual a nuestra población.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnica

La técnica que se utilizó para la recolección de datos fue el análisis de documentos y la observación.

2.4.2. Instrumento

El instrumento que se utilizó para la recolección de datos fue la guía de análisis de documentos y la guía de observación

2.5. Métodos de análisis de datos

Cabe resaltar que para el análisis se consideró en lo posible las mismas condiciones de sitio (suelo y grado de sismicidad), para mantener la uniformidad de dichos parámetros de sitio la ubicación en los tres países (Ecuador; Perú y Chile) fue determinada por el tipo de suelo y el grado de sismicidad de cada país en estudio.

En cada país se realizó el análisis sísmico con las consideraciones anteriormente mencionadas obteniendo resultados para su comparación con el fin de saber el grado de rigurosidad y/o flexibilidad en el control del comportamiento estructural de una edificación de concreto armado estableciendo así las principales diferencias en la metodología de diseño y consideraciones sísmicas que dispone cada norma en estudio.

Se realizaron dos tipos de comparaciones: una comparación de carácter cualitativo que se basaron en comparar cada norma con la norma peruana para identificar similitudes o diferencias en cuanto a metodologías de diseño, procedimientos y consideraciones sísmicas (parámetros) tales como: filosofía de diseño, zonificación, parámetros de sitio, clasificación de suelo, factor de amplificación sísmica, factor de reducción sísmica, clasificación de las edificaciones según su uso e importancia, irregularidades estructurales, estimación de pesos, métodos de análisis sísmico, periodos de retorno y probabilidades de excedencia, coeficientes de amortiguamiento, entre otros.

Por otro lado, se realizó una comparación de carácter cuantitativo basado en los resultados obtenidos producto del análisis sísmico, tales como: la respuesta espectral ya que permite evaluar el nivel de energía a la que se somete la estructura, el factor de reducción sísmica ya que representa la capacidad que tiene la estructura de disipar la energía inelásticamente, el factor de amplificación sísmica que junto con el espectro de diseño permite evaluar el nivel de energía a la que se somete la estructura, el cortante basal ya que es el resultado final de las acciones sísmicas con el cual se diseña la estructura y por último los desplazamientos laterales y derivas de entrepiso ya que permiten evaluar el comportamiento de la estructura ante las sollicitaciones sísmicas.

Para la obtención y análisis de resultados, en la presente investigación se utilizó hojas electrónicas en plataforma Excel 2013, donde se realizaron cálculos para pre diseño y obtención de fuerzas horizontales, así como también se utilizó la herramienta computacional ETABS.v16.2.1 en su versión educativa para el modelamiento y análisis sísmico lineal de las edificaciones en estudio, las tablas, resultado del análisis realizadas en el programa Etabs han sido exportadas a Excel, lo que ha facilitado el análisis de derivas, chequeos modales, cargas, periodos, fuerzas cortantes, etc. además de ello se usaron otras herramientas tales como: autodesk AutoCAD, google earth; y bajo los parámetros de normas de diseño sismo

resistente tales como: Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018, Norma de Diseño Sísmico resistente de Chile NCh433-2012 y Norma Sísmico resistente de Ecuador NEC-SE-DS-2015.

2.6. Aspectos éticos

Se garantizó la veracidad de los datos utilizando versiones vigentes de las normas NTP E.030, NCh433 y NEC-SE-DS-2015, además se hizo uso de la herramienta computacional ETABS.v16.2.1 en su versión educativa con número de licencia: *1QN957JF46V8VG4.

Se mantuvo el respeto a la propiedad intelectual de cada uno de los autores citados, mediante el uso oportuno y adecuado de las citas correspondientes.

El desarrollo de la presente investigación no causó impactos ambientales negativos en las áreas de estudio, ni daños que pongan en riesgo la biodiversidad y recursos aprovechables para futuras generaciones.

III. RESULTADOS

El estudio se aplicó a un edificio destinado para oficinas, las características, la estructuración y el pre dimensionamiento se consideraron iguales para todos los casos de análisis realizados en este estudio. Por otro lado, la ubicación de dicho edificio en las fronteras de los países Ecuador; Perú y Chile, está determinada por el tipo de suelo y el grado de sismicidad de cada país en estudio, esto para mantener la uniformidad de los parámetros de sitio. El cuadro 34 describe los rangos de clasificación que se usaron para determinar el suelo y la zona sísmica.

Cuadro 34: rangos de clasificación de suelo y zona

EDIFICIO	SUELO	ZONA
7 pisos más un sótano (ME)	1. suelo rígido con Vs entre 500—1500 m/s, con SPT entre >50 golpes, Su >100 kPa.	1. zona de alta sismicidad (costa)
	2. suelo medianamente rígido con Vs entre 180—500 m/s, con SPT entre 15—50 golpes, Su entre 50—100 kPa.	2. zona de alta sismicidad (sierra)

3.1. Características del edificio

Para el estudio se usó un edificio de concreto armado basado en muros estructurales destinado para uso de oficinas, cuenta con 7 niveles y un sótano, un cuarto de máquinas después del séptimo nivel, ascensor y escaleras, el plano de la edificación se puede apreciar en el anexo 21, 22, 23 y 24. Se ubicó en zona limítrofe Perú-Ecuador y Perú-Chile, considerando dos tipos de suelo y dos tipos de zona diferentes, determinados en función a las características del cuadro 33. Con lo cual se realizó una combinación que resulto en 4 casos de análisis a considerar en cada país tal como se aprecia en el cuadro 35.

Cuadro 35: casos de análisis para cada país

	Ecuador		Peru		Chile	
	zona	suelo	zona	suelo	zona	suelo
caso 1	V	C	4	S1	3	B
caso 2	V	D	4	S2	3	D
caso 3	IV	C	3	S1	2	B
caso 4	IV	D	3	S2	2	D

3.2. Estructuración del edificio

El sistema estructural del edificio está basado en muros estructurales ya que cuenta con muros estructurales que absorben más del 80% del corte basal en cada dirección de análisis (X e Y). cuenta con vigas peraltadas en los ejes principales, se consideraron placas de 30cm y 25cm en cada dirección de análisis, distribuidas de tal manera que de estabilidad a la estructura y brinde rigidez lateral en ambas direcciones controlando los efectos torsionales en planta.

Se consideraron adicionalmente columnas de diferentes áreas en los ejes B, D, y F. Se optó por colocar losas aligeradas armadas en dos direcciones, ya que el edificio posee paños más o menos cuadrados, además se consideraron losas macizas en la parte de los baños y en los pasadizos cerca al ascensor. La edificación tiene continuidad estructural tanto en planta como en elevación, con elementos que no cambian de manera brusca su rigidez, esto garantiza la estabilidad de la estructura y asegura una transferencia de cargas adecuadamente desde un punto de aplicación hasta un punto final de resistencia, el anexo 26 muestra una vista en 3d de la estructuración del edificio.

3.3. Pre dimensionamiento

3.3.1. Columnas

Las columnas son sometidas por lo general a cargas axiales y momentos flectores, por tanto, estas deben ser pre dimensionadas teniendo en cuenta los dichos efectos, evaluando cuál de estos efectos es el que tiene mayor influencia en dicho dimensionamiento. Generalmente

para edificios cuyo sistema estructural se basa en muros de corte en las dos direcciones y en donde la rigidez lateral y la resistencia está controlada por los muros, el área de columna se puede calcular como sigue (blanco, 1995):

Para columnas centrales:

$$Area\ de\ columna = \frac{P(Servicio)}{0.45f^c}$$

Para columnas laterales y Esquinadas:

$$Area\ de\ columna = \frac{P(Servicio)}{0.35f^c}$$

Donde:

$P(\text{servicio}) = P * \text{Atributaria} * N\text{pisos}$

P = Carga unitaria en función a la categoría de la edificación (categoría C = 1000kg/m²)

Para una zona sísmica el área de columna no deberá ser menor a 1000cm²

F^c = resistencia a la compresión del concreto (210 kg/cm²).

Realizando los cálculos descritos con anterioridad, el cuadro 36 muestra el resumen de las dimensiones de columnas obtenidas.

Cuadro 36: resumen pre dimensionamiento de columnas

EJES	b (cm)	a (cm)	AREA (cm ²)
B1	40	50	2000
B2	40	80	3200
B3	40	100	4000
B4	40	100	4000
D3	40	80	3200
F1	40	50	2000
F2	40	80	3200
F3	40	100	4000
F4	40	100	4000

Cabe mencionar que las columnas nacen en el sótano y terminan en el nivel 7 manteniendo las dimensiones descritos según el cuadro 35, con excepción de los ejes B3, B4, F3 y F4 cuyas columnas sufrieron una reducción en sus secciones a 40*80 cm en el nivel 6 y 7, resultando en una variación de 20%, sin embargo, esto no supone una reducción brusca de rigidez

3.3.2. Vigas

Las vigas se dimensionan por lo general considerando un peralte que se calcula según 1/10 a 1/12 de las luces libres, este peralte incluye el espesor de losa del techo (blanco, 1995). La Norma Peruana E060 Concreto Armado indica que las vigas deben tener un ancho mínimo de 25 cm. para el caso que éstas formen parte de pórticos o elementos sismo resistentes de estructuras de concreto armado. Sin embargo, es recomendable que el ancho se considere en un rango de 1/2 a 2/3 del peralte.

Realizando los cálculos se obtuvieron diferentes dimensiones de vigas siendo las principales en cada dirección de análisis de 30x60cm, adicionalmente se dimensionaron vigas de 25x40cm y 30x40cm, el anexo 27 muestra la vista en planta del modelo en etabs de la edificación donde se aprecian las secciones de las vigas las cuales se repiten en todos los niveles.

3.3.3. Losas aligeradas en dos direcciones

Las losas aligeradas armadas en dos direcciones se usan generalmente cuando se tienen paños más o menos cuadrados y de luces mayores a 6 metros (blanco, 1995). El espesor de mínimo puede dimensionarse mediante la siguiente expresión

$$e = \frac{k * L2}{\lambda} + 1.5 \text{ cm}$$

Donde:

L2 = longitud más corta de la losa

$\lambda = 35$ para losa de piso

$\lambda = 40$ para losa de techo

k = está en función a la figura 15 del anexo 25.

Se tiene una luz máxima que varía entre 6.0m y 6.6m, por lo que se obtuvo un espesor de losa de h=20cm armada en dos direcciones, la ubicación de esta losa se puede apreciar en el anexo 28.

3.3.4. Losa macizas

El espesor de la losa maciza puede considerarse según las siguientes expresiones:

$$e = \frac{L}{40} \quad \text{ó} \quad \frac{L}{24} - 0.05cm$$

Siguiendo el cálculo se consideraron losas macizas de 17.5cm para los paños de los baños, alrededor de la caja de ascensor y en los descansos de escaleras y 20cm en el techo del cuarto de máquinas ya que se supone soportaría el peso del tanque que se suele ubicar en esa zona. Por otro lado, con fines prácticos la escalera se modeló como una rampa de 25cm de espesor para facilitar el modelamiento de la misma en el programa etabs, ver anexo 28 para más detalle.

3.3.5. Muros de concreto armado

Es difícil disponer de un dimensionamiento exacto para las placas ya que la principal función de estas es absorber las fuerzas del sismo, por lo que, a mayor cantidad de placas, tomarán un mayor porcentaje de cortante aliviando a los pórticos. Se recomienda usar placas con espesores de 15cm en el caso de edificios de pocos pisos y de 20, 25 ó 30cm conforme aumente el número de pisos (blanco, 1995).

La densidad de placas para cada una de las direcciones (X e Y) se suele determinar en función al cortante basal, usando la siguiente expresión:

$$L_{x,y} = \frac{V_{basal}}{\phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * b * (0.8)}$$

Donde:

$L_{x,y}$ = longitud de placas en cada una de las direcciones de análisis

ϕ = factor de reducción de resistencia por corte del concreto (0.85)

$F'c$ = resistencia a la compresión del concreto (210 kg/cm²)

b = espesor de la placa

V_{basal} = cortante basal en la dirección de análisis

En este caso se consideraron placas con espesores de 30cm y 25cm en cada una de las direcciones de análisis, distribuidas de tal manera que de estabilidad a la estructura y ajustándose a la arquitectura del edificio, así como también controlando en lo posible los efectos torsionales extremos, ver anexo 21, 22, 22 y 24.

3.4. Cálculo de cargas

El peso de la edificación se calculó adicionando al peso propio de la estructura la carga muerta adicional correspondiente al piso terminado, la tabiquería y los acabados, más un porcentaje de la carga viva correspondiente a cada nivel. En este caso como la edificación es de categoría C, el peso sísmico es el siguiente:

$$100\%CM + 25\%CV + 25\%CVT$$

El cuadro 37 muestra el resumen de cargas por metro cuadrado que se adiciono al peso propio de la estructura, según la norma peruana de cargas NTP-E.020. Cabe mencionar que en el techo 7 solo se consideró el peso de tabiquería en los paños de los extremos ya que es azotea, por otro lado, en las escaleras (rampa y descanso) se consideró $CM=0.120$ y $CV=0.400$ toneladas en todos los casos.

Cuadro 37: carga muerta adicional y cargas vivas usadas para el cálculo del peso sísmico

NIVEL	CARGA MUERTA ADICIONAL			CARGA VIVA				
	PISO TERM	TABIQUERIA	ACABADOS	BAÑOS	SALA COMPUTO	OFICINAS	OTROS	CORREDORES
	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²
CM	0.1	0	0.02				0.25	
NIVEL 7	0.1	0.1	0.02	0.25			0.25	0.25
NIVEL 6	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
NIVEL 5	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
NIVEL 4	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
NIVEL 3	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
NIVEL 2	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
NIVEL 1	0.1	0.15	0.02	0.25		0.5		0.4
SOTANO	0.1	0.15	0.02	0.25	0.25			0.4

El cuadro 38 muestra el resumen del peso total de la edificación distribuido por cada nivel, considerando el 100% del peso propio, 100% de la carga muerta adicional y 100% de la carga viva (CV y CVT) de la estructura, obteniéndose como peso total de la estructura 6514 toneladas aproximadamente, observándose que del primer al quinto nivel el peso total es 828.209 toneladas, el sexto nivel cuenta con un peso total de 825.867 toneladas y el séptimo nivel presenta un peso total de 673.259 toneladas debido a la reducción en las secciones (columnas y placas) y las cargas permanentes y vivas de techo.

Cuadro 38: resumen del peso total de la edificación 100%CM, 100%CV y 100%CVT

NIVEL	CM ADICIONAL	PESO PROPIO				CARGA VIVA	CARGA VIVA TECHO	PESO TOTAL
		COLUMNAS	VIGAS	PLACAS	LOSAS			
	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
CM	5.114	0.000	2.448	48.6018	20.45448	0.000	10.653	87.271
NIVEL 7	102.036	22.176	70.35648	202.73732	135.22413	13.053	127.676	673.259
NIVEL 6	141.806	22.176	70.35648	202.73732	135.22413	253.567	0.000	825.867
NIVEL 5	141.806	24.864	70.01088	202.73732	135.22413	253.567	0.000	828.209
NIVEL 4	141.806	24.864	70.01088	202.73732	135.22413	253.567	0.000	828.209
NIVEL 3	141.806	24.864	70.01088	202.73732	135.22413	253.567	0.000	828.209
NIVEL 2	141.806	24.864	70.01088	202.73732	135.22413	253.567	0.000	828.209
NIVEL 1	141.806	24.864	70.01088	202.73732	135.22413	253.567	0.000	828.209
SOTAN O	141.565	20.602	49.72416	264.22093	136.05573	174.879	0.000	787.046
TOTAL	1099.551	189.274	542.940	1731.984	1103.079	1709.333	138.329	6514.490

El cuadro 39 muestra el resumen del peso sísmicos de la edificación, considerando 100% CM + 25%CV+ %25 CVT, donde se obtuvo un peso sísmico total de la estructura igual a 4360.941 toneladas, tanto para el eje X como para el eje Y. cabe resaltar que el análisis se realizó a partir del nivel 1 hasta el nivel 7, por lo que del cuarto de máquinas solo se tomó su masa, mas no es objeto de análisis ni se tomó en cuenta la respuesta sísmica en este nivel.

Cuadro 39: resumen del peso sísmico 100%CM+25%CV+25%CVT

NIVELES	UX	UY	UX	UY
	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	tonf	Tonf
CM	5.606	5.606	54.980	54.980
NIVEL 7	49.093	49.093	481.442	481.442
NIVEL 6	64.823	64.823	635.692	635.692
NIVEL 5	64.924	64.924	636.690	636.690
NIVEL 4	65.061	65.061	638.034	638.034
NIVEL 3	65.061	65.061	638.034	638.034
NIVEL 2	65.061	65.061	638.034	638.034
NIVEL 1	65.061	65.061	638.034	638.034
TOTAL			4360.941	4360.941

3.5. Análisis sísmico con la norma peruana NTP-E.030-2018

El cuadro 40 muestra los casos de análisis descritos en el cuadro 34, así como los respectivos factores utilizados tanto para el análisis estático como dinámico según la norma peruana en estudio.

Cuadro 40: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NTP E.030

	caso1		caso2		caso3		caso4	
	Z4	S1	Z4	S2	Z3	S1	Z3	S2
factor de zona (Z)	0.45		0.45		0.35		0.35	
factor de uso (U)	1		1		1		1	
factor de amplificación sísmica (C)	Cx=2.2075 Cy=2.0618		Cx=2.5 Cy=2.5		Cx=2.2075 Cy=2.0618		Cx=2.5 Cy=2.5	
Tp	0.4		0.6		0.4		0.6	
TL	2.5		2		2.5		2	
factor de suelo (S)	1		1.05		1		1.15	
coeficiente de reducción sísmica (Ro)	6		6		6		6	
factor de irregularidad en altura (Ia)	1		1		1		1	
factor de irregularidad en planta (Ip)	0.75		0.75		0.75		0.75	
periodo fundamental (T)	Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485	
Ct	60		60		60		60	
altura del edificio (hn)	27.10		27.10		27.10		27.10	

Nota 1: la resistencia a la compresión del concreto es de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, con un módulo de elasticidad $E = 217370.651193 \text{ Kg/cm}^2$, un coeficiente de poisson $\nu = 0.20$ y un peso específico $\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$ para todos los casos.

Nota 2: la estructura no presenta irregularidades en altura, sin embargo, si presenta irregularidad en planta del tipo torsional, esto se verifico mediante el procedimiento descrito en el numeral 3.5 de la NTP E.030, dicha verificación se detalla en el anexo 29.

3.5.1. Resultados del análisis, caso 1

El cuadro 41 muestra los modos de vibración de la estructura y su respectiva masa participativa, se consideró 21 modos (3 por nivel), alcanzando una participación de masa efectiva de 95% aproximadamente, cumpliendo así con el mínimo establecido en la NTP-

E.030 (90%). También se logra apreciar que, entre los tres primeros modos predominantes, dos corresponden a efectos de traslación y uno a rotación. Cabe resaltar que estos valores se obtuvieron mediante un análisis modal considerando las características de rigidez y distribución de masas de la estructura, en tanto por tratarse de la misma estructura, estos valores se usaron en los cuatro casos de análisis.

Cuadro 41: Periodos de vibración y masas participativas

Modo	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
1	0.485	0.0199	0.6605	0.0199	0.6605	0.0185	0.0185
2	0.453	0.514	0.0343	0.5338	0.6948	0.1605	0.179
3	0.345	0.1667	0.002	0.7005	0.6968	0.5341	0.7131
4	0.121	0.0484	0.072	0.7489	0.7689	0.0273	0.7405
5	0.117	0.0464	0.0875	0.7953	0.8563	0.0174	0.7579
6	0.081	0.0651	0.0003	0.8604	0.8566	0.102	0.8599
7	0.056	0.0117	0.0306	0.8721	0.8872	0.009	0.8689
8	0.054	0.0204	0.0194	0.8925	0.9066	0.0118	0.8807
9	0.037	0.0172	0.00003324	0.9097	0.9066	0.03	0.9126
10	0.034	0.0012	0.0216	0.9109	0.9282	0.0007	0.9133
11	0.032	0.0149	0.0018	0.9258	0.93	0.0081	0.9214
12	0.025	0.0001	0.0083	0.9259	0.9383	0.0016	0.9231
13	0.024	0.0005	0.0029	0.9264	0.9412	0.0084	0.9315
14	0.024	0.008	0.0002	0.9344	0.9414	0.0056	0.9371
15	0.022	0.0058	1.77E-05	0.9402	0.9414	0.0042	0.9413
16	0.02	5.087E-07	0.005	0.9402	0.9464	0.00002095	0.9413
17	0.018	0.0046	0.00000415	0.9449	0.9464	0.0007	0.942
18	0.018	0.001	0.0001	0.9458	0.9466	0.009	0.951
19	0.018	2.00E-04	0.0012	0.9461	0.9478	1.00E-04	0.9511
20	0.017	0.00003184	0.0007	0.9461	0.9484	0	0.9511
21	0.016	0.0012	0.00001205	0.9473	0.9484	0.0004	0.9514

El cuadro 42 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 962.68 toneladas con su

respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 899.16 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 42: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	23.8630174	23.8630174	22.2885502	22.2885502
NIVEL 7	3.5	188.91197	212.774987	176.447675	198.736225
NIVEL 6	3.5	213.803495	426.578482	199.696873	398.433098
NIVEL 5	3.5	178.449412	605.027894	166.67543	565.108528
NIVEL 4	3.5	143.060883	748.088777	133.621815	698.730342
NIVEL 3	3.5	107.295662	855.384439	100.216361	798.946703
NIVEL 2	3.5	71.5304416	926.914881	66.8109073	865.757611
NIVEL 1	3.5	35.7652208	962.680102	33.4054537	899.163064

El cuadro 43 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.374cm y 0.400cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 43: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.915659	2.499831		
NIVEL 7	3.5	2.157972	2.38272	0.273768	0.33914
NIVEL 6	3.5	1.884204	2.04358	0.315452	0.370819
NIVEL 5	3.5	1.568752	1.672761	0.352609	0.39402
NIVEL 4	3.5	1.216143	1.278741	0.373855	0.400277
NIVEL 3	3.5	0.842288	0.878464	0.363652	0.378246
NIVEL 2	3.5	0.478636	0.500218	0.308569	0.31679
NIVEL 1	3.5	0.170067	0.183428	0.170067	0.183428

El cuadro 44 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.299cm y 0.371cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 44: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.818384	2.43308		
NIVEL 7	3.5	1.778815	2.210098	0.242036	0.317717
NIVEL 6	3.5	1.536779	1.892381	0.2766	0.346162
NIVEL 5	3.5	1.260179	1.546219	0.29392	0.366339
NIVEL 4	3.5	0.966259	1.17988	0.299413	0.370797
NIVEL 3	3.5	0.666846	0.809083	0.283477	0.349298
NIVEL 2	3.5	0.383369	0.459785	0.240352	0.291969
NIVEL 1	3.5	0.143017	0.167816	0.143017	0.167816

El cuadro 45 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00409 y 0.00437 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 45: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00299	0.00371	0.007
NIVEL 6	3.5	0.00345	0.00405	0.007
NIVEL 5	3.5	0.00385	0.00431	0.007
NIVEL 4	3.5	0.00409	0.00437	0.007
NIVEL 3	3.5	0.00397	0.00413	0.007
NIVEL 2	3.5	0.00337	0.00346	0.007
NIVEL 1	3.5	0.00186	0.00200	0.007

El cuadro 46 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 605.295 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 676.981 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 46: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	17.8921	17.8921	21.7804	21.7804
NIVEL 7	3.5	131.8584	149.7505	154.823	176.6034
NIVEL 6	3.5	138.4041	288.1546	152.5057	329.1091
NIVEL 5	3.5	108.2039	396.3585	115.932	445.0411
NIVEL 4	3.5	84.5766	480.9351	90.6782	535.7193
NIVEL 3	3.5	63.5607	544.4958	70.2602	605.9795
NIVEL 2	3.5	42.0528	586.5486	48.6157	654.5952
NIVEL 1	3.5	18.746	605.2946	22.3853	676.9805

El cuadro 47 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.351cm y 0.321cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 47: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.203934	1.936599		
NIVEL 7	3.5	2.007752	1.91038	0.248715	0.272805
NIVEL 6	3.5	1.759037	1.637575	0.290446	0.298456
NIVEL 5	3.5	1.468591	1.339119	0.328752	0.316847
NIVEL 4	3.5	1.139839	1.022272	0.351378	0.321269
NIVEL 3	3.5	0.788461	0.701003	0.34289	0.302846
NIVEL 2	3.5	0.445571	0.398157	0.289489	0.252766
NIVEL 1	3.5	0.156082	0.145391	0.156082	0.145391

El cuadro 48 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.200cm y 0.283cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 48: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(cm)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.101609	1.852346		
NIVEL 7	3.5	1.163518	1.68695	0.142678	0.245054
NIVEL 6	3.5	1.02084	1.441896	0.180452	0.266287
NIVEL 5	3.5	0.840388	1.175609	0.194499	0.280583
NIVEL 4	3.5	0.645889	0.895026	0.200532	0.282624
NIVEL 3	3.5	0.445357	0.612402	0.190974	0.265082
NIVEL 2	3.5	0.254383	0.34732	0.161259	0.22075
NIVEL 1	3.5	0.093124	0.12657	0.093124	0.12657

El cuadro 49 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00385 y 0.00352 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 49: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTPE.030
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.001661	0.002769	
NIVEL 7	3.5	0.002747	0.003002	0.007
NIVEL 6	3.5	0.003205	0.003285	0.007
NIVEL 5	3.5	0.003616	0.003483	0.007
NIVEL 4	3.5	0.003853	0.003523	0.007
NIVEL 3	3.5	0.003752	0.003315	0.007
NIVEL 2	3.5	0.003165	0.002764	0.007
NIVEL 1	3.5	0.001706	0.001589	0.007

La figura 13 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 50 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

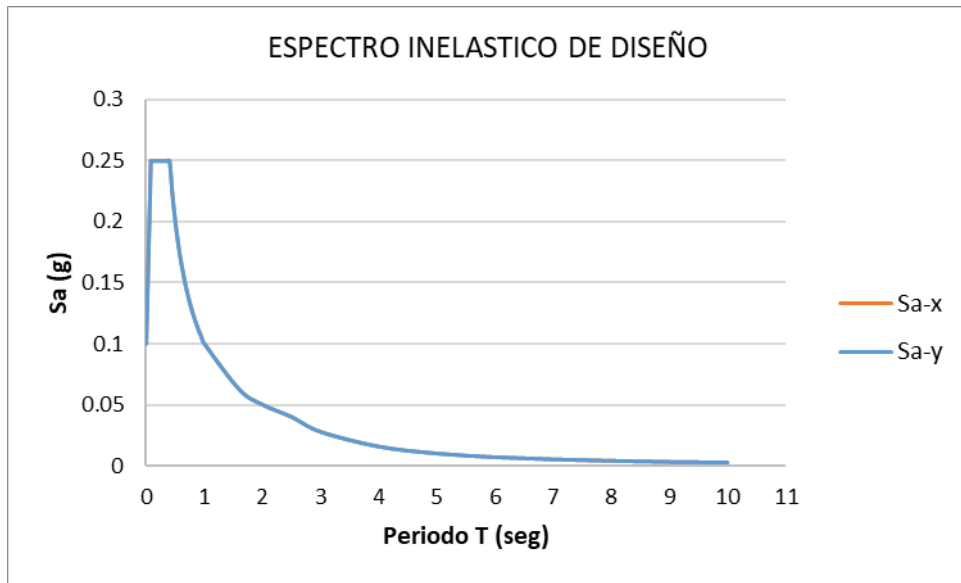


Figura 13: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 50: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	C	ZUCS/R	Sa
0	1	0.1	0.980665
0.02	1.375	0.1375	1.34841438
0.04	1.75	0.175	1.71616375
0.06	2.125	0.2125	2.08391313
0.08	2.5	0.25	2.4516625
0.1	2.5	0.25	2.4516625
0.12	2.5	0.25	2.4516625
0.14	2.5	0.25	2.4516625
0.16	2.5	0.25	2.4516625
0.18	2.5	0.25	2.4516625
0.2	2.5	0.25	2.4516625
0.25	2.5	0.25	2.4516625
0.3	2.5	0.25	2.4516625
0.35	2.5	0.25	2.4516625
0.4	2.5	0.25	2.4516625
0.45	2.22222222	0.22222222	2.17925556
0.5	2	0.2	1.96133
0.55	1.81818182	0.18181818	1.78302727
0.6	1.66666667	0.16666667	1.63444167
0.65	1.53846154	0.15384615	1.50871538
0.7	1.42857143	0.14285714	1.40095
0.75	1.33333333	0.13333333	1.30755333
0.8	1.25	0.125	1.22583125
0.85	1.17647059	0.11764706	1.15372353
0.9	1.11111111	0.11111111	1.08962778
0.95	1.05263158	0.10526316	1.03227895
1	1	0.1	0.980665
1.6	0.625	0.0625	0.61291563
2	0.5	0.05	0.4903325
2.5	0.4	0.04	0.392266
3	0.27777778	0.02777778	0.27240694
4	0.15625	0.015625	0.15322891
5	0.1	0.01	0.0980665
6	0.06944444	0.00694444	0.06810174
7	0.05102041	0.00510204	0.05003393
8	0.0390625	0.00390625	0.03830723
9	0.0308642	0.00308642	0.03026744
10	0.025	0.0025	0.02451663

3.5.2. Resultados del análisis, caso 2

El cuadro 51 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 1144.747 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 51: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	28.3761	28.376	28.3761	28.376
NIVEL 7	3.5	224.6399	253.016	224.6399	253.016
NIVEL 6	3.5	254.2391	507.255	254.2391	507.255
NIVEL 5	3.5	212.1987	719.454	212.1987	719.454
NIVEL 4	3.5	170.1173	889.571	170.1173	889.571
NIVEL 3	3.5	127.5880	1017.159	127.5880	1017.159
NIVEL 2	3.5	85.0586	1102.218	85.0586	1102.218
NIVEL 1	3.5	42.5293	1144.747	42.5293	1144.747

El cuadro 52 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.445cm y 0.510cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 52: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.277964	3.182528		
NIVEL 7	3.5	2.566105	3.033435	0.325545	0.431758
NIVEL 6	3.5	2.24056	2.601677	0.375113	0.472088
NIVEL 5	3.5	1.865447	2.129589	0.419297	0.501627
NIVEL 4	3.5	1.44615	1.627962	0.444562	0.509592
NIVEL 3	3.5	1.001588	1.11837	0.432428	0.481543
NIVEL 2	3.5	0.56916	0.636827	0.366929	0.403306
NIVEL 1	3.5	0.202231	0.233521	0.202231	0.233521

El cuadro 53 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.356cm y 0.472cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 53: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.162292	3.097549		
NIVEL 7	3.5	2.115238	2.813671	0.287811	0.404485
NIVEL 6	3.5	1.827427	2.409186	0.328913	0.440698
NIVEL 5	3.5	1.498514	1.968488	0.349508	0.466385
NIVEL 4	3.5	1.149006	1.502103	0.35604	0.472061
NIVEL 3	3.5	0.792966	1.030042	0.337091	0.444691
NIVEL 2	3.5	0.455875	0.585351	0.285809	0.371705
NIVEL 1	3.5	0.170066	0.213646	0.170066	0.213646

El cuadro 54 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00486 y 0.00557 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 54: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTPE.030
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00356	0.00472	0.007
NIVEL 6	3.5	0.00410	0.00516	0.007
NIVEL 5	3.5	0.00458	0.00548	0.007
NIVEL 4	3.5	0.00486	0.00557	0.007
NIVEL 3	3.5	0.00473	0.00526	0.007
NIVEL 2	3.5	0.00401	0.00441	0.007
NIVEL 1	3.5	0.00221	0.00255	0.007

El cuadro 55 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 702.981 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 847.293 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 55: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	18.7661	18.7661	25.6893	25.6893
NIVEL 7	3.5	150.918	169.6841	188.995	214.6843
NIVEL 6	3.5	163.0816	332.7657	194.9786	409.6629
NIVEL 5	3.5	129.3367	462.1024	151.4112	561.0741
NIVEL 4	3.5	100.5694	562.6718	117.2736	678.3477
NIVEL 3	3.5	73.846	636.5178	87.5618	765.9095
NIVEL 2	3.5	46.8369	683.3547	57.035	822.9445
NIVEL 1	3.5	19.6263	702.981	24.3489	847.2934

El cuadro 56 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.419cm y 0.410cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 56: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.403845	2.459962		
NIVEL 7	3.5	2.390217	2.433844	0.295976	0.34694
NIVEL 6	3.5	2.094241	2.086904	0.345864	0.380081
NIVEL 5	3.5	1.748377	1.706823	0.391667	0.404032
NIVEL 4	3.5	1.35671	1.302791	0.418607	0.409923
NIVEL 3	3.5	0.938103	0.892868	0.408249	0.386256
NIVEL 2	3.5	0.529854	0.506612	0.34434	0.321908
NIVEL 1	3.5	0.185514	0.184704	0.185514	0.184704

El cuadro 57 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.237cm y 0.359cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 57: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.256085	2.348945		
NIVEL 7	3.5	1.367654	2.140278	0.16498	0.310649
NIVEL 6	3.5	1.202674	1.829629	0.211903	0.337888
NIVEL 5	3.5	0.990771	1.491741	0.229031	0.356349
NIVEL 4	3.5	0.76174	1.135392	0.236606	0.359027
NIVEL 3	3.5	0.525134	0.776365	0.225487	0.33651
NIVEL 2	3.5	0.299647	0.439855	0.190248	0.279774
NIVEL 1	3.5	0.109399	0.160081	0.109399	0.160081

El cuadro 58 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00459 y 0.00449 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 58: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.001917	0.003506	
NIVEL 7	3.5	0.003261	0.003809	0.007
NIVEL 6	3.5	0.003808	0.004174	0.007
NIVEL 5	3.5	0.004302	0.004433	0.007
NIVEL 4	3.5	0.004586	0.00449	0.007
NIVEL 3	3.5	0.004466	0.004226	0.007
NIVEL 2	3.5	0.003764	0.003519	0.007
NIVEL 1	3.5	0.002027	0.002019	0.007

La figura 14 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 59 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

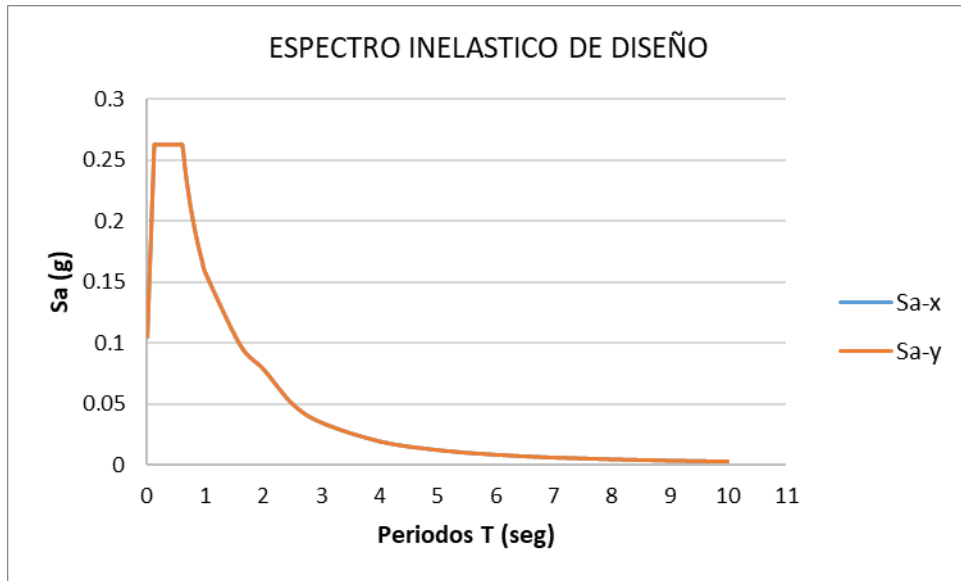


Figura 14: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 59: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	C	ZUCS/R	Sa
0	1	0.105	1.02969825
0.02	1.25	0.13125	1.28712281
0.04	1.5	0.1575	1.54454738
0.06	1.75	0.18375	1.80197194
0.08	2	0.21	2.0593965
0.1	2.25	0.23625	2.31682106
0.12	2.5	0.2625	2.57424563
0.14	2.5	0.2625	2.57424563
0.16	2.5	0.2625	2.57424563
0.18	2.5	0.2625	2.57424563
0.2	2.5	0.2625	2.57424563
0.25	2.5	0.2625	2.57424563
0.3	2.5	0.2625	2.57424563
0.35	2.5	0.2625	2.57424563
0.4	2.5	0.2625	2.57424563
0.45	2.5	0.2625	2.57424563
0.5	2.5	0.2625	2.57424563
0.55	2.5	0.2625	2.57424563
0.6	2.5	0.2625	2.57424563
0.65	2.30769231	0.24230769	2.37622673
0.7	2.14285714	0.225	2.20649625
0.75	2	0.21	2.0593965
0.8	1.875	0.196875	1.93068422
0.85	1.76470588	0.18529412	1.81711456
0.9	1.66666667	0.175	1.71616375
0.95	1.57894737	0.16578947	1.62583934
1	1.5	0.1575	1.54454738
1.6	0.9375	0.0984375	0.96534211
2	0.75	0.07875	0.77227369
2.5	0.48	0.0504	0.49425516
3	0.33333333	0.035	0.34323275
4	0.1875	0.0196875	0.19306842
5	0.12	0.0126	0.12356379
6	0.08333333	0.00875	0.08580819
7	0.06122449	0.00642857	0.06304275
8	0.046875	0.00492188	0.04826711
9	0.03703704	0.00388889	0.03813697
10	0.03	0.00315	0.03089095

3.5.3. resultados del análisis, caso 3

El cuadro 60 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 748.751 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 699.349 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 60: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	18.5601	18.560	17.3355	17.336
NIVEL 7	3.5	146.9315	165.492	137.2371	154.573
NIVEL 6	3.5	166.2916	331.783	155.3198	309.892
NIVEL 5	3.5	138.7940	470.577	129.6364	439.529
NIVEL 4	3.5	111.2696	581.847	103.9281	543.457
NIVEL 3	3.5	83.4522	665.299	77.9461	621.403
NIVEL 2	3.5	55.6348	720.934	51.9640	673.367
NIVEL 1	3.5	27.8174	748.751	25.9820	699.349

El cuadro 61 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.291cm y 0.311cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 61: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.489919	1.944313		
NIVEL 7	3.5	1.678379	1.853227	0.212925	0.263776
NIVEL 6	3.5	1.465454	1.589451	0.245345	0.288414
NIVEL 5	3.5	1.220109	1.301037	0.274244	0.306461
NIVEL 4	3.5	0.945865	0.994576	0.290769	0.311327
NIVEL 3	3.5	0.655096	0.683249	0.282833	0.29419
NIVEL 2	3.5	0.372263	0.389059	0.239992	0.246393
NIVEL 1	3.5	0.132271	0.142666	0.132271	0.142666

El cuadro 62 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que

el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.233cm y 0.288cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 62: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.414262	1.892396		
NIVEL 7	3.5	1.383487	1.718965	0.188245	0.247113
NIVEL 6	3.5	1.195242	1.471852	0.215128	0.269237
NIVEL 5	3.5	0.980114	1.202615	0.228598	0.28493
NIVEL 4	3.5	0.751516	0.917685	0.232871	0.288398
NIVEL 3	3.5	0.518645	0.629287	0.220477	0.271676
NIVEL 2	3.5	0.298168	0.357611	0.186935	0.227087
NIVEL 1	3.5	0.111233	0.130524	0.111233	0.130524

El cuadro 63 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00318 y 0.00340 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 63: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00233	0.00288	0.007
NIVEL 6	3.5	0.00268	0.00315	0.007
NIVEL 5	3.5	0.00300	0.00335	0.007
NIVEL 4	3.5	0.00318	0.00340	0.007
NIVEL 3	3.5	0.00309	0.00322	0.007
NIVEL 2	3.5	0.00262	0.00269	0.007
NIVEL 1	3.5	0.00145	0.00156	0.007

El cuadro 64 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 470.727 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 526.603 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 64: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	13.9135	13.9135	16.9408	16.9408
NIVEL 7	3.5	102.543	116.4565	120.4268	137.3676
NIVEL 6	3.5	107.6348	224.0913	118.6331	256.0007
NIVEL 5	3.5	84.1501	308.2414	90.1886	346.1893
NIVEL 4	3.5	65.7752	374.0166	70.5417	416.731
NIVEL 3	3.5	49.4298	423.4464	54.6519	471.3829
NIVEL 2	3.5	32.7026	456.149	37.8111	509.194
NIVEL 1	3.5	14.5779	470.7269	17.409	526.603

El cuadro 65 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.273cm y 0.250cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 65: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.936278	1.506474		
NIVEL 7	3.5	1.561432	1.486095	0.193425	0.212215
NIVEL 6	3.5	1.368007	1.27388	0.225881	0.23217
NIVEL 5	3.5	1.142126	1.04171	0.255671	0.246477
NIVEL 4	3.5	0.886455	0.795233	0.273268	0.249919
NIVEL 3	3.5	0.613187	0.545314	0.266666	0.235586
NIVEL 2	3.5	0.346521	0.309728	0.225136	0.196629
NIVEL 1	3.5	0.121385	0.113099	0.121385	0.113099

El cuadro 66 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.156cm y 0.220cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 66: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.85668	1.440924		
NIVEL 7	3.5	0.904856	1.312266	0.110957	0.190625
NIVEL 6	3.5	0.793899	1.121641	0.140336	0.207143
NIVEL 5	3.5	0.653563	0.914498	0.15126	0.218264
NIVEL 4	3.5	0.502303	0.696234	0.155952	0.219851
NIVEL 3	3.5	0.346351	0.476383	0.14852	0.206206
NIVEL 2	3.5	0.197831	0.270177	0.12541	0.171719
NIVEL 1	3.5	0.072421	0.098458	0.072421	0.098458

El cuadro 67 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00353 y 0.00323 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 67: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.00152	0.002535	
NIVEL 7	3.5	0.002514	0.002748	0.007
NIVEL 6	3.5	0.002932	0.003007	0.007
NIVEL 5	3.5	0.003309	0.003187	0.007
NIVEL 4	3.5	0.003525	0.003225	0.007
NIVEL 3	3.5	0.003433	0.003034	0.007
NIVEL 2	3.5	0.002896	0.002529	0.007
NIVEL 1	3.5	0.001561	0.001454	0.007

La figura 15 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 68 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

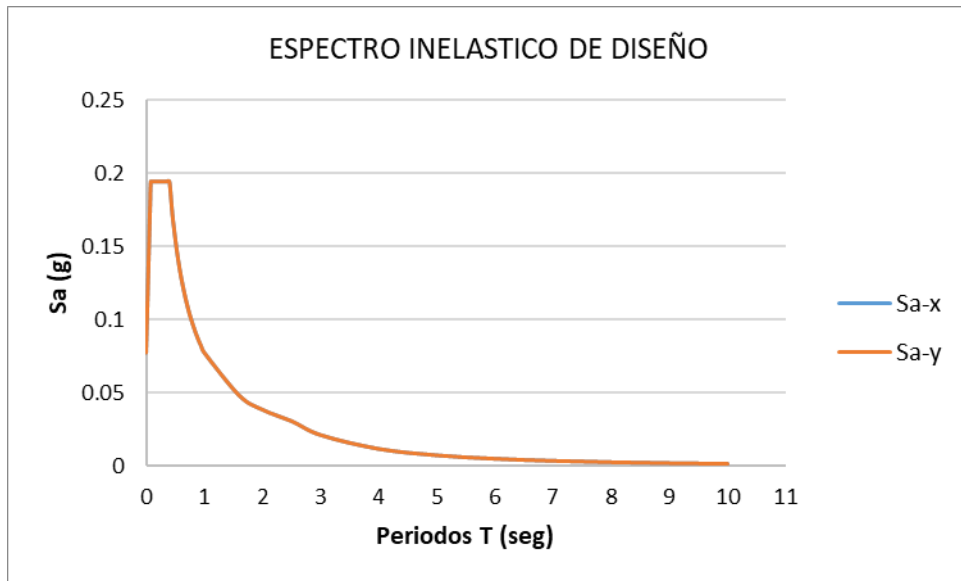


Figura 15: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 68: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	C	ZUCS/R	Sa
0	1	0.07777778	0.76273944
0.02	1.375	0.10694444	1.04876674
0.04	1.75	0.13611111	1.33479403
0.06	2.125	0.16527778	1.62082132
0.08	2.5	0.19444444	1.90684861
0.1	2.5	0.19444444	1.90684861
0.12	2.5	0.19444444	1.90684861
0.14	2.5	0.19444444	1.90684861
0.16	2.5	0.19444444	1.90684861
0.18	2.5	0.19444444	1.90684861
0.2	2.5	0.19444444	1.90684861
0.25	2.5	0.19444444	1.90684861
0.3	2.5	0.19444444	1.90684861
0.35	2.5	0.19444444	1.90684861
0.4	2.5	0.19444444	1.90684861
0.45	2.22222222	0.17283951	1.69497654
0.5	2	0.15555556	1.52547889
0.55	1.81818182	0.14141414	1.38679899
0.6	1.66666667	0.12962963	1.27123241
0.65	1.53846154	0.11965812	1.1734453
0.7	1.42857143	0.11111111	1.08962778
0.75	1.33333333	0.1037037	1.01698593
0.8	1.25	0.09722222	0.95342431
0.85	1.17647059	0.09150327	0.89734052
0.9	1.11111111	0.08641975	0.84748827
0.95	1.05263158	0.08187135	0.80288363
1	1	0.07777778	0.76273944
1.6	0.625	0.04861111	0.47671215
2	0.5	0.03888889	0.38136972
2.5	0.4	0.03111111	0.30509578
3	0.27777778	0.02160494	0.21187207
4	0.15625	0.01215278	0.11917804
5	0.1	0.00777778	0.07627394
6	0.06944444	0.00540123	0.05296802
7	0.05102041	0.00396825	0.03891528
8	0.0390625	0.00303819	0.02979451
9	0.0308642	0.00240055	0.02354134
10	0.025	0.00194444	0.01906849

3.5.4. Resultados del análisis, caso 4

El cuadro 69 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 975.155 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 69: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	24.1722	24.172	24.1722	24.172
NIVEL 7	3.5	191.3600	215.532	191.3600	215.532
NIVEL 6	3.5	216.5740	432.106	216.5740	432.106
NIVEL 5	3.5	180.7618	612.868	180.7618	612.868
NIVEL 4	3.5	144.9147	757.783	144.9147	757.783
NIVEL 3	3.5	108.6860	866.469	108.6860	866.469
NIVEL 2	3.5	72.4574	938.926	72.4574	938.926
NIVEL 1	3.5	36.2287	975.155	36.2287	975.155

El cuadro 70 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.379cm y 0.434cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 70: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.940478	2.711029		
NIVEL 7	3.5	2.185931	2.584025	0.277315	0.367793
NIVEL 6	3.5	1.908616	2.216232	0.31954	0.402147
NIVEL 5	3.5	1.589076	1.814085	0.357177	0.427309
NIVEL 4	3.5	1.231899	1.386776	0.378698	0.434095
NIVEL 3	3.5	0.853201	0.952681	0.368364	0.410202
NIVEL 2	3.5	0.484837	0.542479	0.312567	0.343555
NIVEL 1	3.5	0.17227	0.198924	0.17227	0.198924

El cuadro 71 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.303cm y 0.402cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 71: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.841943	2.638639		
NIVEL 7	3.5	1.801861	2.396819	0.245171	0.34456
NIVEL 6	3.5	1.55669	2.052259	0.280184	0.375408
NIVEL 5	3.5	1.276506	1.676851	0.297728	0.397288
NIVEL 4	3.5	0.978778	1.279563	0.303292	0.402124
NIVEL 3	3.5	0.675486	0.877439	0.28715	0.378809
NIVEL 2	3.5	0.388336	0.49863	0.243466	0.316636
NIVEL 1	3.5	0.14487	0.181994	0.14487	0.181994

El cuadro 72 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00414 y 0.00474 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 72: derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00303	0.00402	0.007
NIVEL 6	3.5	0.00349	0.00439	0.007
NIVEL 5	3.5	0.00390	0.00467	0.007
NIVEL 4	3.5	0.00414	0.00474	0.007
NIVEL 3	3.5	0.00403	0.00448	0.007
NIVEL 2	3.5	0.00342	0.00375	0.007
NIVEL 1	3.5	0.00188	0.00217	0.007

El cuadro 73 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 598.807 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 721.734 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 73: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	15.9856	15.9856	21.8825	21.8825
NIVEL 7	3.5	128.5539	144.5395	160.9883	182.8708
NIVEL 6	3.5	138.9145	283.454	166.085	348.9558
NIVEL 5	3.5	110.1696	393.6236	128.9729	477.9287
NIVEL 4	3.5	85.6655	479.2891	99.894	577.8227
NIVEL 3	3.5	62.9032	542.1923	74.5867	652.4094
NIVEL 2	3.5	39.8967	582.089	48.5836	700.993
NIVEL 1	3.5	16.7183	598.8073	20.7409	721.7339

El cuadro 74 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.357cm y 0.349cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 74: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.195809	2.095419		
NIVEL 7	3.5	2.03601	2.073171	0.252115	0.295527
NIVEL 6	3.5	1.783895	1.777644	0.294611	0.323756
NIVEL 5	3.5	1.489284	1.453888	0.333625	0.344158
NIVEL 4	3.5	1.155659	1.10973	0.356574	0.349176
NIVEL 3	3.5	0.799085	0.760554	0.34775	0.329017
NIVEL 2	3.5	0.451335	0.431537	0.293312	0.274204
NIVEL 1	3.5	0.158023	0.157333	0.158023	0.157333

El cuadro 75 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.202cm y 0.306cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 75: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.069946	2.000854		
NIVEL 7	3.5	1.16498	1.823109	0.140531	0.264613
NIVEL 6	3.5	1.024449	1.558496	0.180501	0.287817
NIVEL 5	3.5	0.843948	1.270679	0.195091	0.303541
NIVEL 4	3.5	0.648857	0.967138	0.201543	0.305823
NIVEL 3	3.5	0.447314	0.661315	0.192072	0.286642
NIVEL 2	3.5	0.255242	0.374673	0.162055	0.238315
NIVEL 1	3.5	0.093187	0.136358	0.093187	0.136358

El cuadro 76 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo 0.00391 y 0.00383 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma peruana (0.007).

Cuadro 76: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.001633	0.002986	
NIVEL 7	3.5	0.002777	0.003245	0.007
NIVEL 6	3.5	0.003243	0.003556	0.007
NIVEL 5	3.5	0.003664	0.003776	0.007
NIVEL 4	3.5	0.003907	0.003825	0.007
NIVEL 3	3.5	0.003804	0.003599	0.007
NIVEL 2	3.5	0.003206	0.002998	0.007
NIVEL 1	3.5	0.001727	0.001719	0.007

La figura 16 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 77 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

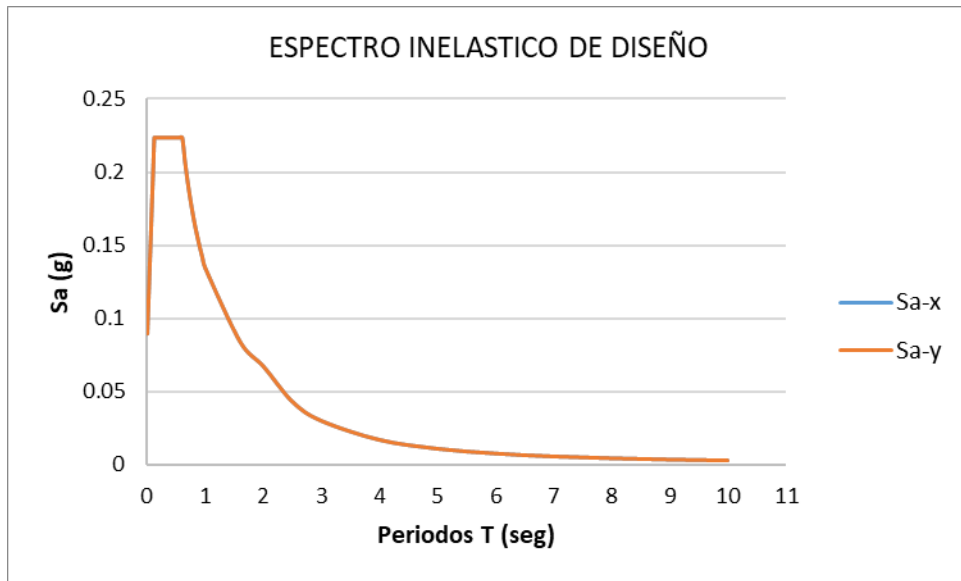


Figura 16: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 77: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	C	ZUCS/R	Sa
0	1	0.08944444	0.87715036
0.02	1.25	0.11180556	1.09643795
0.04	1.5	0.13416667	1.31572554
0.06	1.75	0.15652778	1.53501313
0.08	2	0.17888889	1.75430072
0.1	2.25	0.20125	1.97358831
0.12	2.5	0.22361111	2.1928759
0.14	2.5	0.22361111	2.1928759
0.16	2.5	0.22361111	2.1928759
0.18	2.5	0.22361111	2.1928759
0.2	2.5	0.22361111	2.1928759
0.25	2.5	0.22361111	2.1928759
0.3	2.5	0.22361111	2.1928759
0.35	2.5	0.22361111	2.1928759
0.4	2.5	0.22361111	2.1928759
0.45	2.5	0.22361111	2.1928759
0.5	2.5	0.22361111	2.1928759
0.55	2.5	0.22361111	2.1928759
0.6	2.5	0.22361111	2.1928759
0.65	2.30769231	0.20641026	2.02419314
0.7	2.14285714	0.19166667	1.87960792
0.75	2	0.17888889	1.75430072
0.8	1.875	0.16770833	1.64465693
0.85	1.76470588	0.15784314	1.5479124
0.9	1.66666667	0.14907407	1.46191727
0.95	1.57894737	0.14122807	1.38497425
1	1.5	0.13416667	1.31572554
1.6	0.9375	0.08385417	0.82232846
2	0.75	0.06708333	0.65786277
2.5	0.48	0.04293333	0.42103217
3	0.33333333	0.02981481	0.29238345
4	0.1875	0.01677083	0.16446569
5	0.12	0.01073333	0.10525804
6	0.08333333	0.0074537	0.07309586
7	0.06122449	0.00547619	0.05370308
8	0.046875	0.00419271	0.04111642
9	0.03703704	0.00331276	0.03248705
10	0.03	0.00268333	0.02631451

El cuadro 78 muestra el resumen de los resultados (cortantes basales, desplazamientos y derivas) obtenidos mediante el análisis sísmico estático y el dinámico para cada uno de los casos y cada una de las direcciones de análisis (x e y).

Cuadro 78: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NTP E.030-2018

CASOS	PESO (ton)	PERIODO (T)	ANÁLISIS ESTÁTICO				ANÁLISIS DINÁMICO			
			V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO	V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO
CASO 1	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=22.075 Vy=20.619	dx=0.299 dy=0.371	dx=0.374 dy=0.400	x=0.00409 y=0.00437	Vx=13.8799 Vy=15.5237	dx=0.200 dy=0.283	dx=0.351 dy=0.321	x=0.00385 y=0.00352
CASO 2	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=26.250 Vy=26.250	dx=0.356 dy=0.472	dx=0.445 dy=0.5095	x=0.00486 y=0.00557	Vx=16.1199 Vy=19.4291	dx=0.237 dy=0.359	dx=0.419 dy=0.4099	x=0.00459 y=0.00449
CASO 3	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=17.169 Vy=16.037	dx=0.233 dy=0.288	dx=0.291 dy=0.311	x=0.00318 y=0.00340	Vx=10.7942 Vy=12.0754	dx=0.156 dy=0.220	dx=0.273 dy=0.250	x=0.00353 y=0.00323
CASO 4	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=22.361 Vy=22.361	dx=0.303 dy=0.402	dx=0.379 dy=0.434	x=0.00414 y=0.00474	Vx=13.7311 Vy=16.550	dx=0.202 dy=0.306	dx=0.357 dy=0.349	x=0.00391 y=0.00383

3.6. Análisis sísmico con la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015

El cuadro 79 muestra los casos de análisis descritos en el cuadro 34, así como los respectivos factores utilizados tanto para el análisis estático como dinámico según la norma ecuatoriana en estudio.

Cuadro 79: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NEC

	CASO1		CASO2		CASO3		CASO4	
	ZV	SC	ZV	SD	ZIV	SC	ZIV	SD
factor de zona (Z)	0.40		0.40		0.35		0.35	
factor de de sitio (Fa)	1.2		1.2		1.25		1.23	
factor de de sitio (Fd)	1.11		1.19		1.15		1.28	
factor de de sitio (Fs)	1.11		1.28		1.06		1.19	
factor de importancia (I)	1		1		1		1	
coeficiente de resistencia (R)	5		5		5		5	
irregularidad en elevacion ϕE	1		1		1		1	
irregularidad en elevacion ϕp	0.9		0.9		0.9		0.9	
altura del edificio (hn)	21.10		27.10		27.10		27.10	
factor Ct	0.055		0.055		0.055		0.055	
Coeficiente (r)	1		1		1		1	
α	0.75		0.75		0.75		0.75	
amplificacion espectral (n)	1.8		1.8		2.48		2.48	
periodo limte inferior (To)	0.1026		0.1269		0.0991		0.1218	
periodo limte superior (Tc)	0.5647		0.6981		0.54508		0.6702	
aceleracion espectral (Sa)	Sax=0.864 Say=0.864		Sax=0.864 Say=0.864		Sax=1.068 Say=1.068		Sax=1.085 Say=1.085	
periodo fundamental	Tx=0.541 Ty=0.521		Tx=0.541 Ty=0.521		Tx=0.541 Ty=0.521		Tx=0.541 Ty=0.521	
Altura de edificio hn	27.10		27.10		27.10		27.10	

Nota 1: la resistencia a la compresión del concreto es de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, con un módulo de elasticidad $E = 217370.651193 \text{ Kg/cm}^2$, un coeficiente de poisson $\nu = 0.20$ y un peso específico $\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$ para todos los casos.

Nota 2: la estructura no presenta irregularidades en altura, sin embargo, si presenta irregularidad en planta del tipo torsional, esto se verifico mediante el procedimiento descrito en el numeral 5.2.3 de la NEC-SE-DS, dicha verificación se detalla en el anexo 30.

3.6.1. Resultados del análisis, caso 1

El cuadro 80 muestra los modos de vibración de la estructura y su respectiva masa participativa, se consideró 21 modos (3 por nivel), alcanzando una participación de masa efectiva de 95% aproximadamente, cumpliendo así con el mínimo establecido en la norma ecuatoriana (90%). También se logra apreciar que, entre los tres primeros modos predominantes, dos corresponden a efectos de traslación y uno a rotación. Cabe resaltar que estos valores se obtuvieron mediante un análisis modal considerando las características de rigidez y distribución de masas de la estructura, en tanto por tratarse de la misma estructura, estos valores se usaron en los cuatro casos de análisis.

Cuadro 80: Periodos de vibración y masas participativas

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
1	0.541	0.2246	0.3188	0.2246	0.3188	0.1508	0.1508
2	0.521	0.2241	0.3672	0.4487	0.6859	0.0979	0.2488
3	0.373	0.2426	0.0015	0.6913	0.6875	0.449	0.6977
4	0.132	0.0809	0.0171	0.7722	0.7046	0.0547	0.7524
5	0.123	0.0116	0.1501	0.7839	0.8547	0.0043	0.7567
6	0.084	0.0751	0.0002	0.8589	0.855	0.099	0.8558
7	0.058	0.0209	0.0161	0.8798	0.8711	0.0175	0.8733
8	0.055	0.0107	0.0349	0.8906	0.906	0.0067	0.88
9	0.038	0.019	3.61E-05	0.9096	0.9061	0.0309	0.9108
10	0.035	0.0018	0.021	0.9113	0.927	0.0013	0.9121
11	0.033	0.0139	0.0028	0.9252	0.9298	0.009	0.9211
12	0.025	0.0002	0.0067	0.9254	0.9365	0.0021	0.9232
13	0.024	3.00E-05	0.0048	0.9254	0.9413	0.0036	0.9267
14	0.024	0.009	2.96E-05	0.9344	0.9414	0.0093	0.936
15	0.023	0.0057	4.46E-05	0.9401	0.9414	0.0051	0.9411
16	0.02	0	0.0051	0.9401	0.9465	2.30E-05	0.9411
17	0.018	0.0049	1.00E-06	0.945	0.9465	0.0005	0.9417
18	0.018	0.0009	0.0001	0.9459	0.9466	0.0093	0.951
19	0.018	0.0001	0.0012	0.946	0.9478	3.73E-05	0.951
20	0.017	3.12E-05	0.0007	0.9461	0.9484	7.58E-07	0.951
21	0.016	0.0012	1.21E-05	0.9473	0.9485	0.0004	0.9514

El cuadro 81 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 837.301 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 81: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	20.9843	20.984	20.8724	20.872
NIVEL 7	3.5	165.7793	186.764	165.0619	185.934
NIVEL 6	3.5	187.0309	373.794	186.5087	372.443
NIVEL 5	3.5	155.5215	529.316	155.3703	527.813
NIVEL 4	3.5	124.1108	653.427	124.2671	652.081
NIVEL 3	3.5	92.5357	745.962	92.9193	745.000
NIVEL 2	3.5	61.1798	807.142	61.6830	806.683
NIVEL 1	3.5	30.1583	837.301	30.6179	837.301

El cuadro 82 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.449cm y 0.459cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 82: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.048306	2.861667		
NIVEL 7	3.5	2.61674	2.735906	0.370735	0.414763
NIVEL 6	3.5	2.246005	2.321143	0.408063	0.441784
NIVEL 5	3.5	1.837942	1.879359	0.438671	0.45897
NIVEL 4	3.5	1.399271	1.420389	0.44896	0.456448
NIVEL 3	3.5	0.950311	0.963941	0.42229	0.422591
NIVEL 2	3.5	0.528021	0.54135	0.345657	0.346501
NIVEL 1	3.5	0.182364	0.194849	0.182364	0.194849

El cuadro 83 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.325cm y 0.422cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 83: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.864992	2.774469		
NIVEL 7	3.5	1.93014	2.511789	0.271847	0.383312
NIVEL 6	3.5	1.658293	2.128477	0.312102	0.407326
NIVEL 5	3.5	1.346191	1.721151	0.325406	0.421939
NIVEL 4	3.5	1.020785	1.299212	0.325292	0.418499
NIVEL 3	3.5	0.695493	0.880713	0.301811	0.386648
NIVEL 2	3.5	0.393682	0.494065	0.249843	0.316837
NIVEL 1	3.5	0.143839	0.177228	0.143839	0.177228

El cuadro 84 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00481 y 0.00492 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 84: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NEC
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00397	0.00444	0.02
NIVEL 6	3.5	0.00437	0.00473	0.02
NIVEL 5	3.5	0.00470	0.00492	0.02
NIVEL 4	3.5	0.00481	0.00489	0.02
NIVEL 3	3.5	0.00452	0.00453	0.02
NIVEL 2	3.5	0.00370	0.00371	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00195	0.00209	0.02

El cuadro 85 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 465.670 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 604.472 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 85: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	14.5888	14.5888	19.11	19.11
NIVEL 7	3.5	102.6544	117.2432	138.0031	157.1131
NIVEL 6	3.5	107.5878	224.831	138.9013	296.0144
NIVEL 5	3.5	83.5868	308.4178	106.6474	402.6618
NIVEL 4	3.5	64.6077	373.0255	82.2342	484.896
NIVEL 3	3.5	47.8125	420.838	61.464	546.36
NIVEL 2	3.5	31.077	451.915	40.4353	586.7953
NIVEL 1	3.5	13.7547	465.6697	17.6766	604.4719

El cuadro 86 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.399cm y 0.352cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 86: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.170645	2.132041		
NIVEL 7	3.5	2.310465	2.08682	0.326389	0.318971
NIVEL 6	3.5	1.984076	1.767849	0.360937	0.33948
NIVEL 5	3.5	1.623139	1.428369	0.389686	0.351798
NIVEL 4	3.5	1.233453	1.076571	0.399347	0.348443
NIVEL 3	3.5	0.834106	0.728128	0.374684	0.320898
NIVEL 2	3.5	0.459422	0.40723	0.303553	0.261399
NIVEL 1	3.5	0.155869	0.145831	0.155869	0.145831

El cuadro 87 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.201cm y 0.313cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 87: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.025733	2.05027		
NIVEL 7	3.5	1.16321	1.856832	0.147925	0.28649
NIVEL 6	3.5	1.015285	1.570342	0.189534	0.303771
NIVEL 5	3.5	0.825751	1.266571	0.199644	0.313359
NIVEL 4	3.5	0.626107	0.953212	0.201197	0.309127
NIVEL 3	3.5	0.42491	0.644085	0.186908	0.283951
NIVEL 2	3.5	0.238002	0.360134	0.153154	0.231344
NIVEL 1	3.5	0.084848	0.12879	0.084848	0.12879

El cuadro 88 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00429 y 0.00378 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 88: derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.00162	0.003108	
NIVEL 7	3.5	0.003517	0.003429	0.02
NIVEL 6	3.5	0.003889	0.003651	0.02
NIVEL 5	3.5	0.004192	0.003781	0.02
NIVEL 4	3.5	0.004288	0.003741	0.02
NIVEL 3	3.5	0.004018	0.003442	0.02
NIVEL 2	3.5	0.003253	0.002802	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00167	0.001562	0.02

La figura 17 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 89 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

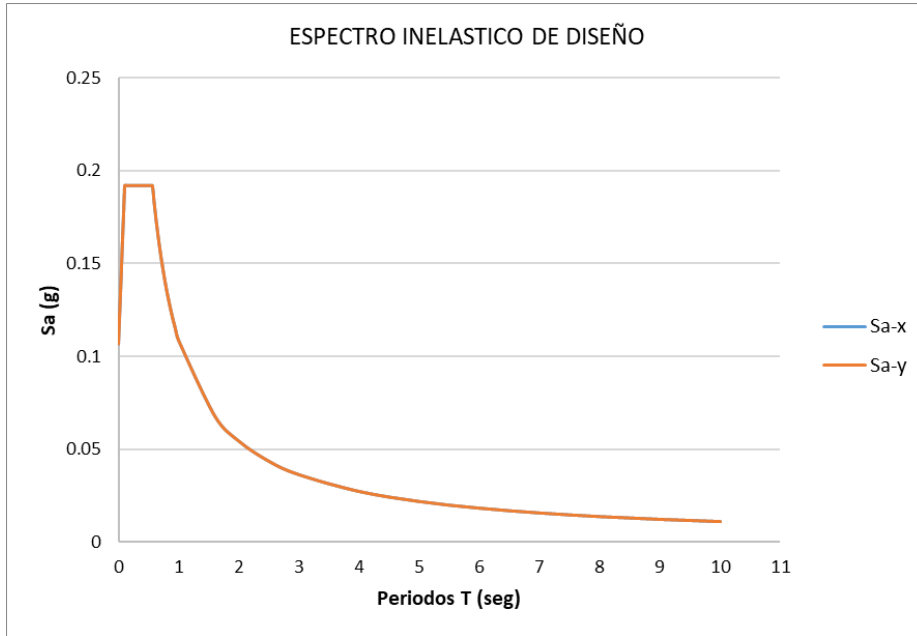


Figura 17: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 89: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	SA	$SA \cdot I / (R \cdot \phi_P \cdot \phi_E)$	$SA \cdot I / (R \cdot \phi_P \cdot \phi_E) \cdot G$
0	0.48	0.10666667	1.04604267
0.02	0.554799123	0.12328869	1.20904907
0.04	0.629598247	0.13991072	1.37205548
0.06	0.70439737	0.15653275	1.53506188
0.075	0.760496713	0.16899927	1.65731669
0.08	0.779196494	0.17315478	1.69806829
0.1	0.853995617	0.1897768	1.86107469
0.102675	0.864	0.192	1.8828768
0.14	0.864	0.192	1.8828768
0.16	0.864	0.192	1.8828768
0.18	0.864	0.192	1.8828768
0.2	0.864	0.192	1.8828768
0.25	0.864	0.192	1.8828768
0.3	0.864	0.192	1.8828768
0.35	0.864	0.192	1.8828768
0.4	0.864	0.192	1.8828768
0.45	0.864	0.192	1.8828768
0.5	0.864	0.192	1.8828768
0.55	0.864	0.192	1.8828768
0.5647125	0.864	0.192	1.8828768
0.6	0.813186	0.180708	1.77214011
0.65	0.750633231	0.16680738	1.63582164
0.7	0.697016571	0.15489257	1.51897724
0.75	0.6505488	0.1445664	1.41771209
0.8	0.6098895	0.135531	1.32910508
0.85	0.574013647	0.12755859	1.25092243
0.9	0.542124	0.120472	1.18142674
0.95	0.513591158	0.11413137	1.11924638
1	0.4879116	0.1084248	1.06328406
1.6	0.30494475	0.0677655	0.66455254
2	0.2439558	0.0542124	0.53164203
2.5	0.19516464	0.04336992	0.42531363
3	0.1626372	0.0361416	0.35442802
4	0.1219779	0.0271062	0.26582102
5	0.09758232	0.02168496	0.21265681
6	0.0813186	0.0180708	0.17721401
7	0.069701657	0.01548926	0.15189772
8	0.06098895	0.0135531	0.13291051
9	0.0542124	0.0120472	0.11814267
10	0.04879116	0.01084248	0.10632841

3.6.2. Resultados del análisis, caso 2

El cuadro 90 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 837.301 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 90: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	20.9843	20.984	20.8724	20.872
NIVEL 7	3.5	165.7793	186.764	165.0619	185.934
NIVEL 6	3.5	187.0309	373.794	186.5087	372.443
NIVEL 5	3.5	155.5215	529.316	155.3703	527.813
NIVEL 4	3.5	124.1108	653.427	124.2671	652.081
NIVEL 3	3.5	92.5357	745.962	92.9193	745.000
NIVEL 2	3.5	61.1798	807.142	61.6830	806.683
NIVEL 1	3.5	30.1583	837.301	30.6179	837.301

El cuadro 91 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.449cm y 0.459cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 91: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.048306	2.861667		
NIVEL 7	3.5	2.61674	2.735906	0.370735	0.414763
NIVEL 6	3.5	2.246005	2.321143	0.408063	0.441784
NIVEL 5	3.5	1.837942	1.879359	0.438671	0.45897
NIVEL 4	3.5	1.399271	1.420389	0.44896	0.456448
NIVEL 3	3.5	0.950311	0.963941	0.42229	0.422591
NIVEL 2	3.5	0.528021	0.54135	0.345657	0.346501
NIVEL 1	3.5	0.182364	0.194849	0.182364	0.194849

El cuadro 92 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.325cm y 0.422cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 92: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.864992	2.774469		
NIVEL 7	3.5	1.93014	2.511789	0.271847	0.383312
NIVEL 6	3.5	1.658293	2.128477	0.312102	0.407326
NIVEL 5	3.5	1.346191	1.721151	0.325406	0.421939
NIVEL 4	3.5	1.020785	1.299212	0.325292	0.418499
NIVEL 3	3.5	0.695493	0.880713	0.301811	0.386648
NIVEL 2	3.5	0.393682	0.494065	0.249843	0.316837
NIVEL 1	3.5	0.143839	0.177228	0.143839	0.177228

El cuadro 93 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00481 y 0.00492 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 93: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00397	0.00444	0.02
NIVEL 6	3.5	0.00437	0.00473	0.02
NIVEL 5	3.5	0.00470	0.00492	0.02
NIVEL 4	3.5	0.00481	0.00489	0.02
NIVEL 3	3.5	0.00452	0.00453	0.02
NIVEL 2	3.5	0.00370	0.00371	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00195	0.00209	0.02

El cuadro 94 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 464.887 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante 603.871 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 94: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	14.3716	14.3716	18.9868	18.9868
NIVEL 7	3.5	102.3255	116.6971	137.6105	156.5973
NIVEL 6	3.5	107.738	224.4351	139.0757	295.673
NIVEL 5	3.5	83.8184	308.2535	106.8282	402.5012
NIVEL 4	3.5	64.7017	372.9552	82.289	484.7902
NIVEL 3	3.5	47.7168	420.672	61.423	546.2132
NIVEL 2	3.5	30.7751	451.4471	40.2312	586.4444
NIVEL 1	3.5	13.4395	464.8866	17.427	603.8714

El cuadro 95 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.399cm y 0.352cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 95: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.170627	2.131998		
NIVEL 7	3.5	2.310422	2.086766	0.326377	0.318954
NIVEL 6	3.5	1.984045	1.767812	0.36093	0.339472
NIVEL 5	3.5	1.623115	1.42834	0.389681	0.3518
NIVEL 4	3.5	1.233434	1.07654	0.399344	0.34845
NIVEL 3	3.5	0.83409	0.72809	0.374682	0.320899
NIVEL 2	3.5	0.459408	0.407191	0.303548	0.261384
NIVEL 1	3.5	0.15586	0.145807	0.15586	0.145807

El cuadro 96 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.201cm y 0.313cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 96: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.025698	2.050245		
NIVEL 7	3.5	1.163201	1.856816	0.14792	0.286479
NIVEL 6	3.5	1.015281	1.570337	0.189534	0.303772
NIVEL 5	3.5	0.825747	1.266565	0.199651	0.313372
NIVEL 4	3.5	0.626096	0.953193	0.201206	0.309143
NIVEL 3	3.5	0.42489	0.64405	0.186913	0.283957
NIVEL 2	3.5	0.237977	0.360093	0.153147	0.231329
NIVEL 1	3.5	0.08483	0.128764	0.08483	0.128764

El cuadro 97 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00429 y 0.00378 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 97: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.00162	0.003107	
NIVEL 7	3.5	0.003517	0.003429	0.02
NIVEL 6	3.5	0.003888	0.003651	0.02
NIVEL 5	3.5	0.004192	0.003781	0.02
NIVEL 4	3.5	0.004288	0.003741	0.02
NIVEL 3	3.5	0.004018	0.003441	0.02
NIVEL 2	3.5	0.003253	0.002802	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00167	0.001562	0.02

La figura 18 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 98 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

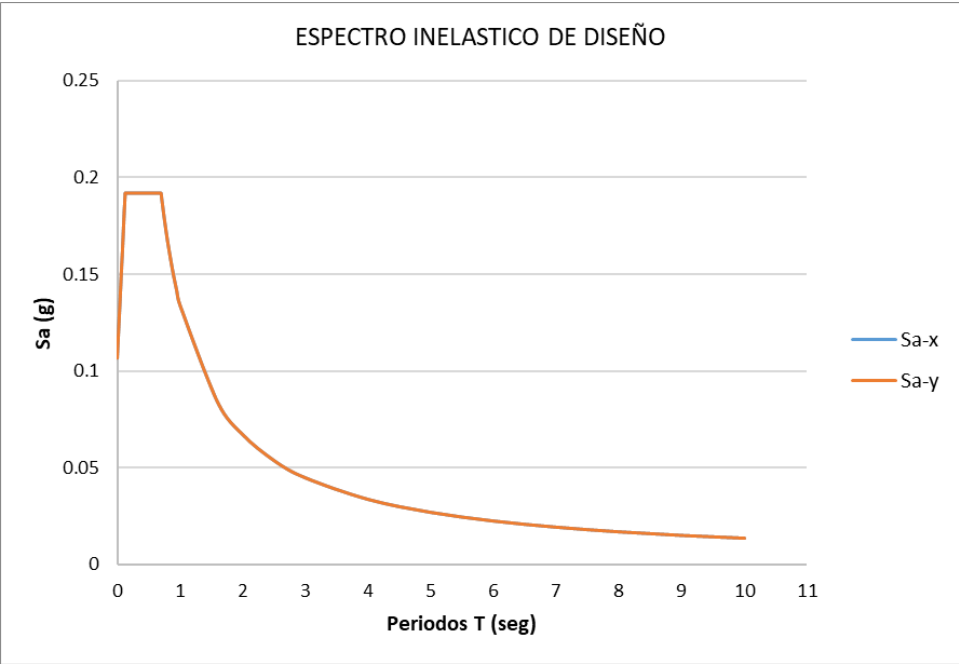


Figura 18: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 98: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	Sa	$Sa \cdot I / (R \cdot \Phi P \cdot \Phi E)$	$Sa \cdot I / (R \cdot \Phi P \cdot \Phi E) \cdot G$
0	0.48	0.10666667	1.04604267
0.02	0.540504202	0.12011204	1.17789678
0.04	0.601008403	0.13355742	1.3097509
0.06	0.661512605	0.1470028	1.44160502
0.075	0.706890756	0.15708683	1.54049561
0.08	0.722016807	0.16044818	1.57345914
0.1	0.782521008	0.17389356	1.70531325
0.12693333	0.864	0.192	1.8828768
0.14	0.864	0.192	1.8828768
0.16	0.864	0.192	1.8828768
0.18	0.864	0.192	1.8828768
0.2	0.864	0.192	1.8828768
0.25	0.864	0.192	1.8828768
0.3	0.864	0.192	1.8828768
0.35	0.864	0.192	1.8828768
0.4	0.864	0.192	1.8828768
0.45	0.864	0.192	1.8828768
0.5	0.864	0.192	1.8828768
0.55	0.864	0.192	1.8828768
0.6	0.864	0.192	1.8828768
0.65	0.864	0.192	1.8828768
0.69813333	0.864	0.192	1.8828768
0.7	0.861696	0.191488	1.8778558
0.75	0.8042496	0.17872213	1.75266541
0.8	0.753984	0.167552	1.64312382
0.85	0.709632	0.157696	1.54646948
0.9	0.670208	0.14893511	1.46055451
0.95	0.634933895	0.14109642	1.38368322
1	0.6031872	0.1340416	1.31449906
1.6	0.376992	0.083776	0.82156191
2	0.3015936	0.0670208	0.65724953
2.5	0.24127488	0.05361664	0.52579962
3	0.2010624	0.04468053	0.43816635
4	0.1507968	0.0335104	0.32862476
5	0.12063744	0.02680832	0.26289981
6	0.1005312	0.02234027	0.21908318
7	0.0861696	0.0191488	0.18778558
8	0.0753984	0.0167552	0.16431238
9	0.0670208	0.01489351	0.14605545
10	0.06031872	0.01340416	0.13144991

3.6.3. Resultados del análisis, caso 3

El cuadro 99 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 1034.648 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 99: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	25.9302	25.930	25.7919	25.792
NIVEL 7	3.5	204.8526	230.783	203.9661	229.758
NIVEL 6	3.5	231.1130	461.896	230.4678	460.226
NIVEL 5	3.5	192.1770	654.073	191.9903	652.216
NIVEL 4	3.5	153.3630	807.436	153.5562	805.772
NIVEL 3	3.5	114.3459	921.782	114.8198	920.592
NIVEL 2	3.5	75.5996	997.381	76.2213	996.813
NIVEL 1	3.5	37.2665	1034.648	37.8343	1034.648

El cuadro 100 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.555cm y 0.567cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 100: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.531044	3.536096		
NIVEL 7	3.5	3.233445	3.380696	0.458109	0.512513
NIVEL 6	3.5	2.775336	2.868183	0.504233	0.545902
NIVEL 5	3.5	2.271103	2.322281	0.542055	0.567138
NIVEL 4	3.5	1.729048	1.755143	0.55477	0.564023
NIVEL 3	3.5	1.174278	1.19112	0.521814	0.522186
NIVEL 2	3.5	0.652464	0.668934	0.427121	0.428163
NIVEL 1	3.5	0.225343	0.240771	0.225343	0.240771

El cuadro 101 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.201cm y 0.313cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 101: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.025698	2.050245		
NIVEL 7	3.5	1.163201	1.856816	0.14792	0.286479
NIVEL 6	3.5	1.015281	1.570337	0.189534	0.303772
NIVEL 5	3.5	0.825747	1.266565	0.199651	0.313372
NIVEL 4	3.5	0.626096	0.953193	0.201206	0.309143
NIVEL 3	3.5	0.42489	0.64405	0.186913	0.283957
NIVEL 2	3.5	0.237977	0.360093	0.153147	0.231329
NIVEL 1	3.5	0.08483	0.128764	0.08483	0.128764

El cuadro 102 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00594 y 0.00608 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 102: derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00491	0.00549	0.02
NIVEL 6	3.5	0.00540	0.00585	0.02
NIVEL 5	3.5	0.00581	0.00608	0.02
NIVEL 4	3.5	0.00594	0.00604	0.02
NIVEL 3	3.5	0.00559	0.00559	0.02
NIVEL 2	3.5	0.00458	0.00459	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00241	0.00258	0.02

El cuadro 103 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 575.135 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 746.809 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 103: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	17.9322	17.9322	23.4468	23.4468
NIVEL 7	3.5	126.6685	144.6007	170.3742	193.821
NIVEL 6	3.5	133.1529	277.7536	171.9499	365.7709
NIVEL 5	3.5	103.3273	381.0809	131.7706	497.5415
NIVEL 4	3.5	79.8124	460.8933	101.5816	599.1231
NIVEL 3	3.5	59.1164	520.0097	76.0474	675.1705
NIVEL 2	3.5	38.3926	558.4023	50.0168	725.1873
NIVEL 1	3.5	16.7323	575.1346	21.622	746.8093

El cuadro 104 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.494cm y 0.435cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 104: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.446839	2.635058		
NIVEL 7	3.5	2.855566	2.579165	0.403391	0.394223
NIVEL 6	3.5	2.452175	2.184942	0.446091	0.419574
NIVEL 5	3.5	2.006084	1.765368	0.481623	0.434797
NIVEL 4	3.5	1.524461	1.330571	0.493566	0.430653
NIVEL 3	3.5	1.030895	0.899918	0.463086	0.396613
NIVEL 2	3.5	0.567809	0.503305	0.375172	0.323074
NIVEL 1	3.5	0.192637	0.180231	0.192637	0.180231

El cuadro 105 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.249cm y 0.387cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 105: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.267731	2.534003		
NIVEL 7	3.5	1.437651	2.294926	0.182824	0.354083
NIVEL 6	3.5	1.254827	1.940843	0.234252	0.375442
NIVEL 5	3.5	1.020575	1.565401	0.246748	0.387292
NIVEL 4	3.5	0.773827	1.178109	0.248669	0.382061
NIVEL 3	3.5	0.525158	0.796048	0.23101	0.350949
NIVEL 2	3.5	0.294148	0.445099	0.189289	0.285929
NIVEL 1	3.5	0.104859	0.15917	0.104859	0.15917

El cuadro 106 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.0053 y 0.00467 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 106: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.002003	0.003841	
NIVEL 7	3.5	0.004346	0.004238	0.02
NIVEL 6	3.5	0.004806	0.004512	0.02
NIVEL 5	3.5	0.005181	0.004673	0.02
NIVEL 4	3.5	0.0053	0.004623	0.02
NIVEL 3	3.5	0.004966	0.004254	0.02
NIVEL 2	3.5	0.004021	0.003463	0.02
NIVEL 1	3.5	0.002064	0.001931	0.02

La figura 19 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 107 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

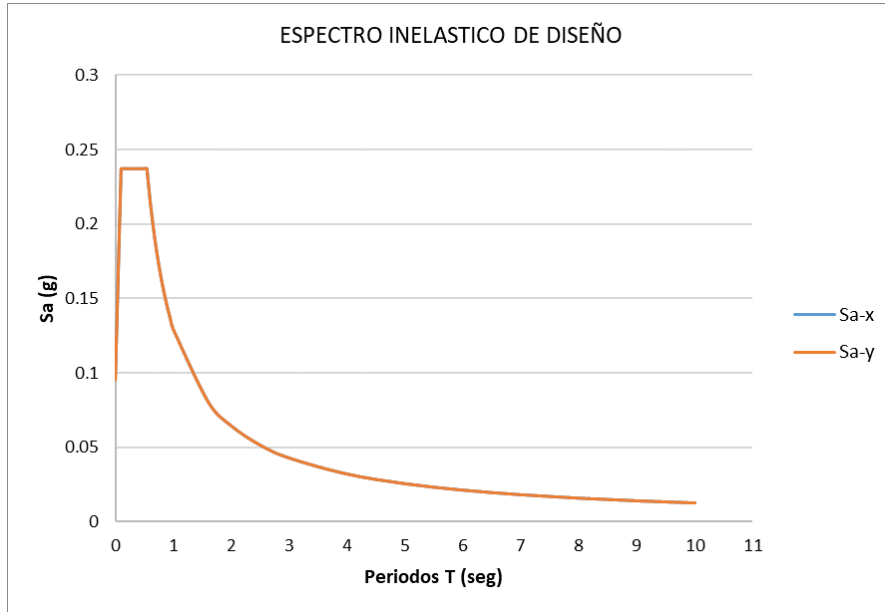


Figura 19: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 107: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	Sa	Sa*I/(R*ØP*ØE)	Sa*I/(R*ØP*ØE)*G
0	0.4305	0.09566667	0.93816952
0.02	0.559077884	0.12423953	1.21837358
0.04	0.687655767	0.15281239	1.49857765
0.06	0.816233651	0.18138526	1.77878172
0.075	0.912667063	0.2028149	1.98893477
0.08	0.944811534	0.20995812	2.05898578
0.09910569	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.1	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.12	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.14	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.16	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.18	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.2	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.25	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.3	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.35	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.4	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.45	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.5	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.5450813	1.06764	0.23725333	2.3266604
0.55	1.058092	0.23513156	2.30585287
0.6	0.969917667	0.21553726	2.11369846
0.65	0.895308615	0.19895747	1.95110627
0.7	0.831358	0.18474622	1.81174154
0.75	0.775934133	0.17242981	1.69095877
0.8	0.72743825	0.16165294	1.58527385
0.85	0.684647765	0.15214395	1.49202244
0.9	0.646611778	0.14369151	1.40913231
0.95	0.612579579	0.1361288	1.33496745
1	0.5819506	0.12932236	1.26821908
1.6	0.363719125	0.08082647	0.79263692
2	0.2909753	0.06466118	0.63410954
2.5	0.23278024	0.05172894	0.50728763
3	0.193983533	0.04310745	0.42273969
4	0.14548765	0.03233059	0.31705477
5	0.11639012	0.02586447	0.25364382
6	0.096991767	0.02155373	0.21136985
7	0.0831358	0.01847462	0.18117415
8	0.072743825	0.01616529	0.15852738
9	0.064661178	0.01436915	0.14091323
10	0.05819506	0.01293224	0.12682191

3.6.4. Resultados del análisis, caso 4

El cuadro 108 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 1051.471 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 108: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	26.3518	26.352	26.2113	26.211
NIVEL 7	3.5	208.1835	234.535	207.2826	233.494
NIVEL 6	3.5	234.8709	469.406	234.2153	467.709
NIVEL 5	3.5	195.3019	664.708	195.1121	662.821
NIVEL 4	3.5	155.8567	820.565	156.0531	818.874
NIVEL 3	3.5	116.2052	936.770	116.6868	935.561
NIVEL 2	3.5	76.8289	1013.599	77.4607	1013.022
NIVEL 1	3.5	37.8724	1051.471	38.4495	1051.471

El cuadro 109 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.564cm y 0.576cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 109: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.572224	3.593627		
NIVEL 7	3.5	3.286052	3.435699	0.465562	0.520851
NIVEL 6	3.5	2.82049	2.914848	0.512436	0.554784
NIVEL 5	3.5	2.308054	2.360064	0.550875	0.576366
NIVEL 4	3.5	1.757179	1.783698	0.563796	0.573199
NIVEL 3	3.5	1.193383	1.210499	0.530304	0.530681
NIVEL 2	3.5	0.663079	0.679818	0.43407	0.43513
NIVEL 1	3.5	0.229009	0.244688	0.229009	0.244688

El cuadro 110 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el quinto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.409cm y 0.530cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 110: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	2.342022	3.484126		
NIVEL 7	3.5	2.423833	3.154257	0.341379	0.481355
NIVEL 6	3.5	2.082454	2.672902	0.391933	0.511512
NIVEL 5	3.5	1.690521	2.16139	0.408638	0.529863
NIVEL 4	3.5	1.281883	1.631527	0.408496	0.525544
NIVEL 3	3.5	0.873387	1.105983	0.379008	0.485546
NIVEL 2	3.5	0.494379	0.620437	0.313748	0.397878
NIVEL 1	3.5	0.180631	0.222559	0.180631	0.222559

El cuadro 111 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis estático, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00604 y 0.00618 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 111: control de derivas inelásticas de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6			
NIVEL 7	3.5	0.00499	0.00558	0.02
NIVEL 6	3.5	0.00549	0.00594	0.02
NIVEL 5	3.5	0.00590	0.00618	0.02
NIVEL 4	3.5	0.00604	0.00614	0.02
NIVEL 3	3.5	0.00568	0.00569	0.02
NIVEL 2	3.5	0.00465	0.00466	0.02
NIVEL 1	3.5	0.00245	0.00262	0.02

El cuadro 112 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 583.096 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 758.545 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 112: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	17.862	17.862	23.7188	23.7188
NIVEL 7	3.5	128.1852	146.0472	172.9055	196.6243
NIVEL 6	3.5	135.526	281.5732	174.952	371.5763
NIVEL 5	3.5	105.3515	386.9247	133.8559	505.4322
NIVEL 4	3.5	81.2409	468.1656	103.1204	608.5526
NIVEL 3	3.5	59.9094	528.075	77.3703	685.9229
NIVEL 2	3.5	38.5213	566.5963	50.8372	736.7601
NIVEL 1	3.5	16.4994	583.0957	21.7846	758.5447

El cuadro 113 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.501cm y 0.442cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 113: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.469979	2.677244		
NIVEL 7	3.5	2.90123	2.620452	0.409834	0.400532
NIVEL 6	3.5	2.491396	2.21992	0.453224	0.42629
NIVEL 5	3.5	2.038172	1.79363	0.489326	0.441757
NIVEL 4	3.5	1.548846	1.351873	0.501462	0.437547
NIVEL 3	3.5	1.047384	0.914326	0.4705	0.402967
NIVEL 2	3.5	0.576884	0.511359	0.381173	0.328248
NIVEL 1	3.5	0.195711	0.183111	0.195711	0.183111

El cuadro 114 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.253cm y 0.393cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 114: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.287976	2.574578		
NIVEL 7	3.5	1.460659	2.331674	0.185745	0.359752
NIVEL 6	3.5	1.274914	1.971922	0.238004	0.381454
NIVEL 5	3.5	1.03691	1.590468	0.250708	0.393493
NIVEL 4	3.5	0.786202	1.196975	0.252664	0.38818
NIVEL 3	3.5	0.533538	0.808795	0.234717	0.356573
NIVEL 2	3.5	0.298821	0.452222	0.19231	0.290509
NIVEL 1	3.5	0.106511	0.161713	0.106511	0.161713

El cuadro 115 muestra las derivas inelásticas de entre piso para cada dirección de análisis, obtenidas mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel tienen las máximas derivas siendo 0.00539 y 0.00475 para los sentidos de análisis X e Y respectivamente; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma ecuatoriana (0.02).

Cuadro 115: control de derivas inelásticas de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DER INELAS ENTRP		DERIV NTP
		UX (cm)	UY (cm)	
CM	2.6	0.002034	0.003902	
NIVEL 7	3.5	0.004416	0.004306	0.02
NIVEL 6	3.5	0.004883	0.004585	0.02
NIVEL 5	3.5	0.005264	0.004748	0.02
NIVEL 4	3.5	0.005385	0.004697	0.02
NIVEL 3	3.5	0.005046	0.004322	0.02
NIVEL 2	3.5	0.004085	0.003518	0.02
NIVEL 1	3.5	0.002097	0.001962	0.02

La figura 20 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el mismo en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son iguales en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 116 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

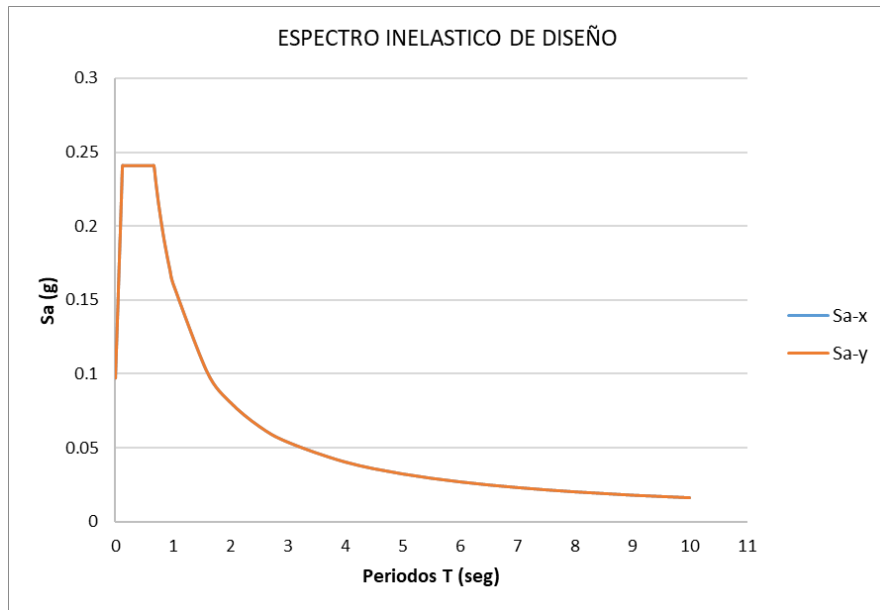


Figura 20: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 116: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	SA	SA*I/(R*ØP*ØE)	SA*I/(R*ØP*ØE)*G
0	0.4375	0.09722222	0.95342431
0.02	0.543772978	0.12083844	1.18502028
0.04	0.650045956	0.14445466	1.41661626
0.06	0.756318934	0.16807087	1.64821224
0.075	0.836023667	0.18578304	1.82190922
0.08	0.862591912	0.19168709	1.87980822
0.1	0.96886489	0.21530331	2.11140419
0.121856	1.085	0.24111111	2.36449228
0.14	1.085	0.24111111	2.36449228
0.16	1.085	0.24111111	2.36449228
0.18	1.085	0.24111111	2.36449228
0.2	1.085	0.24111111	2.36449228
0.25	1.085	0.24111111	2.36449228
0.3	1.085	0.24111111	2.36449228
0.35	1.085	0.24111111	2.36449228
0.4	1.085	0.24111111	2.36449228
0.45	1.085	0.24111111	2.36449228
0.5	1.085	0.24111111	2.36449228
0.55	1.085	0.24111111	2.36449228
0.6	1.085	0.24111111	2.36449228
0.65	1.085	0.24111111	2.36449228
0.670208	1.085	0.24111111	2.36449228
0.7	1.0388224	0.23084942	2.26385949
0.75	0.969567573	0.21545946	2.11293552
0.8	0.9089696	0.20199324	1.98087705
0.85	0.8555008	0.19011129	1.86435487
0.9	0.807972978	0.17954955	1.7607796
0.95	0.765448084	0.17009957	1.66810699
1	0.72717568	0.1615946	1.58470164
1.6	0.4544848	0.10099662	0.99043853
2	0.36358784	0.0807973	0.79235082
2.5	0.290870272	0.06463784	0.63388066
3	0.242391893	0.05386487	0.52823388
4	0.18179392	0.04039865	0.39617541
5	0.145435136	0.03231892	0.31694033
6	0.121195947	0.02693243	0.26411694
7	0.10388224	0.02308494	0.22638595
8	0.09089696	0.02019932	0.19808771
9	0.080797298	0.01795496	0.17607796
10	0.072717568	0.01615946	0.15847016

El cuadro 117 muestra el resumen de los resultados (cortantes basales, desplazamientos y derivas) obtenidos mediante el análisis sísmico estático y el dinámico para cada uno de los casos y cada una de las direcciones de análisis (x e y).

Cuadro 117: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NEC-SE-DS-2015

CASOS	PESO (ton)	PERIODO (T)	ANÁLISIS ESTÁTICO				ANÁLISIS DINÁMICO			
			V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO	V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO
CASO 1	4360.941	Tx=0.541 Ty=0.521	Vx=19.200 Vy=19.200	dx=0.325 dy=0.422	dx=0.449 dy=0.459	x=0.00481 y=0.00492	Vx=10.6782 Vy=13.861	dx=0.201 dy=0.313	dx=0.399 dy=0.352	x=0.00429 y=0.00378
CASO 2	4360.941	Tx=0.541 Ty=0.521	Vx=19.200 Vy=19.200	dx=0.325 dy=0.422	dx=0.449 dy=0.459	x=0.00481 y=0.00492	Vx=10.6602 Vy=13.8473	dx=0.201 dy=0.313	dx=0.399 dy=0.352	x=0.00429 y=0.00378
CASO 3	4360.941	Tx=0.541 Ty=0.521	Vx=23.725 Vy=23.725	dx=0.201 dy=0.313	dx=0.555 dy=0.567	x=0.00594 y=0.00608	Vx=13.1883 Vy=17.125	dx=0.249 dy=0.387	dx=0.494 dy=0.435	x=0.0053 y=0.00467
CASO 4	4360.941	Tx=0.541 Ty=0.521	Vx=24.111 Vy=24.111	dx=0.409 dy=0.530	dx=0.564 dy=0.576	x=0.00604 y=0.00618	Vx=13.3709 Vy=17.3941	dx=0.253 dy=0.393	dx=0.501 dy=0.442	x=0.00539 y=0.00475

3.7. Análisis sísmico con la norma chilena NCH433-2012

El cuadro 118 muestra los casos de análisis descritos en el cuadro 34, así como los respectivos factores utilizados tanto para el análisis estático como dinámico según la norma chilena en estudio.

Cuadro 118: factores usados para el análisis sísmico estático y dinámico con la NCH

	caso 1		caso 2		caso 3		caso 4	
	Z3	SB	Z3	SD	Z2	SB	Z2	SD
factor zona Ao	0.40		0.40		0.30		0.30	
parametro sitio (S)	1		1.2		1		1.2	
parametro sitio (To)	0.3		0.75		0.3		0.75	
parametro sitio (T')	0.35		0.85		0.35		0.85	
parametro sitio (n)	1.33		1.8		1.33		1.8	
parametro sitio (p)	1.5		1		1.5		1	
factor de importancia (I)	1		1		1		1	
factor reduccion estatico (R)	7		7		7		7	
factor reduccion dinamico (Ro)	11		11		11		11	
coeficiente sismico (C)	Cx=0.1115 Cy=0.1018		Cx=0.5854 Cy=0.5177		Cx=0.0836 Cy=0.0763		Cx=0.4390 Cy=0.3882	
coeficiente sismico (C) min	Cx,y=0.0666		Cx,y=0.0800		Cx,y=0.0500		Cx,y=0.0600	
coeficiente sismico (C) max	Cx,y=0.1400		Cx,y=0.1680		Cx,y=0.1050		Cx,y=0.1260	
periodo fundamental (T*)	Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485		Tx=0.453 Ty=0.485	
altura de edificio hn	27.10		27.10		27.10		27.10	

Nota: la resistencia a la compresión del concreto es de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, con un módulo de elasticidad $E = 217370.651193 \text{ Kg/cm}^2$, un coeficiente de poisson $\nu = 0.20$ y un peso específico $\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$ para todos los casos.

3.7.1. resultados del análisis, caso 1

El cuadro 119 muestra los modos de vibración de la estructura y su respectiva masa participativa, se consideró 21 modos (3 por nivel), alcanzando una participación de masa efectiva de 95% aproximadamente, cumpliendo así con el mínimo establecido en la norma chilena (90%). También se logra apreciar que, entre los tres primeros modos predominantes, dos corresponden a efectos de traslación y uno a rotación. Cabe resaltar que estos valores se obtuvieron mediante un análisis modal considerando las características de rigidez y

distribución de masas de la estructura, en tanto por tratarse de la misma estructura, estos valores se usaron en los cuatro casos de análisis.

Cuadro 119: Periodos de vibración y masas participativas

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
1	0.485	0.0199	0.6605	0.0199	0.6605	0.0185	0.0185
2	0.453	0.514	0.0343	0.5338	0.6948	0.1605	0.179
3	0.345	0.1667	0.002	0.7005	0.6968	0.5341	0.7131
4	0.121	0.0484	0.072	0.7489	0.7689	0.0273	0.7405
5	0.117	0.0464	0.0875	0.7953	0.8563	0.0174	0.7579
6	0.081	0.0651	0.0003	0.8604	0.8566	0.102	0.8599
7	0.056	0.0117	0.0306	0.8721	0.8872	0.009	0.8689
8	0.054	0.0204	0.0194	0.8925	0.9066	0.0118	0.8807
9	0.037	0.0172	0.00003324	0.9097	0.9066	0.03	0.9126
10	0.034	0.0012	0.0216	0.9109	0.9282	0.0007	0.9133
11	0.032	0.0149	0.0018	0.9258	0.93	0.0081	0.9214
12	0.025	0.0001	0.0083	0.9259	0.9383	0.0016	0.9231
13	0.024	0.0005	0.0029	0.9264	0.9412	0.0084	0.9315
14	0.024	0.008	0.0002	0.9344	0.9414	0.0056	0.9371
15	0.022	0.0058	1.77E-05	0.9402	0.9414	0.0042	0.9413
16	0.02	5.087E-07	0.005	0.9402	0.9464	0.00002095	0.9413
17	0.018	0.0046	0.00000415	0.9449	0.9464	0.0007	0.942
18	0.018	0.001	0.0001	0.9458	0.9466	0.009	0.951
19	0.018	2.00E-04	0.0012	0.9461	0.9478	1.00E-04	0.9511
20	0.017	0.00003184	0.0007	0.9461	0.9484	0	0.9511
21	0.016	0.0012	0.00001205	0.9473	0.9484	0.0004	0.9514

El cuadro 120 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante equivalente a 486.2669 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. Y en la dirección de análisis Y una fuerza cortante equivalente a 444.067 toneladas con su respectiva distribución por piso.

Cuadro 120: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	19.203267	19.203267	17.5367543	17.5367543
NIVEL 7	3.5	89.4112484	108.614515	81.6518925	99.1886468
NIVEL 6	3.5	86.5527266	195.167242	79.0414412	178.230088
NIVEL 5	3.5	71.8541391	267.021381	65.6184378	243.848526
NIVEL 4	3.5	62.8720948	329.893476	57.4158802	301.264406
NIVEL 3	3.5	56.5250158	386.418492	51.6196183	352.884024
NIVEL 2	3.5	51.782933	438.201425	47.2890666	400.173091
NIVEL 1	3.5	48.0655025	486.266927	43.894245	444.067336

El cuadro 121 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1376cm y 0.1939cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 121: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.9057	1.169206		
NIVEL 7	3.5	0.812916	1.16611	0.108541	0.166026
NIVEL 6	3.5	0.704375	1.000084	0.118167	0.180283
NIVEL 5	3.5	0.586208	0.819801	0.130244	0.19061
NIVEL 4	3.5	0.455964	0.629191	0.13757	0.193896
NIVEL 3	3.5	0.318394	0.435295	0.134838	0.184815
NIVEL 2	3.5	0.183556	0.25048	0.116035	0.157352
NIVEL 1	3.5	0.067521	0.093128	0.067521	0.093128

El cuadro 122 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1331cm y 0.1675cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente

Cuadro 122: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.903595	1.10859		
NIVEL 7	3.5	0.811425	1.01085	0.117764	0.146414
NIVEL 6	3.5	0.693661	0.864436	0.126287	0.157956
NIVEL 5	3.5	0.567374	0.70648	0.131969	0.165782
NIVEL 4	3.5	0.435405	0.540698	0.13316	0.167519
NIVEL 3	3.5	0.302245	0.373179	0.126263	0.158837
NIVEL 2	3.5	0.175982	0.214342	0.108762	0.134863
NIVEL 1	3.5	0.06722	0.079479	0.06722	0.079479

El cuadro 123 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis estático; en el primer caso se observa que

el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000393 y para Y de 0.000554; en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000380 y para Y de 0.000479; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma chilena (0.002 para la deriva máxima del centro de masa y 0.001 para la deriva máxima de entre piso).

Cuadro 123: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV maxima	DERIV maxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000310	0.000474	0.000336	0.000418	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000338	0.000515	0.000361	0.000451	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000372	0.000545	0.000377	0.000474	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000393	0.000554	0.000380	0.000479	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000385	0.000528	0.000361	0.000454	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000332	0.000450	0.000311	0.000385	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000193	0.000266	0.000192	0.000227	0.002	0.001

El cuadro 124 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 313.8846 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 337.0384 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 124: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	8.9915	8.9915	10.2772	10.2772
NIVEL 7	3.5	67.1118	76.1033	75.3439	85.6211
NIVEL 6	3.5	72.9753	149.0786	77.4386	163.0597
NIVEL 5	3.5	58.0532	207.1318	59.9809	223.0406
NIVEL 4	3.5	44.9903	252.1221	46.4848	269.5254
NIVEL 3	3.5	32.738	284.8601	34.8659	304.3913
NIVEL 2	3.5	20.515	305.3751	22.8406	327.2319
NIVEL 1	3.5	8.5095	313.8846	9.8065	337.0384

El cuadro 125 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1822cm y 0.1619cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 125: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.633597	0.975233		
NIVEL 7	3.5	1.039958	0.961809	0.128644	0.137258
NIVEL 6	3.5	0.911314	0.824551	0.150418	0.150282
NIVEL 5	3.5	0.760896	0.674269	0.170437	0.159658
NIVEL 4	3.5	0.590459	0.514611	0.182223	0.161916
NIVEL 3	3.5	0.408236	0.352695	0.177719	0.152541
NIVEL 2	3.5	0.230517	0.200154	0.149849	0.127146
NIVEL 1	3.5	0.080668	0.073008	0.080668	0.073008

El cuadro 126 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.105cm y 0.143cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 126: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.589286	0.933032		
NIVEL 7	3.5	0.608621	0.849757	0.075508	0.123366
NIVEL 6	3.5	0.533113	0.726391	0.094494	0.134163
NIVEL 5	3.5	0.438619	0.592228	0.101736	0.14147
NIVEL 4	3.5	0.336883	0.450758	0.104748	0.142521
NIVEL 3	3.5	0.232135	0.308237	0.099607	0.133587
NIVEL 2	3.5	0.132528	0.17465	0.083991	0.111081
NIVEL 1	3.5	0.048537	0.063569	0.048537	0.063569

El cuadro 127 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis dinámico; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000521 y para Y de 0.000463; en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000299 y para Y de 0.000407; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma chilena (0.002 para la deriva máxima del centro de masa y 0.001 para la deriva máxima de entre piso).

Cuadro 127: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000368	0.000392	0.000216	0.000352	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000430	0.000429	0.000270	0.000383	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000487	0.000456	0.000291	0.000404	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000521	0.000463	0.000299	0.000407	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000508	0.000436	0.000285	0.000382	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000428	0.000363	0.000240	0.000317	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000230	0.000209	0.000139	0.000182	0.002	0.001

La figura 21 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el similar en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son similares en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 128 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

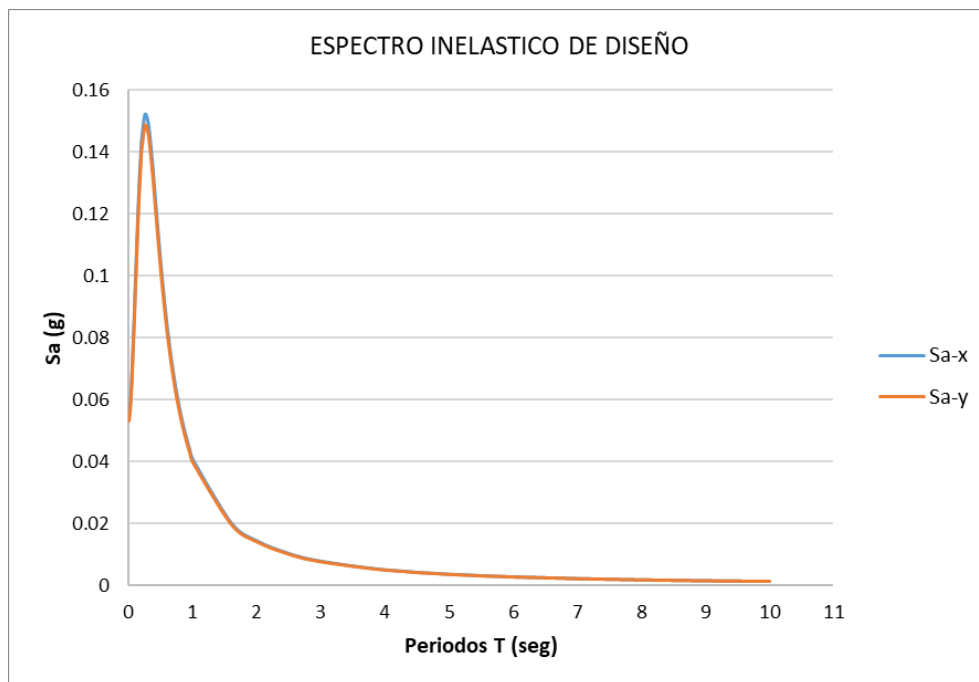


Figura 21: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 128: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	α	SAo* α *I/Rx*	SAo* α *I/Ry*
0	1	0.05431842	0.05300813
0.02	1.077140514	0.05850857	0.0570972
0.04	1.216206164	0.0660624	0.06446881
0.06	1.391361345	0.07557655	0.07375346
0.075	1.538461538	0.0835668	0.08155097
0.08	1.589535041	0.08634103	0.08425828
0.1	1.799381639	0.09773956	0.09538186
0.12	2.009793193	0.10916879	0.10653538
0.14	2.209974243	0.12004231	0.1171466
0.16	2.390121847	0.12982764	0.12669589
0.18	2.542278789	0.13809256	0.13476144
0.2	2.661034944	0.14454321	0.14105649
0.25	2.801834172	0.1521912	0.14851999
0.3	2.75	0.14937565	0.14577236
0.35	2.57756707	0.14000937	0.13663201
0.4	2.352324035	0.12777452	0.1246923
0.4125	2.293439654	0.12457601	0.12157095
0.45	2.118177802	0.11505607	0.11228064
0.5	1.897541947	0.10307148	0.10058515
0.55	1.699314419	0.09230407	0.09007748
0.6	1.525324673	0.08285322	0.08085461
0.65	1.374201436	0.07464445	0.07284385
0.7	1.243387576	0.06753885	0.06590965
0.75	1.130093945	0.06138492	0.05990417
0.8	1.031706465	0.05604066	0.05468883
0.85	0.94592957	0.0513814	0.05014196
0.9	0.870810211	0.04730103	0.04616002
0.95	0.804712529	0.04371071	0.04265631
1	0.746276001	0.04053653	0.0395587
1.6	0.369510526	0.02007123	0.01958706
2	0.263910677	0.01433521	0.01398941
2.5	0.188463822	0.01023706	0.00999011
3	0.143159335	0.00777619	0.00758861
4	0.092810902	0.00504134	0.00491973
5	0.066337894	0.00360337	0.00351645
6	0.050430226	0.00273929	0.00267321
7	0.04000079	0.00217278	0.00212037
8	0.032729305	0.0017778	0.00173492
9	0.027422149	0.00148953	0.0014536
10	0.023409054	0.00127154	0.00124087

3.7.2. Resultados del análisis, caso 2

El cuadro 129 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 732.6381 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 129: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	28.9327601	28.9327601	28.9327601	28.9327601
NIVEL 7	3.5	134.712193	163.644953	134.712193	163.644953
NIVEL 6	3.5	130.405377	294.05033	130.405377	294.05033
NIVEL 5	3.5	108.25963	402.30996	108.25963	402.30996
NIVEL 4	3.5	94.7267587	497.036718	94.7267587	497.036718
NIVEL 3	3.5	85.1638799	582.200598	85.1638799	582.200598
NIVEL 2	3.5	78.0191819	660.21978	78.0191819	660.21978
NIVEL 1	3.5	72.4182846	732.638065	72.4182846	732.638065

El cuadro 130 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.2072cm y 0.3199cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 130: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.36458	1.928998		
NIVEL 7	3.5	1.224786	1.923889	0.163534	0.273915
NIVEL 6	3.5	1.061252	1.649974	0.178037	0.297437
NIVEL 5	3.5	0.883215	1.352537	0.196233	0.314475
NIVEL 4	3.5	0.686982	1.038062	0.207271	0.319897
NIVEL 3	3.5	0.479711	0.718165	0.203155	0.304915
NIVEL 2	3.5	0.276556	0.41325	0.174825	0.259605
NIVEL 1	3.5	0.101731	0.153645	0.101731	0.153645

El cuadro 131 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que

el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.2006cm y 0.2764cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 131: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.361408	1.828991		
NIVEL 7	3.5	1.222539	1.667735	0.177429	0.241557
NIVEL 6	3.5	1.04511	1.426178	0.190272	0.260601
NIVEL 5	3.5	0.854838	1.165577	0.198832	0.273515
NIVEL 4	3.5	0.656006	0.892062	0.200626	0.276378
NIVEL 3	3.5	0.45538	0.615684	0.190235	0.262054
NIVEL 2	3.5	0.265145	0.35363	0.163868	0.222503
NIVEL 1	3.5	0.101277	0.131127	0.101277	0.131127

El cuadro 132 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis estático; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000592 y para Y de 0.000914; en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000573 y para Y de 0.000790; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma chilena (0.002 para la deriva máxima del centro de masa y 0.001 para la deriva máxima de entre piso).

Cuadro 132: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000467	0.000783	0.000507	0.000690	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000509	0.000850	0.000544	0.000745	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000561	0.000899	0.000568	0.000781	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000592	0.000914	0.000573	0.000790	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000580	0.000871	0.000544	0.000749	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000500	0.000742	0.000468	0.000636	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000291	0.000439	0.000289	0.000375	0.002	0.001

El cuadro 133 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 781.562 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 921.783 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 133: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	19.1476	19.1476	25.8823	25.8823
NIVEL 7	3.5	163.3189	182.4665	198.6103	224.4926
NIVEL 6	3.5	184.3401	366.8066	217.331	441.8236
NIVEL 5	3.5	150.2183	517.0249	174.8681	616.6917
NIVEL 4	3.5	116.0419	633.0668	133.9376	750.6293
NIVEL 3	3.5	81.5792	714.646	93.9206	844.5499
NIVEL 2	3.5	48.2614	762.9074	55.6695	900.2194
NIVEL 1	3.5	18.6545	781.5619	21.5636	921.783

El cuadro 134 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.4765cm y 0.4549cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 134: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.576381	2.723824		
NIVEL 7	3.5	2.715742	2.695914	0.335814	0.383836
NIVEL 6	3.5	2.379928	2.312078	0.393078	0.421061
NIVEL 5	3.5	1.98685	1.891017	0.445739	0.448171
NIVEL 4	3.5	1.541111	1.442846	0.476458	0.45486
NIVEL 3	3.5	1.064653	0.987986	0.464074	0.428168
NIVEL 2	3.5	0.600579	0.559818	0.390581	0.356065
NIVEL 1	3.5	0.209998	0.203753	0.209998	0.203753

El cuadro 135 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.2678cm y 0.3982cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 135: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.391184	2.600554		
NIVEL 7	3.5	1.543028	2.369958	0.184259	0.343668
NIVEL 6	3.5	1.358769	2.02629	0.238993	0.374271
NIVEL 5	3.5	1.119776	1.652019	0.258899	0.395182
NIVEL 4	3.5	0.860877	1.256837	0.267786	0.398245
NIVEL 3	3.5	0.593091	0.858592	0.255119	0.372853
NIVEL 2	3.5	0.337972	0.485739	0.21487	0.309274
NIVEL 1	3.5	0.123102	0.176465	0.123102	0.176465

El cuadro 136 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis dinámico; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.00136 y para Y de 0.00130, siendo estas mayores a la deriva máxima permitida (0.001); en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000465 y para Y de 0.00114, siendo estas menores a la deriva máxima permitida (0.002).

Cuadro 136: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico)

NIVEL	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000959	0.001097	0.000526	0.000982	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.001123	0.001203	0.000683	0.001069	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.001274	0.001280	0.000740	0.001129	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.001361	0.001300	0.000765	0.001138	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.001326	0.001223	0.000729	0.001065	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.001116	0.001017	0.000614	0.000884	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000600	0.000582	0.000352	0.000504	0.002	0.001

La figura 22 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el similar en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son similares en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 137 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

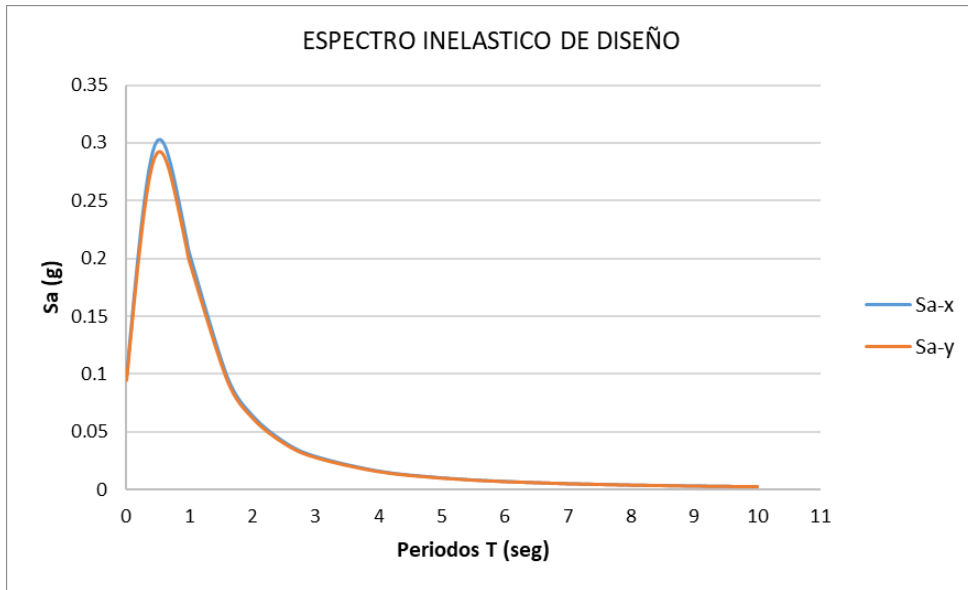


Figura 22: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 137: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	α	SAo* α *I/Rx*	SAo* α *I/Ry*
0	1	0.09797796	0.09462754
0.02	1.119978762	0.10973323	0.10598083
0.04	1.239811916	0.12147424	0.11732035
0.06	1.359304036	0.13318183	0.1286276
0.075	1.448551449	0.14192611	0.13707286
0.08	1.478206005	0.14483161	0.139879
0.1	1.596216376	0.15639402	0.15104603
0.12	1.712983619	0.16783464	0.16209543
0.14	1.828109435	0.17911443	0.1729895
0.16	1.941153271	0.19019024	0.18368656
0.18	2.051638154	0.20101532	0.19414147
0.2	2.159057866	0.21154008	0.20430633
0.25	2.410714286	0.23619686	0.22811996
0.3	2.631578947	0.25783673	0.24901984
0.35	2.81401291	0.27571124	0.26628312
0.4	2.952148186	0.28924545	0.27935452
0.4125	2.979316258	0.29190733	0.28192537
0.45	3.042763158	0.29812372	0.28792919
0.5	3.085714286	0.30233199	0.29199355
0.55	3.083829154	0.30214729	0.29181517
0.6	3.042328042	0.29808109	0.28788802
0.65	2.967964824	0.29079514	0.28085121
0.7	2.868115705	0.28101212	0.27140273
0.75	2.75	0.26943939	0.26022573
0.8	2.620131174	0.2567151	0.24793657
0.85	2.484013031	0.24337853	0.23505604
0.9	2.346041056	0.22986031	0.22200009
0.95	2.209546609	0.21648687	0.20908396
1	2.076923077	0.20349268	0.19653412
1.6	0.989818222	0.09698037	0.09366406
2	0.651205937	0.06380383	0.06162202
2.5	0.420642648	0.04121371	0.03980438
3	0.292307692	0.02863971	0.02766036
4	0.163715741	0.01604053	0.01549202
5	0.104273078	0.01021646	0.0098671
6	0.072124756	0.00706664	0.00682499
7	0.052823149	0.0051755	0.00499852
8	0.040341515	0.00395258	0.00381742
9	0.031810295	0.00311671	0.00301013
10	0.025723523	0.00252034	0.00243415

3.7.3. Resultados del análisis, caso 3

El cuadro 138 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 364.7000 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso y en la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 333.051 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 138: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	14.4024502	14.4024502	13.1525657	13.1525657
NIVEL 7	3.5	67.0584363	81.4608866	61.2389194	74.3914851
NIVEL 6	3.5	64.914545	146.375432	59.2810809	133.672566
NIVEL 5	3.5	53.8906043	200.266036	49.2138283	182.886394
NIVEL 4	3.5	47.1540711	247.420107	43.0619102	225.948304
NIVEL 3	3.5	42.3937619	289.813869	38.7147137	264.663018
NIVEL 2	3.5	38.8371998	328.651069	35.4667999	300.129818
NIVEL 1	3.5	36.0491269	364.700195	32.9206837	333.050502

El cuadro 139 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1032cm y 0.1454cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 139: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.679275	0.876905		
NIVEL 7	3.5	0.609687	0.874582	0.081406	0.124519
NIVEL 6	3.5	0.528281	0.750063	0.088625	0.135212
NIVEL 5	3.5	0.439656	0.614851	0.097683	0.142958
NIVEL 4	3.5	0.341973	0.471893	0.103177	0.145422
NIVEL 3	3.5	0.238796	0.326471	0.101129	0.138611
NIVEL 2	3.5	0.137667	0.18786	0.087026	0.118014
NIVEL 1	3.5	0.050641	0.069846	0.050641	0.069846

El cuadro 140 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que

el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.0999cm y 0.1256cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 140: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.677696	0.831442		
NIVEL 7	3.5	0.608568	0.758137	0.088322	0.10981
NIVEL 6	3.5	0.520246	0.648327	0.094716	0.118467
NIVEL 5	3.5	0.42553	0.52986	0.098976	0.124337
NIVEL 4	3.5	0.326554	0.405523	0.09987	0.125639
NIVEL 3	3.5	0.226684	0.279884	0.094697	0.119127
NIVEL 2	3.5	0.131987	0.160757	0.081572	0.101148
NIVEL 1	3.5	0.050415	0.059609	0.050415	0.059609

El cuadro 141 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis estático; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000295 y para Y de 0.000415; en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000285 y para Y de 0.000359; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma chilena (0.002 para la deriva máxima del centro de masa y 0.001 para la deriva máxima de entre piso).

Cuadro 141: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000233	0.000356	0.000252	0.000314	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000253	0.000386	0.000271	0.000338	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000279	0.000408	0.000283	0.000355	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000295	0.000415	0.000285	0.000359	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000289	0.000396	0.000271	0.000340	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000249	0.000337	0.000233	0.000289	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000145	0.000200	0.000144	0.000170	0.002	0.001

El cuadro 142 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 235.3576 toneladas con su

respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 252.6527 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 142: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	6.7434	6.7434	7.7052	7.7052
NIVEL 7	3.5	50.3232	57.0666	56.4837	64.1889
NIVEL 6	3.5	54.7174	111.784	58.0474	122.2363
NIVEL 5	3.5	43.5269	155.3109	44.957	167.1933
NIVEL 4	3.5	33.7329	189.0438	34.842	202.0353
NIVEL 3	3.5	24.5479	213.5917	26.1375	228.1728
NIVEL 2	3.5	15.3843	228.976	17.126	245.2988
NIVEL 1	3.5	6.3816	235.3576	7.3539	252.6527

El cuadro 143 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1366cm y 0.1214cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 143: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.475082	0.731027		
NIVEL 7	3.5	0.779743	0.720956	0.096456	0.102887
NIVEL 6	3.5	0.683287	0.618069	0.11278	0.112649
NIVEL 5	3.5	0.570507	0.50542	0.127791	0.119676
NIVEL 4	3.5	0.442716	0.385744	0.136627	0.121369
NIVEL 3	3.5	0.306089	0.264375	0.133251	0.114342
NIVEL 2	3.5	0.172838	0.150033	0.112354	0.095306
NIVEL 1	3.5	0.060484	0.054727	0.060484	0.054727

El cuadro 144 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.07854cm y 0.1068cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 144: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	0.441878	0.699397		
NIVEL 7	3.5	0.456347	0.636974	0.056619	0.092475
NIVEL 6	3.5	0.399728	0.544499	0.070852	0.100568
NIVEL 5	3.5	0.328876	0.443931	0.076281	0.106045
NIVEL 4	3.5	0.252595	0.337886	0.07854	0.106833
NIVEL 3	3.5	0.174055	0.231053	0.074685	0.100136
NIVEL 2	3.5	0.09937	0.130917	0.062977	0.083266
NIVEL 1	3.5	0.036393	0.047651	0.036393	0.047651

El cuadro 145 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis dinámico; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000390 y para Y de 0.000347, siendo estas menores a la deriva máxima permitida (0.001); en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000224 y para Y de 0.000305, siendo estas menores a la deriva máxima permitida (0.002).

Cuadro 145: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(cm)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000276	0.000294	0.000162	0.000264	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000322	0.000322	0.000202	0.000287	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000365	0.000342	0.000218	0.000303	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000390	0.000347	0.000224	0.000305	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000381	0.000327	0.000213	0.000286	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000321	0.000272	0.000180	0.000238	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000173	0.000156	0.000104	0.000136	0.002	0.001

La figura 23 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el similar en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son similares en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 146 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

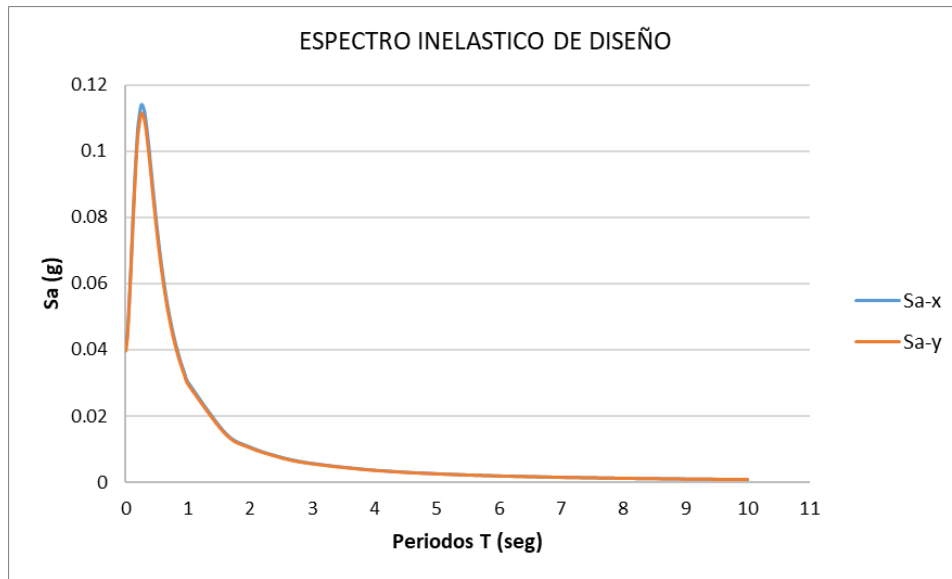


Figura 23: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 146: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	α	SAo* α^* /Rx*	SAo* α^* /Ry*
0	1	0.04073881	0.0397561
0.02	1.077140514	0.04388143	0.0428229
0.04	1.216206164	0.0495468	0.04835161
0.06	1.391361345	0.05668241	0.0553151
0.075	1.538461538	0.0626751	0.06116323
0.08	1.589535041	0.06475577	0.06319371
0.1	1.799381639	0.07330467	0.07153639
0.12	2.009793193	0.08187659	0.07990153
0.14	2.209974243	0.09003173	0.08785995
0.16	2.390121847	0.09737073	0.09502192
0.18	2.542278789	0.10356942	0.10107108
0.2	2.661034944	0.10840741	0.10579236
0.25	2.801834172	0.1141434	0.11138999
0.3	2.75	0.11203174	0.10932927
0.35	2.57756707	0.10500702	0.10247401
0.4	2.352324035	0.09583089	0.09351922
0.4125	2.293439654	0.09343201	0.09117821
0.45	2.118177802	0.08629205	0.08421048
0.5	1.897541947	0.07730361	0.07543886
0.55	1.699314419	0.06922805	0.06755811
0.6	1.525324673	0.06213992	0.06064096
0.65	1.374201436	0.05598334	0.05463289
0.7	1.243387576	0.05065413	0.04943224
0.75	1.130093945	0.04603869	0.04492813
0.8	1.031706465	0.0420305	0.04101662
0.85	0.94592957	0.03853605	0.03760647
0.9	0.870810211	0.03547577	0.03462002
0.95	0.804712529	0.03278303	0.03199223
1	0.746276001	0.0304024	0.02966902
1.6	0.369510526	0.01505342	0.0146903
2	0.263910677	0.01075141	0.01049206
2.5	0.188463822	0.00767779	0.00749259
3	0.143159335	0.00583214	0.00569146
4	0.092810902	0.00378101	0.0036898
5	0.066337894	0.00270253	0.00263734
6	0.050430226	0.00205447	0.00200491
7	0.04000079	0.00162958	0.00159028
8	0.032729305	0.00133335	0.00130119
9	0.027422149	0.00111715	0.0010902
10	0.023409054	0.00095366	0.00093065

3.7.4. Resultados del análisis, caso 4

El cuadro 147 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis estático, observándose en la dirección de análisis X e Y una fuerza cortante equivalente a 549.4785 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 147: cortantes estáticos

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	21.6995701	21.6995701	21.6995701	21.6995701
NIVEL 7	3.5	101.034145	122.733715	101.034145	122.733715
NIVEL 6	3.5	97.804033	220.537748	97.804033	220.537748
NIVEL 5	3.5	81.1947222	301.73247	81.1947222	301.73247
NIVEL 4	3.5	71.045069	372.777539	71.045069	372.777539
NIVEL 3	3.5	63.8729099	436.650449	63.8729099	436.650449
NIVEL 2	3.5	58.5143864	495.164835	58.5143864	495.164835
NIVEL 1	3.5	54.3137134	549.478549	54.3137134	549.478549

El cuadro 148 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1555cm y 0.2399cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 148: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.023435	1.446749		
NIVEL 7	3.5	0.918589	1.442917	0.12265	0.205437
NIVEL 6	3.5	0.795939	1.23748	0.133528	0.223077
NIVEL 5	3.5	0.662411	1.014403	0.147174	0.235856
NIVEL 4	3.5	0.515237	0.778547	0.155454	0.239923
NIVEL 3	3.5	0.359783	0.538624	0.152366	0.228686
NIVEL 2	3.5	0.207417	0.309938	0.131119	0.194704
NIVEL 1	3.5	0.076298	0.115234	0.076298	0.115234

El cuadro 149 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis estático, observándose que

el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.1505cm y 0.2073cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 149: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.021056	1.371743		
NIVEL 7	3.5	0.916905	1.250802	0.133072	0.181169
NIVEL 6	3.5	0.783833	1.069633	0.142704	0.195451
NIVEL 5	3.5	0.641129	0.874182	0.149124	0.205136
NIVEL 4	3.5	0.492005	0.669046	0.15047	0.207283
NIVEL 3	3.5	0.341535	0.461763	0.142676	0.196541
NIVEL 2	3.5	0.198859	0.265222	0.122901	0.166876
NIVEL 1	3.5	0.075958	0.098346	0.075958	0.098346

El cuadro 150 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis estático; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000444 y para Y de 0.000685; en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000430 y para Y de 0.000592; dichos valores resultan menores a la deriva máxima indicado en la norma chilena (0.002 para la deriva máxima del centro de masa y 0.001 para la deriva máxima de entre piso).

Cuadro 140: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (estático)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000350	0.000587	0.000380	0.000518	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000382	0.000637	0.000408	0.000558	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000420	0.000674	0.000426	0.000586	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.000444	0.000685	0.000430	0.000592	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000435	0.000653	0.000408	0.000562	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000375	0.000556	0.000351	0.000477	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000218	0.000329	0.000217	0.000281	0.002	0.001

El cuadro 151 muestra el valor del cortante basal obtenido mediante el análisis dinámico, observándose en la dirección de análisis X una fuerza cortante de 586.2302 toneladas con su

respectiva distribución de fuerzas por piso. En la dirección de análisis Y una fuerza cortante de 691.3154 toneladas con su respectiva distribución de fuerzas por piso.

Cuadro 151: cortantes dinámico

NIVEL	ALTURA	Fi x	Vx	Fi y	Vy
CM	2.6	14.3623	14.3623	19.4116	19.4116
NIVEL 7	3.5	122.502	136.8643	148.9544	168.366
NIVEL 6	3.5	138.2689	275.1332	162.9918	331.3578
NIVEL 5	3.5	112.6742	387.8074	131.1451	462.5029
NIVEL 4	3.5	87.0395	474.8469	100.449	562.9519
NIVEL 3	3.5	61.1907	536.0376	70.4383	633.3902
NIVEL 2	3.5	36.2001	572.2377	41.752	675.1422
NIVEL 1	3.5	13.9925	586.2302	16.1732	691.3154

El cuadro 152 muestra los desplazamientos absolutos y relativos de entre piso en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto y quinto nivel presentan los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.3574cm y 0.4411cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 152: desplazamientos absolutos y relativos de entre piso (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL ENTRP		DESPL. RELAT ENTRP	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.182404	2.042799		
NIVEL 7	3.5	2.036995	2.021873	0.251884	0.287868
NIVEL 6	3.5	1.785111	1.734005	0.294835	0.315786
NIVEL 5	3.5	1.490276	1.418219	0.334335	0.336117
NIVEL 4	3.5	1.155941	1.082102	0.357377	0.341135
NIVEL 3	3.5	0.798564	0.740967	0.348088	0.321116
NIVEL 2	3.5	0.450476	0.419851	0.292962	0.267041
NIVEL 1	3.5	0.157514	0.15281	0.157514	0.15281

El cuadro 153 muestra los desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa de cada nivel en cada dirección de análisis obtenidos mediante el análisis dinámico, observándose que el cuarto nivel presenta los mayores desplazamientos relativos, siendo 0.2009cm y 0.2987cm para la dirección de análisis X e Y respectivamente.

Cuadro 153: desplazamientos absolutos y relativos del centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DESPL. ABSOL CM		DESPL. RELAT CM	
	(m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
CM	2.6	1.043499	1.950346		
NIVEL 7	3.5	1.157384	1.777406	0.138209	0.257743
NIVEL 6	3.5	1.019175	1.519663	0.179262	0.280693
NIVEL 5	3.5	0.839913	1.23897	0.194193	0.296376
NIVEL 4	3.5	0.64572	0.942594	0.200859	0.298673
NIVEL 3	3.5	0.444861	0.643921	0.191357	0.279629
NIVEL 2	3.5	0.253504	0.364292	0.161169	0.231948
NIVEL 1	3.5	0.092335	0.132344	0.092335	0.132344

El cuadro 154 muestra las derivas inelásticas de entre piso y del centro de masa, para cada dirección de análisis obtenidas mediante el análisis dinámico; en el primer caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.001021 y para Y de 0.000975, siendo la primera mayor y la segunda menor a la deriva máxima permitida (0.001); en el segundo caso se observa que el cuarto nivel tiene las máximas derivas siendo para la dirección de análisis X de 0.000574 y para Y de 0.000853, siendo estas menores a la deriva máxima permitida (0.002).

Cuadro 154: derivas inelásticas de entre piso y centro de masa (dinámico)

Story	ALTURA	DERIVA. ENTREP		DERIVA. CM		DERIV máxima	DERIV máxima
	(m)	UX	UY	UX	UY		
CM	2.6						
NIVEL 7	3.5	0.000720	0.000822	0.000395	0.000736	0.002	0.001
NIVEL 6	3.5	0.000842	0.000902	0.000512	0.000802	0.002	0.001
NIVEL 5	3.5	0.000955	0.000960	0.000555	0.000847	0.002	0.001
NIVEL 4	3.5	0.001021	0.000975	0.000574	0.000853	0.002	0.001
NIVEL 3	3.5	0.000995	0.000917	0.000547	0.000799	0.002	0.001
NIVEL 2	3.5	0.000837	0.000763	0.000460	0.000663	0.002	0.001
NIVEL 1	3.5	0.000450	0.000437	0.000264	0.000378	0.002	0.001

La figura 24 muestra el espectro elástico de diseño reducido para cada dirección de análisis (x e y) como una fracción de la aceleración de la gravedad, este resultó ser el similar en las dos direcciones debido a que los factores usados para la construcción de dicho espectro, son similares en ambas direcciones. Por otro lado, el cuadro 155 muestra los “n” periodos de vibración usados para el cálculo del espectro elástico reducido de diseño.

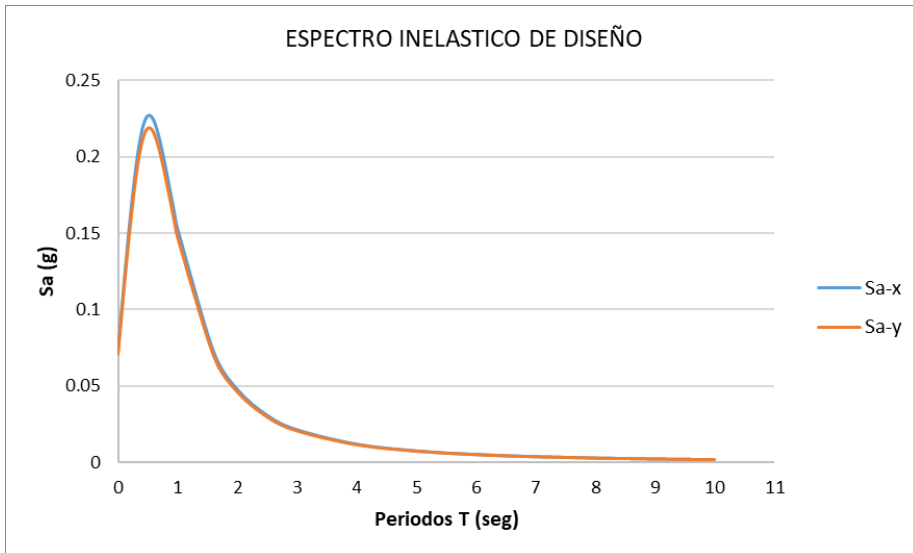


Figura 24: Espectro elástico de diseño reducido
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 155: “n” periodos usados para el cálculo del espectro de diseño.

T	α	SAo* α *I/Rx*	SAo* α *I/Ry*
0	1	0.07348347	0.07097065
0.02	1.119978762	0.08229992	0.07948563
0.04	1.239811916	0.09110568	0.08799026
0.06	1.359304036	0.09988638	0.0964707
0.075	1.448551449	0.10644459	0.10280464
0.08	1.478206005	0.10862371	0.10490925
0.1	1.596216376	0.11729552	0.11328452
0.12	1.712983619	0.12587598	0.12157157
0.14	1.828109435	0.13433582	0.12974212
0.16	1.941153271	0.14264268	0.13776492
0.18	2.051638154	0.15076149	0.1456061
0.2	2.159057866	0.15865506	0.15322975
0.25	2.410714286	0.17714765	0.17108997
0.3	2.631578947	0.19337755	0.18676488
0.35	2.81401291	0.20678343	0.19971234
0.4	2.952148186	0.21693409	0.20951589
0.4125	2.979316258	0.21893049	0.21144403
0.45	3.042763158	0.22359279	0.21594689
0.5	3.085714286	0.22674899	0.21899516
0.55	3.083829154	0.22661046	0.21886137
0.6	3.042328042	0.22356082	0.21591601
0.65	2.967964824	0.21809635	0.21063841
0.7	2.868115705	0.21075909	0.20355205
0.75	2.75	0.20207954	0.1951693
0.8	2.620131174	0.19253633	0.18595242
0.85	2.484013031	0.18253389	0.17629203
0.9	2.346041056	0.17239524	0.16650007
0.95	2.209546609	0.16236515	0.15681297
1	2.076923077	0.15261951	0.14740059
1.6	0.989818222	0.07273528	0.07024805
2	0.651205937	0.04785287	0.04621651
2.5	0.420642648	0.03091028	0.02985328
3	0.292307692	0.02147978	0.02074527
4	0.163715741	0.0120304	0.01161901
5	0.104273078	0.00766235	0.00740033
6	0.072124756	0.00529998	0.00511874
7	0.052823149	0.00388163	0.00374889
8	0.040341515	0.00296443	0.00286306
9	0.031810295	0.00233753	0.0022576
10	0.025723523	0.00189025	0.00182562

El cuadro 156 muestra el resumen de los resultados (cortantes basales, desplazamientos y derivas) obtenidos mediante el análisis sísmico estático y el dinámico para cada uno de los casos y cada una de las direcciones de análisis (x e y).

Cuadro 156: resumen de resultados obtenidos mediante el análisis con la NCH433-2012

CASOS	PESO (ton)	PERIODO (T)	ANÁLISIS ESTÁTICO				ANÁLISIS DINÁMICO			
			V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO	V BASAL (%) DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESPL. MÁXIMO RELATIVO CENTRO MASA (cm)	DESPL. MÁXIMO RELATIVO ENTRE PISO (cm)	DERIVA INELÁSTICA MÁXIMA ENTRE PISO
CASO 1	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=11.151 Vy=10.183	dx=0.133 dy=0.168	dx=0.138 dy=0.194	x=0.000393 y=0.000554	Vx=7.1976 Vy=7.7286	dx=0.105 dy=0.143	dx=0.182 dy=0.162	x=0.000521 y=0.000463
CASO 2	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=16.800 Vy=16.800	dx=0.201 dy=0.276	dx=0.207 dy=0.320	x=0.000592 y=0.000914	Vx=17.9219 Vy=21.1373	dx=0.268 dy=0.398	dx=0.476 dy=0.455	x=0.00136 y=0.00130
CASO 3	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=8.3628 Vy=7.6371	dx=0.100 dy=0.126	dx=0.103 dy=0.145	x=0.000295 y=0.000415	Vx=5.3969 Vy=5.7935	dx=0.079 dy=0.107	dx=0.137 dy=0.121	x=0.00039 y=0.000347
CASO 4	4360.941	Tx=0.453 Ty=0.485	Vx=12.600 Vy=12.600	dx=0.150 dy=0.207	dx=0.155 dy=0.240	x=0.000444 y=0.000685	Vx=13.4427 Vy=15.8524	dx=0.201 dy=0.299	dx=0.357 dy=0.341	x=0.00102 y=0.000975

3.8. Comparación entre normas NTP-E.030-2018, NEC-SE-DS-2015 Y NCH433-2012

3.8.1. Comparación cualitativa

La comparación cualitativa se basó en comparar cada norma con la norma peruana, para identificar aspectos similares o diferencias en cuanto a metodologías de diseño, procedimientos y consideraciones sísmicas para el cálculo de cortantes, desplazamientos, derivas, etc.

	NTP E.030-2018					NEC-SE-DS-2015												
	Parámetros	Fórmulas	Observaciones			Fórmulas	Observaciones											
Parámetros Sísmicos	Factor de Zona	Z	Zona		Z(g)			Z	Zona		Z(g)							
			4	0,45			6		0,5									
			3	0,35			5		0,4									
			2	0,25			4		0,35									
			1	0,1			3		0,3									
							2		0,25									
	Factor de Suelo	S	Z4	S0	S1	S2	S3	Fa	A	B	C	D	E					
				0,8	1	1,05	1,1		I	0,9	1	1,4	1,6	1,8				
				Z3	0,8	1	1,15		1,2	II	0,9	1	1,3	1,4	1,4			
										III	0,9	1	1,25	1,3	1,25			
										IV	0,9	1	1,23	1,25	1,1			
										V	0,9	1	1,2	1,2	1			
		Z2	0,8	1	1,2	1,4	VI	0,9	1	1,18	1,12	0,85						
							Z1	0,8	1	1,6	2	Fd	A	B	C	D	E	
													I	0,9	1	1,36	1,62	2,1
													II	0,9	1	1,28	1,45	1,75
													III	0,9	1	1,19	1,36	1,7
													IV	0,9	1	1,15	1,28	1,65
V	0,9	1	1,11	1,19	1,6													
Z1	0,8	1	1,6	2	Fs	A	B	C	D	E								
						I	0,75	0,75	0,85	1,02	1,5							
						II	0,75	0,75	0,94	1,06	1,6							
						III	0,75	0,75	1,02	1,11	1,7							
						IV	0,75	0,75	1,06	1,19	1,8							
						V	0,75	0,75	1,11	1,28	1,9							
					VI	0,75	0,75	1,23	1,4	2								

.... continua

	NTP E.030-2018						NEC-SE-DS-2015					
	Parámetros	Fórmulas	Observaciones				Fórmulas	Observaciones				
Parámetros Sísmicos	Periodos	Tp y TL		S0	S1	s2	s3	Tp y TL	Tc=0.55Fs x Fd/Fa		TL = 2.4 x Fd	
			Tp	0,3	0,4	0,6	1					
			TL	3	2,5	2	1,6					
	cat. de las edificaciones y factores de	u	categoria	edificaciones			factor	I	categoria	Edificaciones		factor
			A	Edif. Esenciales			1,5		Esenciales	hospitales, est.bomberos, policiales		1,5
			B	Edif. Importantes			1,3		ocupación especial	aforo mayor a 5000 perosnas		1,3
			C	Edif comunes			1		otras	resto de edificaciones		1
	coeficiente bsico de reduccion	Ro	sistema estructural de concreto armado			factor	R	sistema estructural de concreto armado			factor	
			Pórticos			8		Pórticos			8	
			Dual			7		Dual			8	
De muros estructurales			6	Muros de ductilidad limitada				5				
Muros de ductilidad limitada			4	De muros estructurales				3				
irregularida des estructurales en altura	Ia	Tipo			factor	ØPi	Tipo		factor			
		Irregularidad de rigidez-Piso blando			0,75		Piso flexible		0,9			
		Irregularidad Extrema de rigidez			0,5		Distribucion de Masa		0,9			
		de masa o peso			0,9		Irregularidad geométrica		0,9			
		Geometrica Vertical			0,9							
		Discontinuidad. Sist. Resistentes			0,8							
Disc. extrema de los sist. resistentes			0,6									
Irregularida des estructurales en planta	I _p	Tipo			Factor	I _p	Tipo		Factor			
		Trosional			0,75		Trosional		0,9			
		Torisonal Extrema			0,6		Retrosesos Excesivos en las esquinas		1,9			
		Esquina Entrante			0,9		Discontinuidad en el sistema de piso		3,9			
		Discontinuidad del diafragma			0,85							
		sistema no paralelo			0,9		ejes estructurales no paralelo		4,9			
Coeficiente de	R	R = Ro x Ia x I _p				no presenta parametro						

.... continua

	NTP E.030-2018				NEC-SE-DS-2015				
	Parámetros	Fórmulas	Observaciones		Fórmulas	Observaciones			
Análisis Estático	Fuerza Cortante en la Base	$V = (ZUCS/R) \times P$	$(C/R) \geq 0.11$		V	$V = (I \times S_a / (R \times \phi \times \rho_e)) \times W$			
	Periodo fundamnet al de	$T = (H_n / C_t)$	Póticos	35	$T = C_t \times H_n^\alpha$	Póticos de Hormigón Armado		C_t	α
			Pórticos y cajas de ascensor	45		Sin muros estructurales		0,055	0,9
Muros de corte	60	con muros estructurales		0,055	0,75				
Análisis Dinámico	Aceleracion Espectral	$S_a = (ZUCS/R) \times g$	$T < 0.2 T_p$	$C = 1 + (1.75 \times (T/T_p))$	$S_a = Z F_a \{1 + (n - 1) \times T / T_o\} * I / R$	$T_o = 0.1 F_{sx} F_d / F_a$	$T < T_o$		
Controles	Derivas de piso	$0.75 R \Delta_e < 0.007$	Estructuras Regulares	Concreto Armado	$0.75 R \Delta_e < 0.002$	Estructuras Regulares	Concreto Armado		
		$0.85 R \Delta_e < 0.007$	Estrcuturas Irregulares		$0.75 R \Delta_e < 0.002$	Estructuras Irregulares			
	Fuerza Cortante	$V_d \geq 0.8 V_e$	Estructuras Regulares	Concreto Armado	$V_d \geq 0.80 V_e$	Estructuras Regulares	Concreto Armado		
		$V_d \geq 0.9 V_e$	Estrcuturas Irregulares		$V_d \geq 0.85 V_e$	Estrcuturas Irregulares			
	Secciones Agrietadas	no presenta parametros				0.5 lg	Vigas	Concreto Armado	
						0.8 lg	Columnas		
						0.6 lg	Muros estructurales		
Probabilidad de retorno, exedencia y coeficiente de amortiguamiento	sismo raros con una probabilidad de 10% ser exedido en 50 años, con un periodod de retorno de 475 años. 5% de amortiguamiento (4.7.1)				Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser exedido en 50 años (período de retorno de 475 años). 5% de amortiguamiento.				
Numero de l	se consideran aquellos modos de vibracion cuya suma de masa efectiva sea por lo menos el 90% de la masa total (4.6.1)				los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura				
Combinacio n modal	combinacion cuadratita completa (CQC); elcuadrado de la suma de los cuadrados (SRSS)				Cuando se utilicen modelos tri-dimensionales, los efectos de interacción modal deben ser considerados cuando se combinen los valores modales máximos.				

Figura 25: comparación cualitativa entre normas NTP E.030-2018 Y NEC-SE-DS-2015
Fuente: Elaboración propia.

		NTP E.030-2018					NCH433-2012													
		Parámetros	Fórmulas	Observaciones					Parámetros	Fórmulas	Observaciones									
Parámetros Sísmicos	Factor de Zona	Z	Zona		Z(g)			Factor de Zona	Ao	Zona		Zona								
			4	0,45			3			0,4										
			3	0,35			2			0,3										
			2	0,25			1			0,2										
			1	0,1																
	Factor de Suelo	S	S0		S1	S2	S3	Factor suelo	S	S		To(s)	T'(s)	n	p					
			Z4	0,8	1	1,05	1,1			A	0,9	0,15	0,2	1	2					
			Z3	0,8	1	1,15	1,2			B	1	0,3	0,35	1,33	1,5					
			Z2	0,8	1	1,2	1,4			C	1,05	0,4	0,45	1,4	1,6					
			Z1	0,8	1	1,6	2			D	1,2	0,75	0,85	1,8	1					
	Periodos	Tp y TL	S0		S1	s2	s3	no presenta para metros												
			TP	0,3	0,4	0,6	1													
TL			3	2,5	2	1,6														
coeficiente de amplificación sísmica	c = 2.5	T < Tp					Coeficiente sísmico	C = (2.75SAo/gR) x (T'/T*)^a	C ≥ (AoS/6g)											
	= 2.5 x (Tp/T)	Tp < T < TL							Sist. Estructural		Cmax									
	2.5 x (Tp x TL)	T < TL							Pórticos de Hormigón Armado		0.35x(Sao/gR)									
cat. de las edificaciones y factores de uso	u	categoria	edificaciones		factor		Categoria de ocupacion de edificios	I	Cat.	Edificaciones			Uso							
		A	Edif. Esenciales		1,5				I	Inst. Agrícolas, inst. provisionales, int. De			0,6							
		B	Edif. Importantes		1,3				II	Edificios de habitacion privada o uso publico			1							
coeficiente basico de reduccion	Ro	sistema estructural de concreto armado		factor		Factor de Modificacio n de respuesta	R, Ro	Sistema Estructural			R	Ro								
		Pórticos		8				Pórticos de Hormigón Armado			7	11								
		Dual		7				muros de Hormigón Armado			7	11								
		De muros estructurales		6				H.Armado y Alb. Confinada			6	4								
Muros de ductilidad limitada		4		Albañileria Confinada			4	4												

.... continua

		NTP E.030-2018				NCH433-2012		
		Parámetros	Fórmulas	Observaciones		Parámetros	Fórmulas	Observaciones
Parámetros Sísmicos	irregularidades estructurales en altura	Ia	Tipo	factor				no considera parametro
			Irregularidad de rigidez-Piso blando	0,75				
			Irregularidad Extrema de rigidez de masa o peso	0,5				
			Geometrica Vertical	0,9				
			Discontinuidad. Sist. Resistentes	0,8				
			Disc. extrema de los sist. resistentes	0,6				
	Irregularidades estructurales en planta	Ip	Tipo	Factor				no considera parametro
			Torsional	0,75				
			Torisonal Extrema	0,6				
			Esquina Entrante	0,9				
Discontinuidad del diafragma sistema no paralelo			0,9					
Coficiente de reduccion de las fuerzas Sísmicas	R	R = Ro x Ia x Ip				no considera parametro		
Análisis Estático	Fuerza Cortante en la Base	V = (ZUCS/R) x P	(C/R) ≥ 0.11		Esfuerzo de Corte Basal	Qo = CIP	P = Peso de la Estructura	
	Periodo fundamnetal de vibracion	T = (Hn/Ct)	Pórticos	35	Periodo de Vibración	T*	debe calcularse mediante un procedimiento fundamentado	
			Pórticos y cajas de ascensor	45				
			Muros de corte	60				
Análisis Dinámico	Aceleracion Espectral	Sa = (ZUCS/R) x g	T < 0.2 Tp	C = 1+(1.75x(T/Tp))	Acelaración espectral	Sa	Sa = Saoα/(Ro/I)	
					Factor de amplificación	α = (1+4.5(Tn/To)²)/(1+(Tn/To)³)	Tn = Periodo de Vibración To,P = Parametros relativos al tipo de suelo de fundación	
					Factor de reduccion R*	R* = 1+(T*/(0.10Tp+T*/Ro))	T* = Periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la direccion de analisis	

.... continua

	NTP E.030-2018			NCH433-2012		
	Parámetros	Fórmulas	Observaciones	Parámetros	Fórmulas	Observaciones
Controles	Derivas de piso	$0.75 R \Delta_e < 0.007$	Estructuras Regulares	Derivas de piso	$\Delta_{elástica-centro de masa}$	$\Delta_{cm} < 0.003$
		$0.85 R \Delta_e < 0.007$	Estructuras Irregulares		$\Delta_{elástica en un punto}$	$\Delta_{er} < 0.002$
	Fuerza Cortante mínima	$V_d \geq 0.8 V_e$	Estructuras Regulares	Fuerza Cortante mínima	Q_{min}	$Q_{min} = I * S * A_o * p / 6g$
		$V_d \geq 0.9 V_e$	Estructuras Irregulares		Q_{max}	$Q_{max} = C_{máx} * I * P$
características	Probalidad de retorno, exedencia y coeficiente de amortiguamiento	sismo raros con una probabilidad de 10% ser exedido en 50 años, con un periodod de retorno de 475 años. 5% de amortiguamiento (4.7.1)		Probalidad de retorno, exedencia y coeficiente de amortiguamiento	evento sísmico con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años	
	Numero de Modos	se consideran aquellos modos de vibracion cuya suma de masa efectiva sea por lo menos el 90% de la masa total (4.6.1)		Numero de Modos	se consideran aquellos modos de vibracion cuya suma de masa efectiva sea por lo menos el 90% de la masa total.	
	Combinacion modal	combinacion cuadratita completa (CQC); elcuadrado de la suma de los cuadrados (SRSS)		Combinacion modal	combinacion cuadratita completa (CQC); elcuadrado de la suma de los cuadrados (SRSS)	

Figura 26: comparación cualitativa entre normas NTP E.030-2018 Y NCH433-2012
Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Ecuador)

La comparación cuantitativa se basó en los resultados obtenidos producto del análisis sísmico, tales como cortantes basales, desplazamientos máximos, derivas máximas, y espectros de diseño, calculados con cada una de las normas para cada caso de análisis descrito en el cuadro 34.

Comparación de corte basal

Para la comparación del cortante basal, se tomó el máximo valor en cada eje de análisis (x e y) para cada uno de los casos.

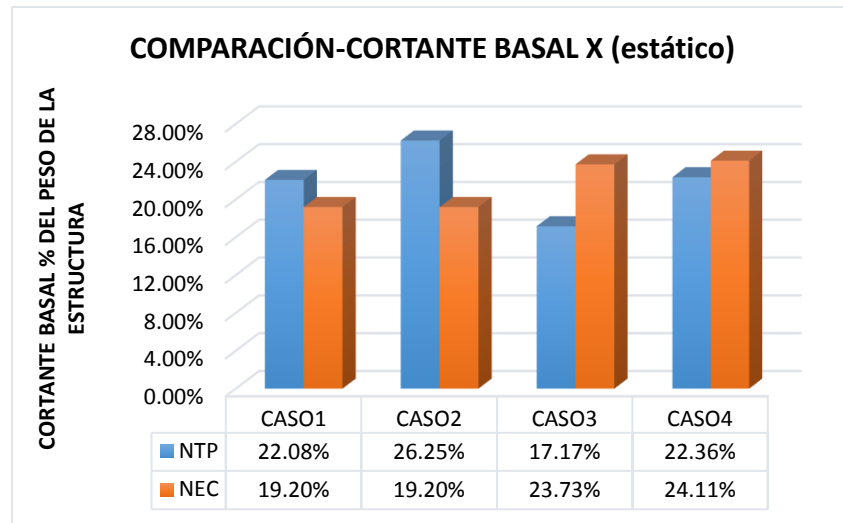


Figura 27: comparación del corte basal estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

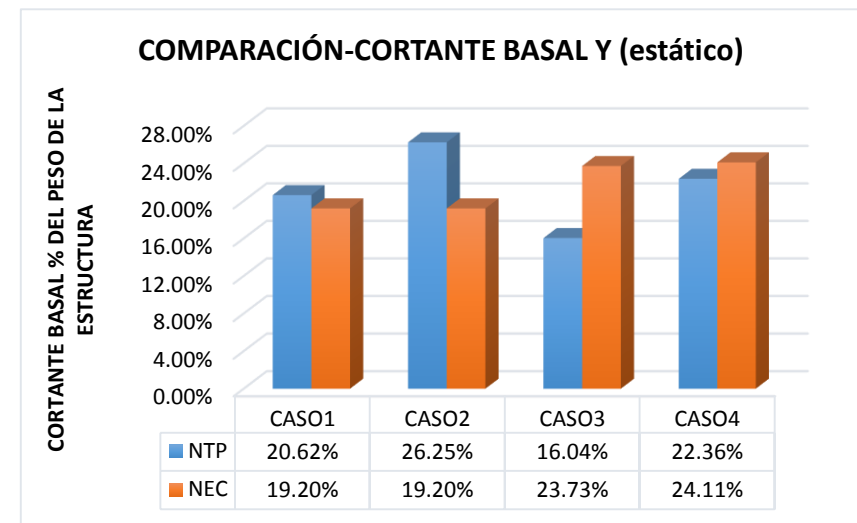


Figura 28: comparación del corte basal estático (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

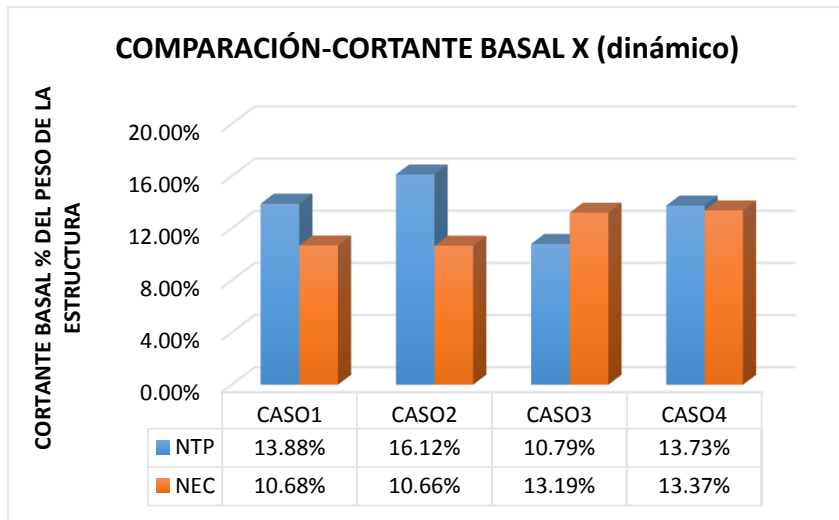


Figura 29: comparación del corte basal dinámico (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

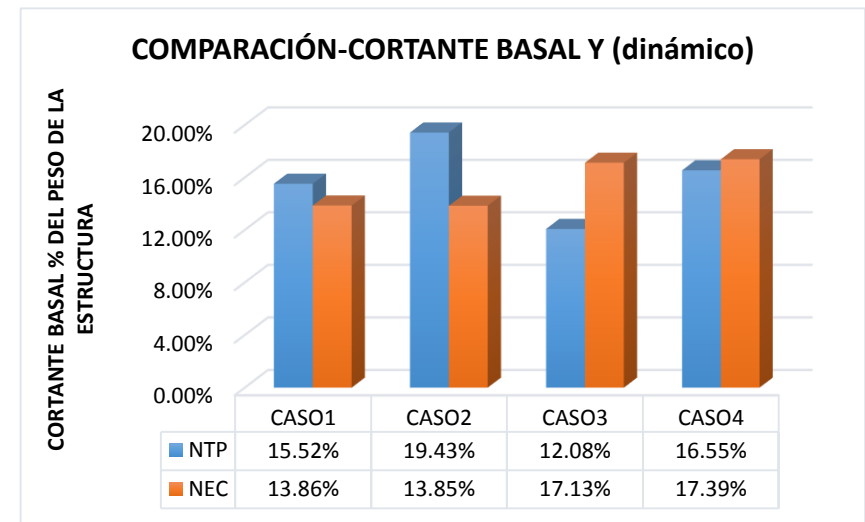


Figura 30: comparación del corte basal dinámico (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

Comparación de desplazamientos relativos del centro de masa

Para la comparación de desplazamientos relativos del centro de masa, se tomó el máximo valor en cada sentido de análisis (x e y) para cada uno de los casos analizados con cada una de las normas.

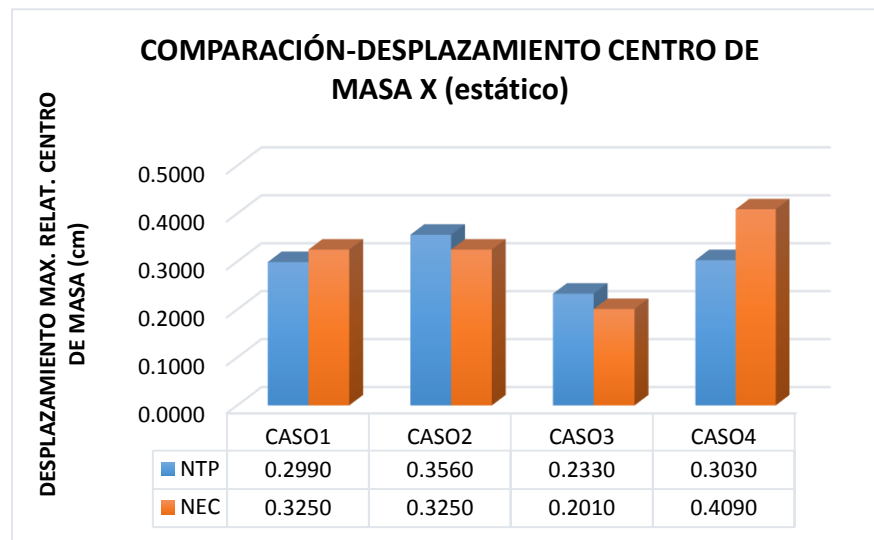


Figura 31: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

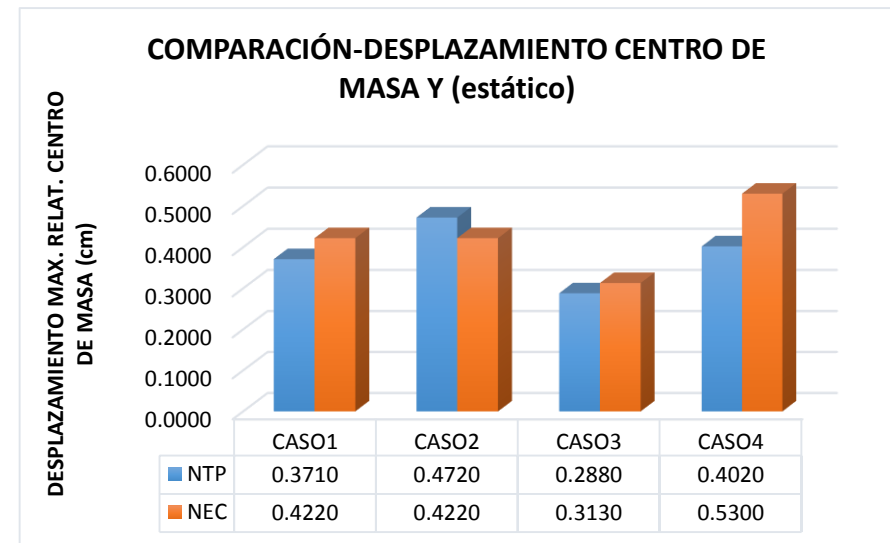


Figura 32: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

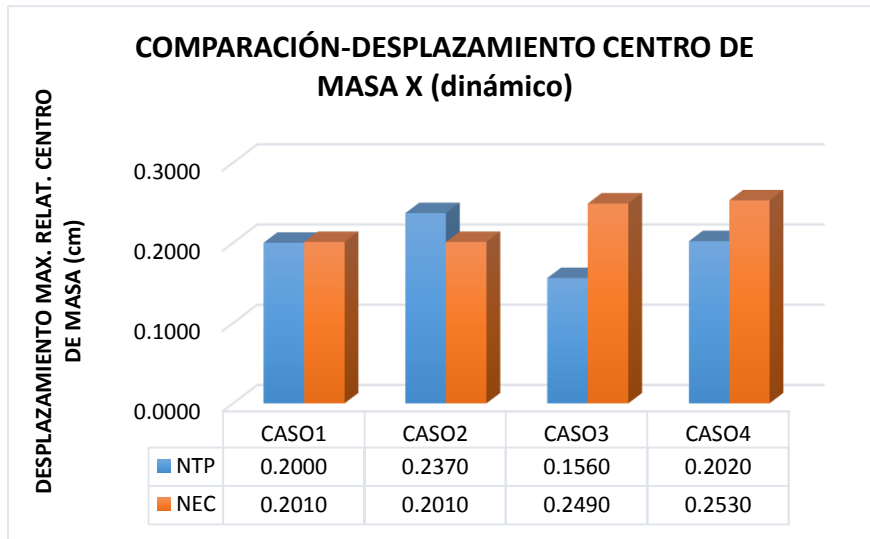


Figura 33: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x)
Fuente: elaboración propia

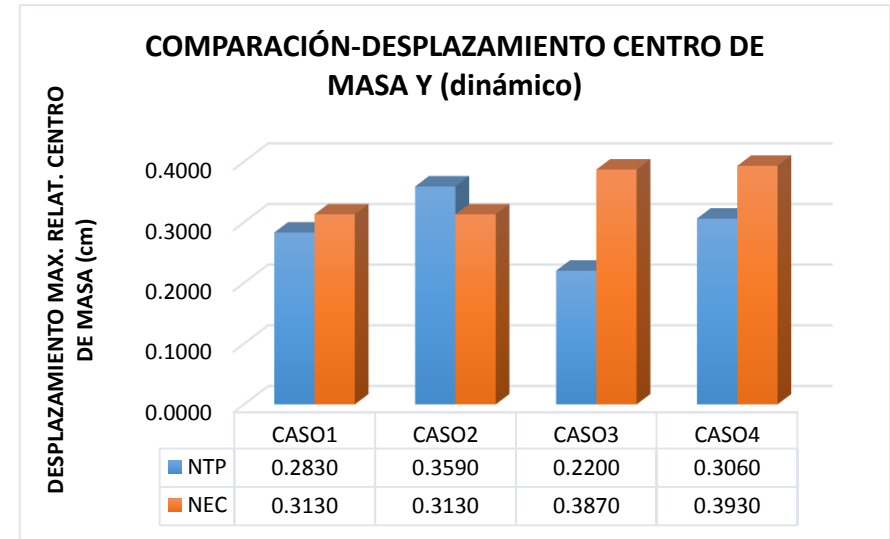


Figura 34: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x)
Fuente: elaboración propia

Comparación de desplazamientos relativos de entre piso

Para la comparación de desplazamientos relativos de entre piso, se tomó el máximo valor e en cada sentido de análisis (x e y) para cada uno de los casos analizados con cada una de las normas.

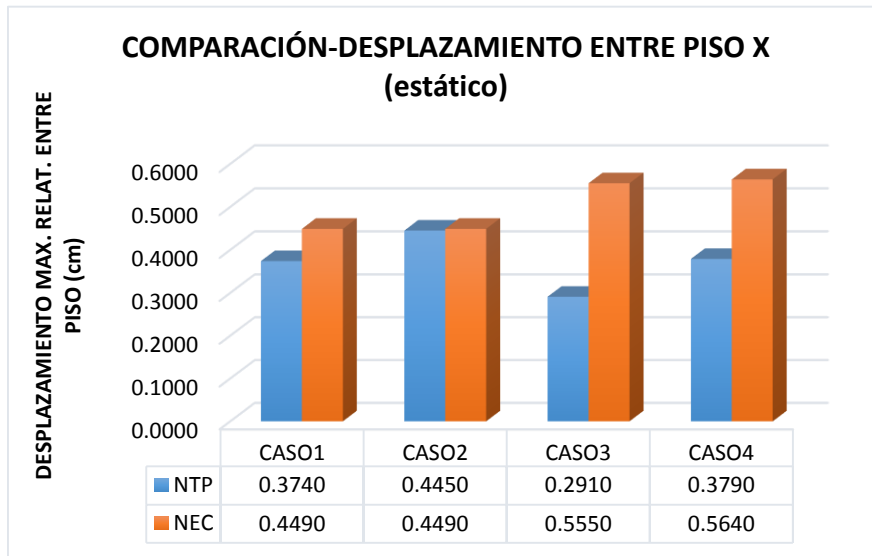


Figura 35: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

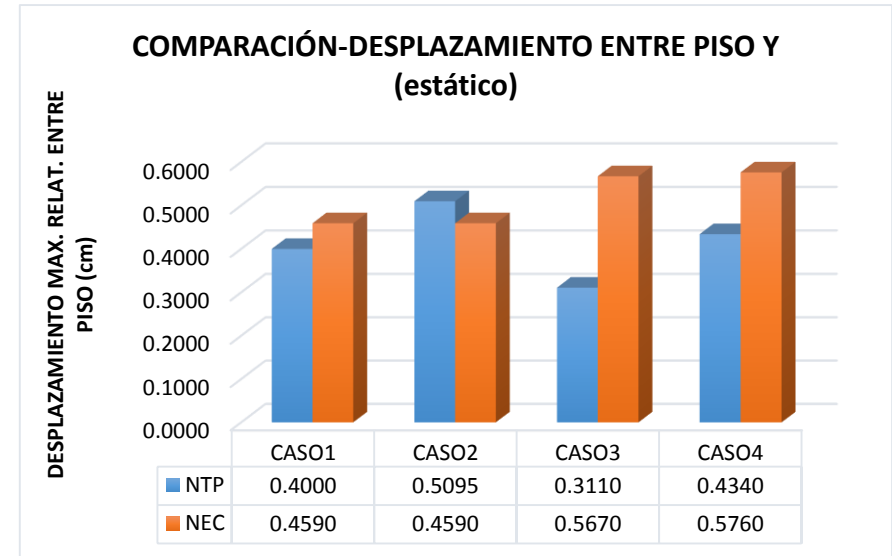


Figura 36: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático eje (y-y)
Fuente: elaboración propia

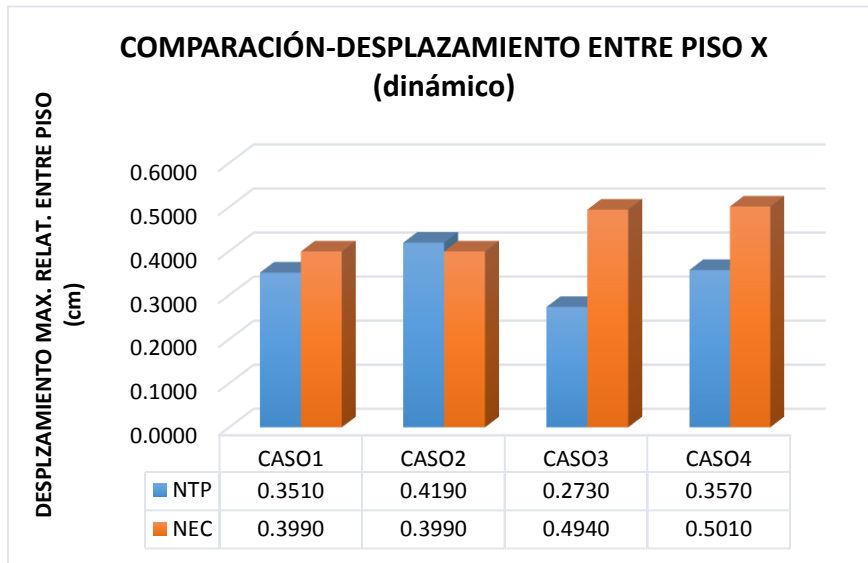


Figura 37: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

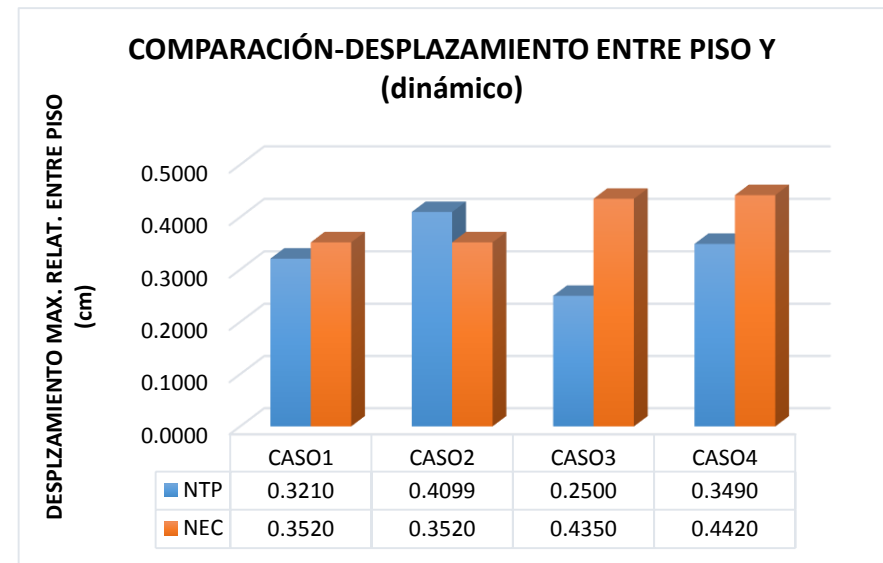


Figura 38: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

Comparación de derivas inelásticas de entre piso

Para la comparación de derivas inelásticas de entre piso, se tomó la deriva máxima en cada dirección de análisis y se determinó el porcentaje de cumplimiento con la deriva máxima establecida por su norma correspondiente.

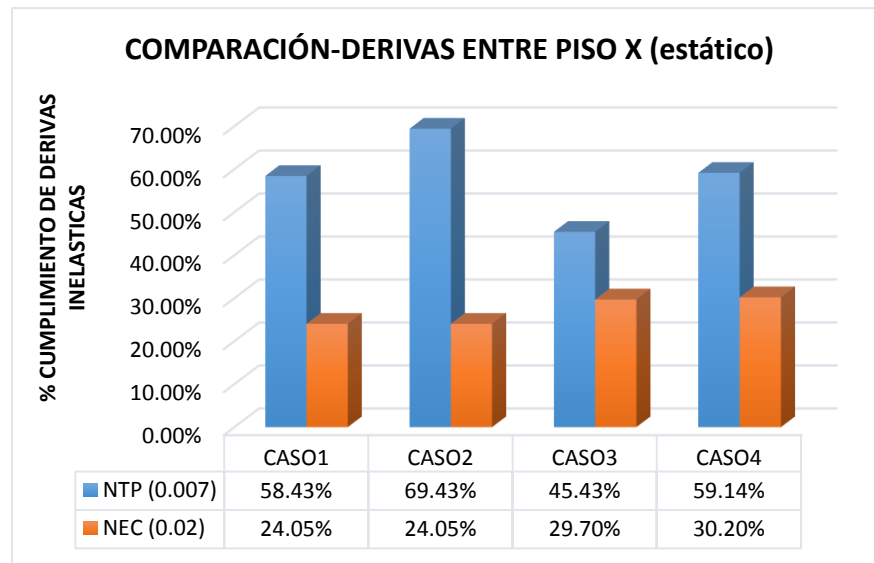


Figura 39: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

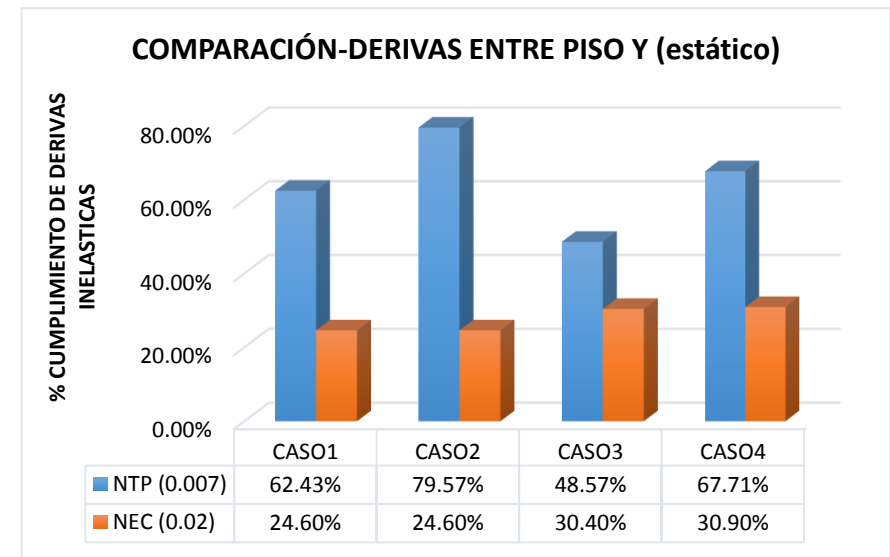


Figura 40: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

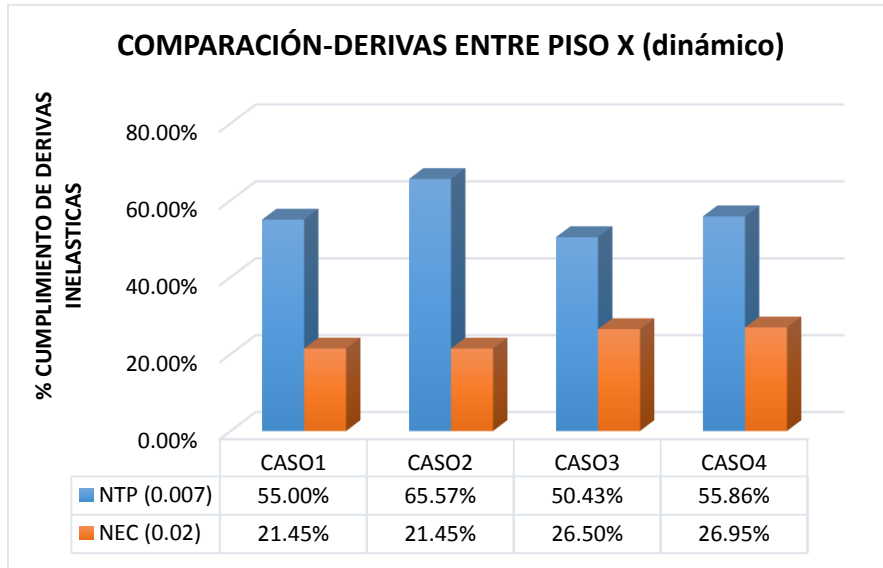


Figura 41: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

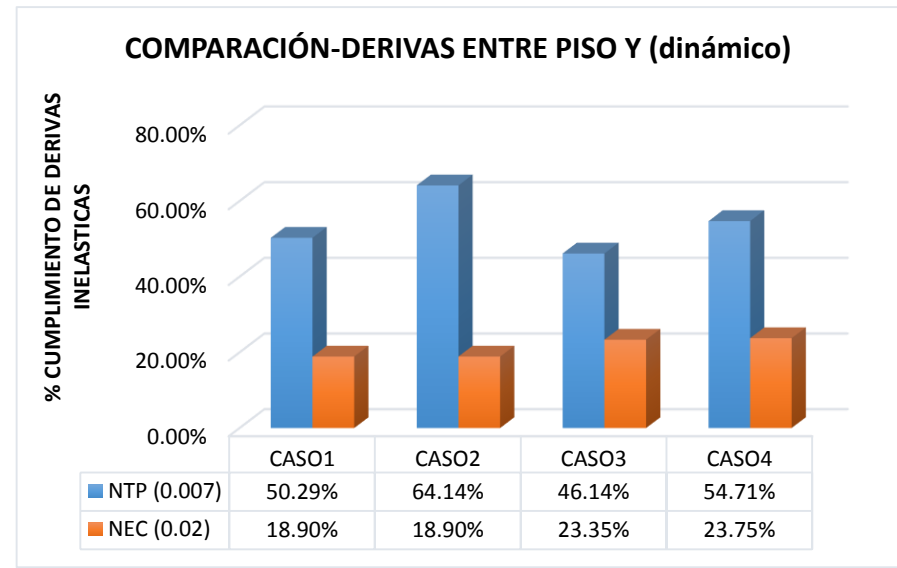


Figura 42: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

3.8.3. Comparación cuantitativa (Frontera Perú – Chile)

La comparación cuantitativa se basó en los resultados obtenidos producto del análisis sísmico, tales como cortantes basales, desplazamientos máximos, derivas máximas, y espectros de diseño, calculados con cada una de las normas para cada caso de análisis descrito en el cuadro 34.

Comparación de corte basal

Para la comparación del cortante basal, se tomó el máximo valor en cada eje de análisis (x e y) para cada uno de los casos.

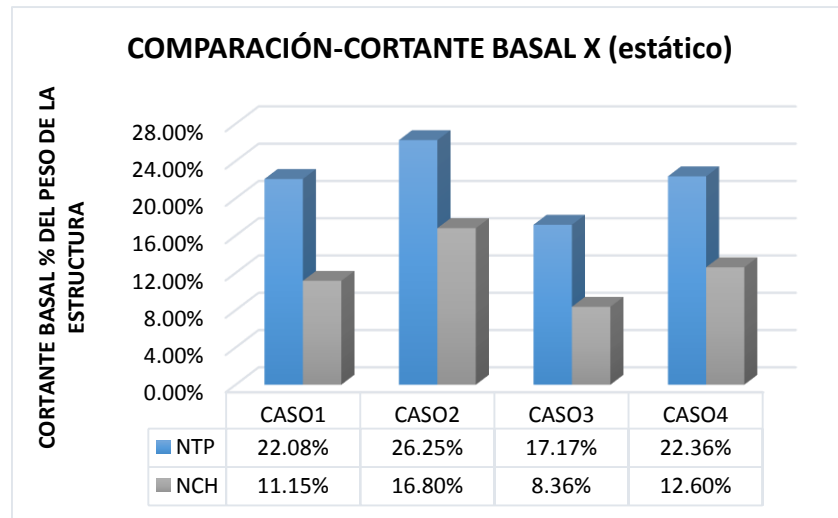


Figura 43: comparación del corte basal estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

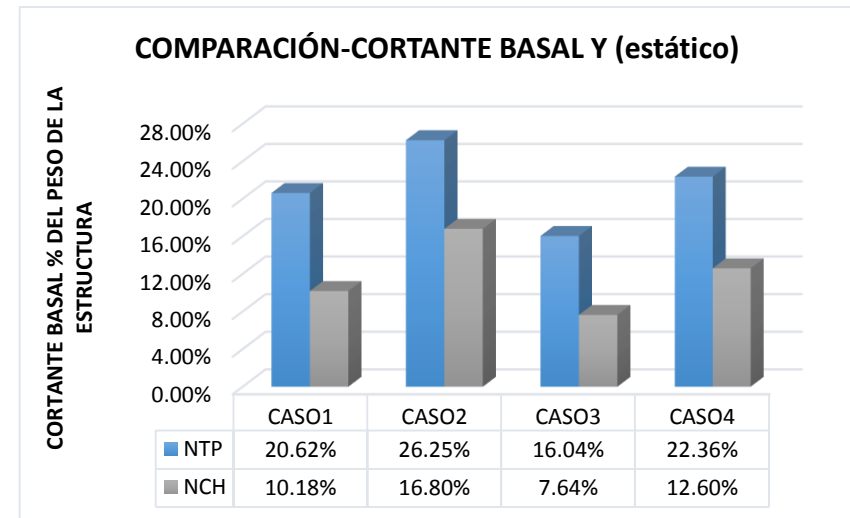


Figura 44: comparación del corte basal estático (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

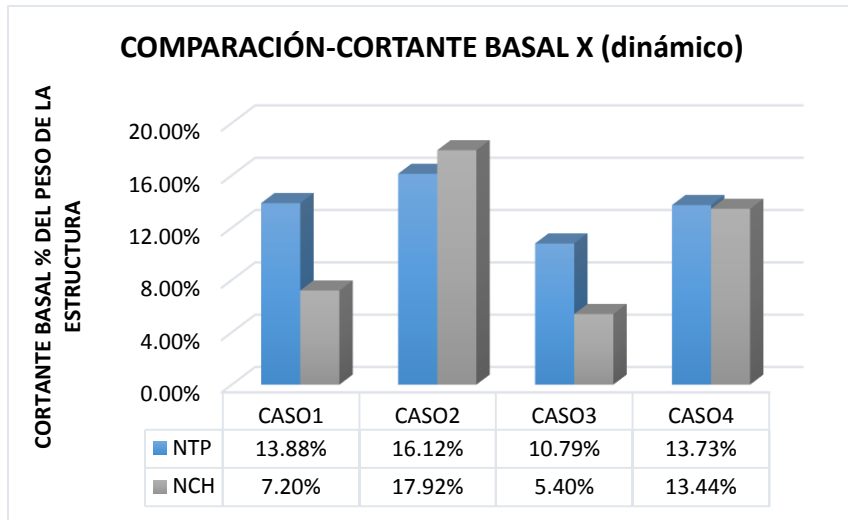


Figura 45: comparación del corte basal dinámico (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

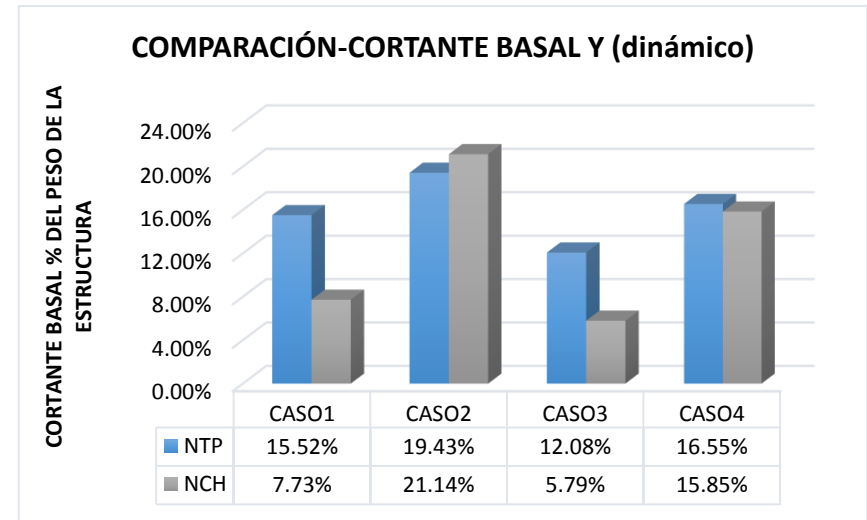


Figura 46: comparación del corte basal dinámico (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

Comparación de desplazamientos relativos del centro de masa

Para la comparación de desplazamientos relativos del centro de masa, se tomó el máximo valor en cada sentido de análisis (x e y) para cada uno de los casos analizados con cada una de las normas.

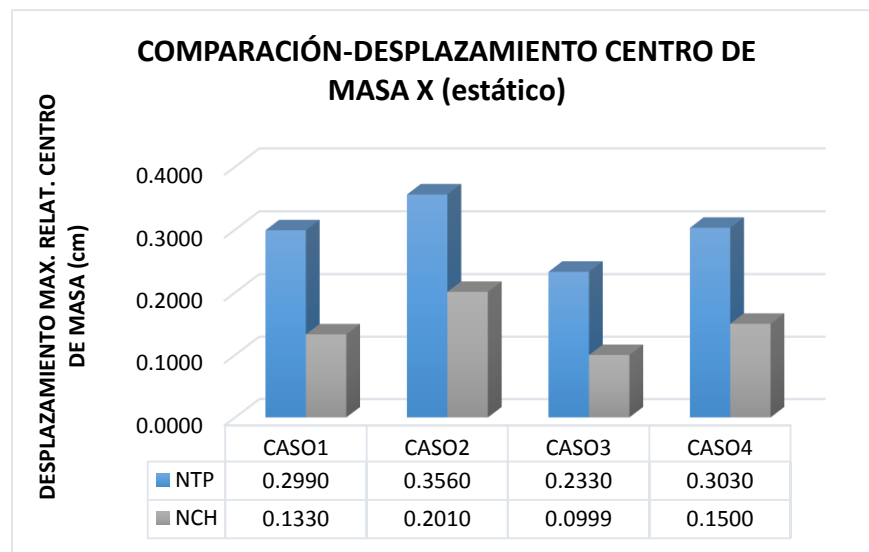


Figura 47: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

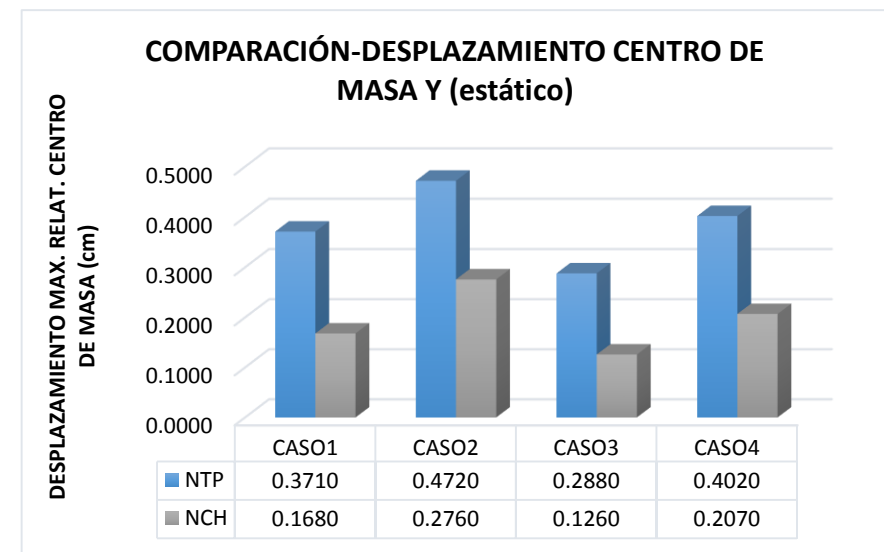


Figura 48: comparación de desplazamiento relativo centro de masa estático (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

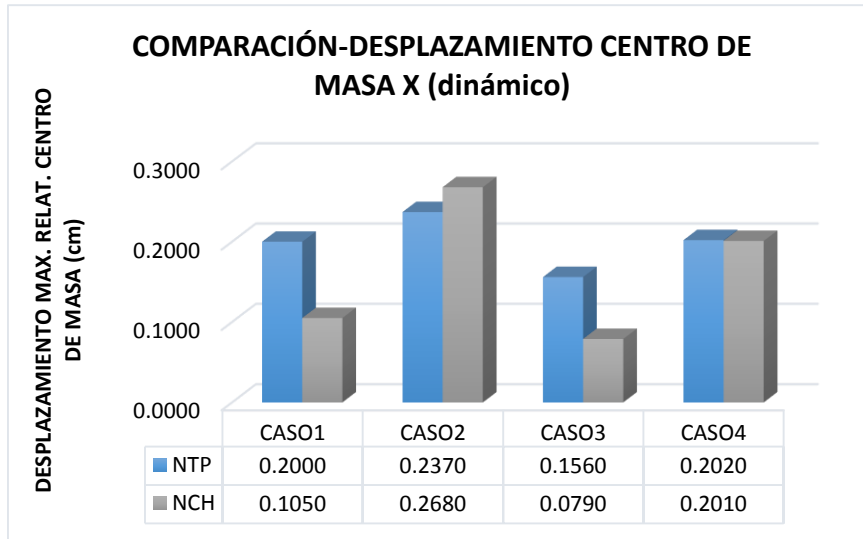


Figura 49: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x)
Fuente: elaboración propia

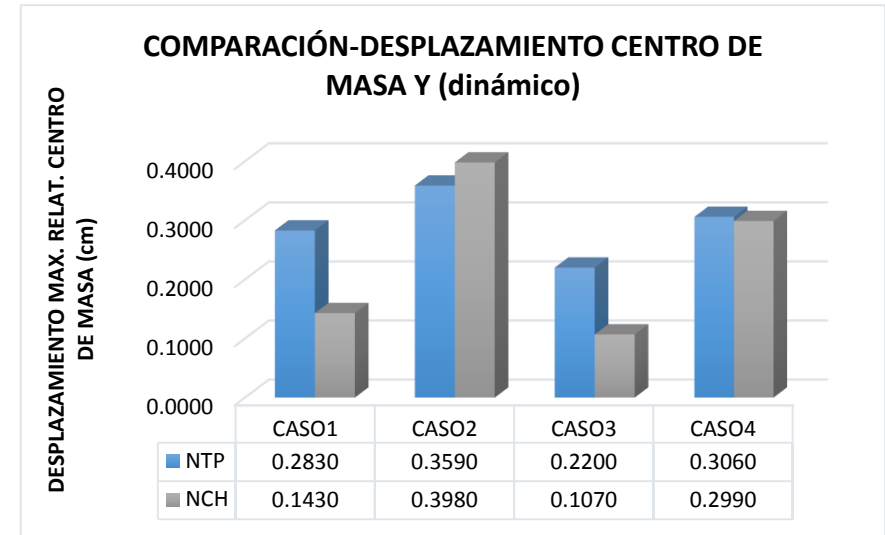


Figura 50: comparación de desplazamiento relativo centro de masa dinámico eje (x-x)
Fuente: elaboración propia

Comparación de desplazamientos relativos de entre piso

Para la comparación de desplazamientos relativos de entre piso, se tomó el máximo valor e en cada sentido de análisis (x e y) para cada uno de los casos analizados con cada una de las normas.

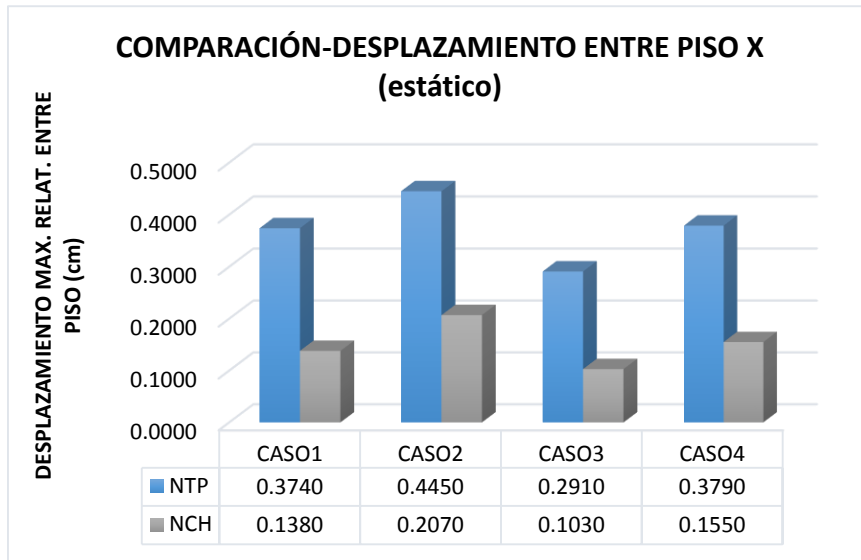


Figura 51: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

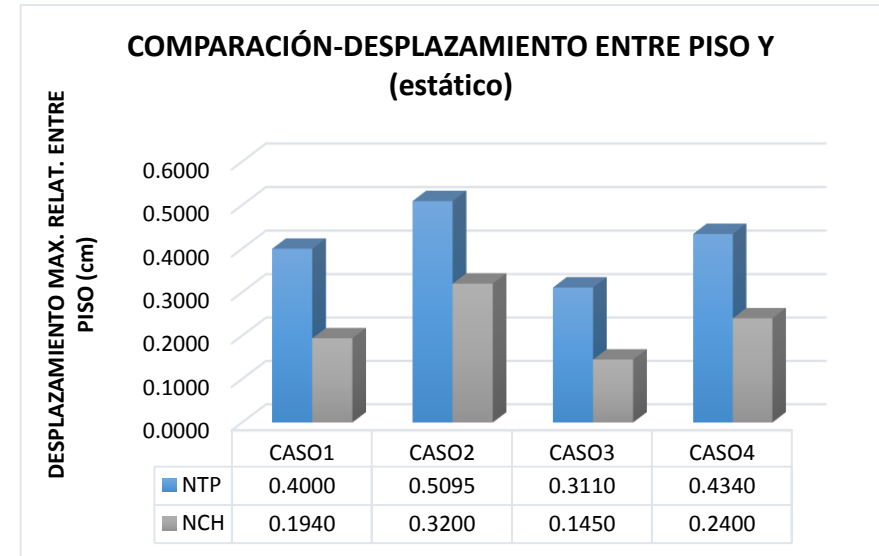


Figura 52: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso estático eje (y-y)
Fuente: elaboración propia

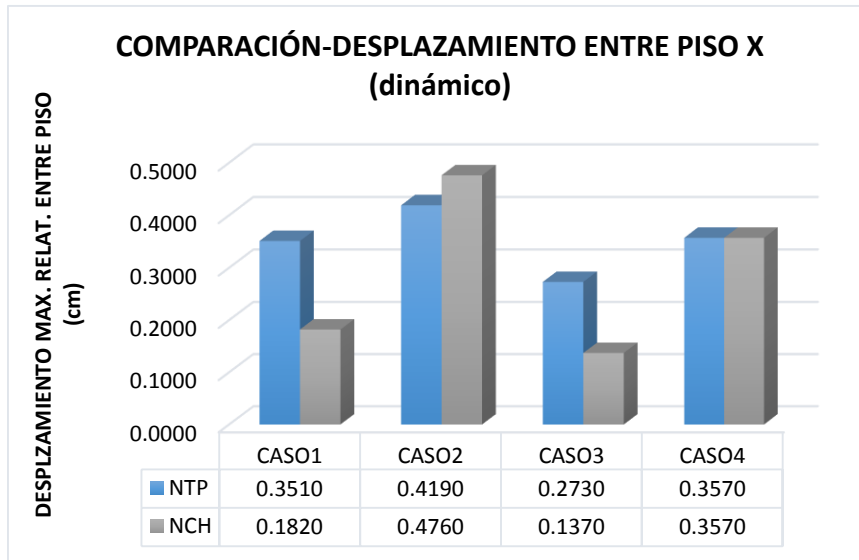


Figura 53: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

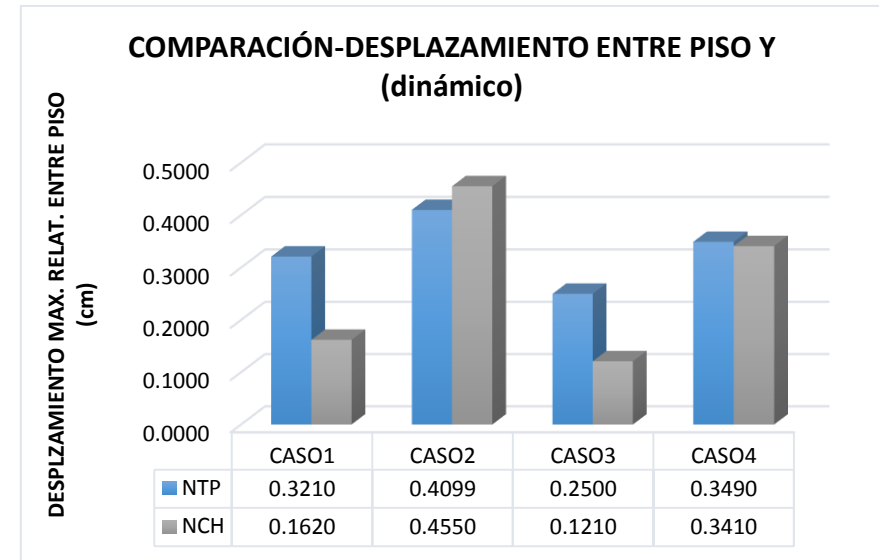


Figura 54: comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso dinámico (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

Comparación de derivas inelásticas de entre piso

Para la comparación de derivas inelásticas de entre piso, se tomó la deriva máxima en cada dirección de análisis y se determinó el porcentaje de cumplimiento con la deriva máxima establecida por su norma correspondiente.

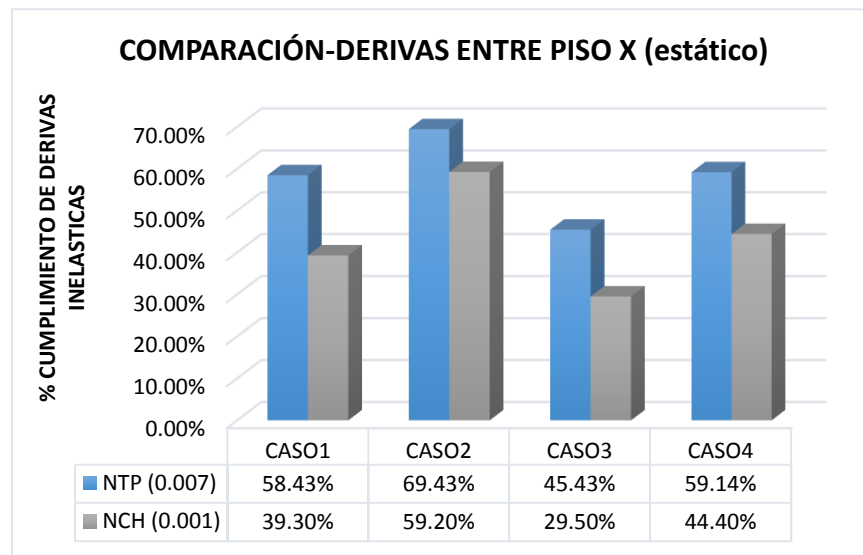


Figura 55: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

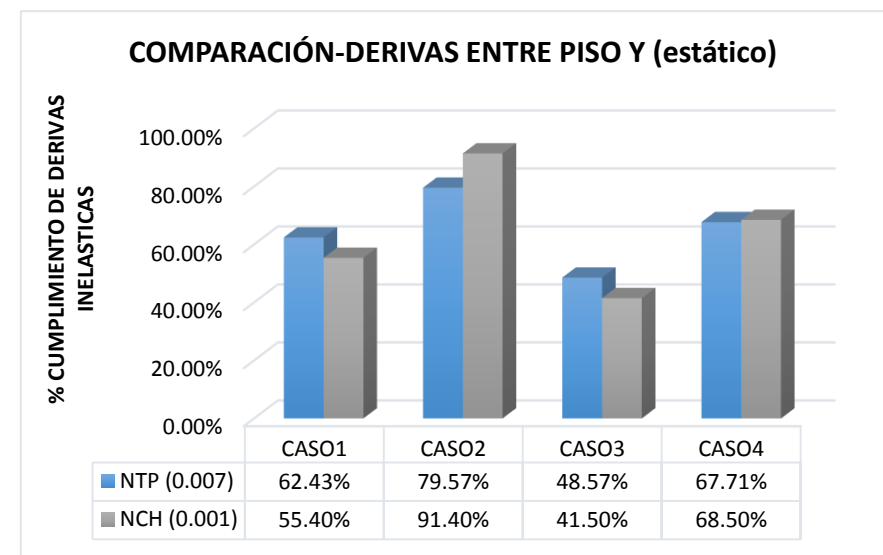


Figura 56: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas estáticas (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

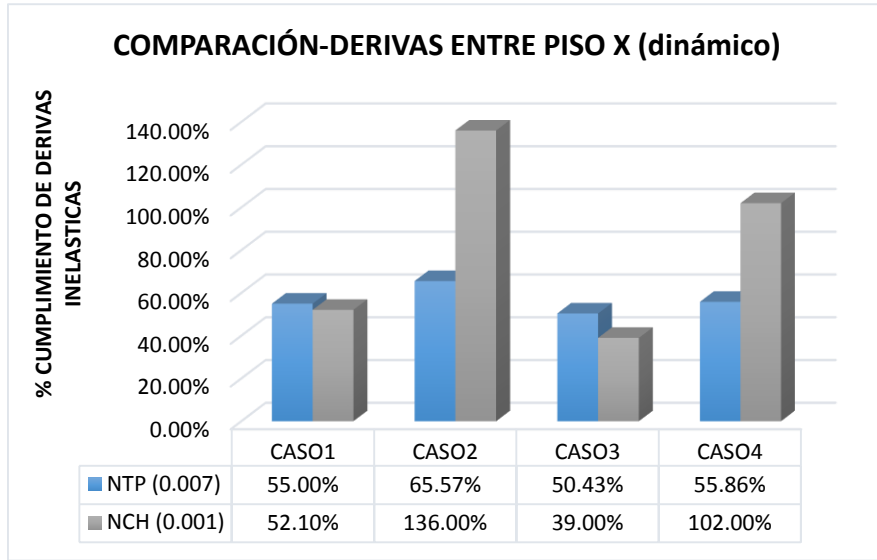


Figura 57: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje x-x)
Fuente: elaboración propia

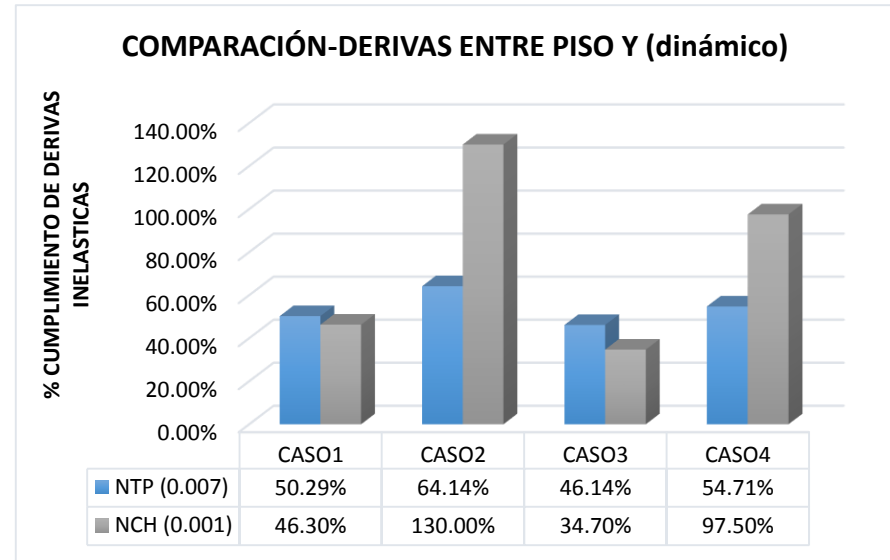


Figura 58: porcentaje de cumplimiento de derivas inelásticas dinámicas (eje y-y)
Fuente: elaboración propia

3.8.4. Comparación de espectros de respuesta elástica

Para la comparación de los espectros de respuesta elástica, se tomó el más crítico entre las dos direcciones de análisis (x e y) para cada uno de los casos analizados con cada una de las normas.

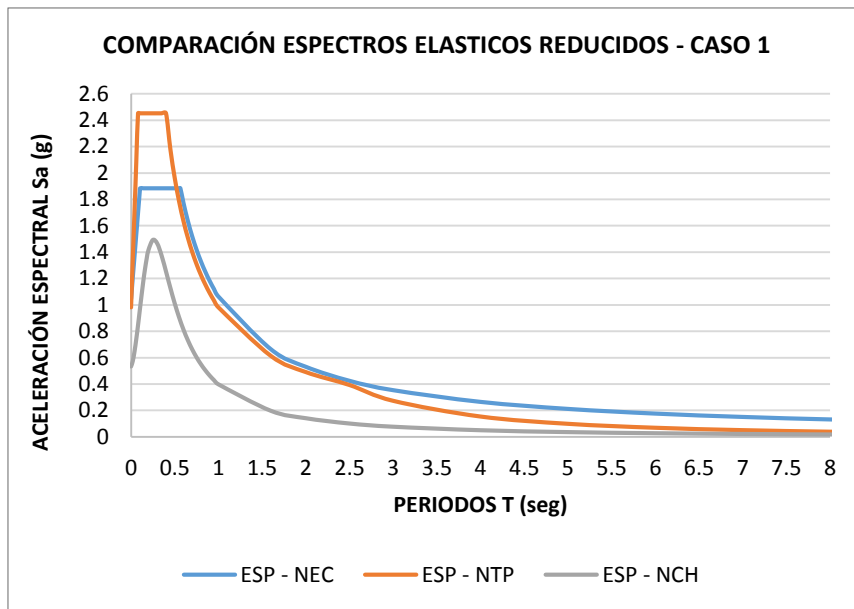


Figura 59: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 1
Fuente: elaboración propia

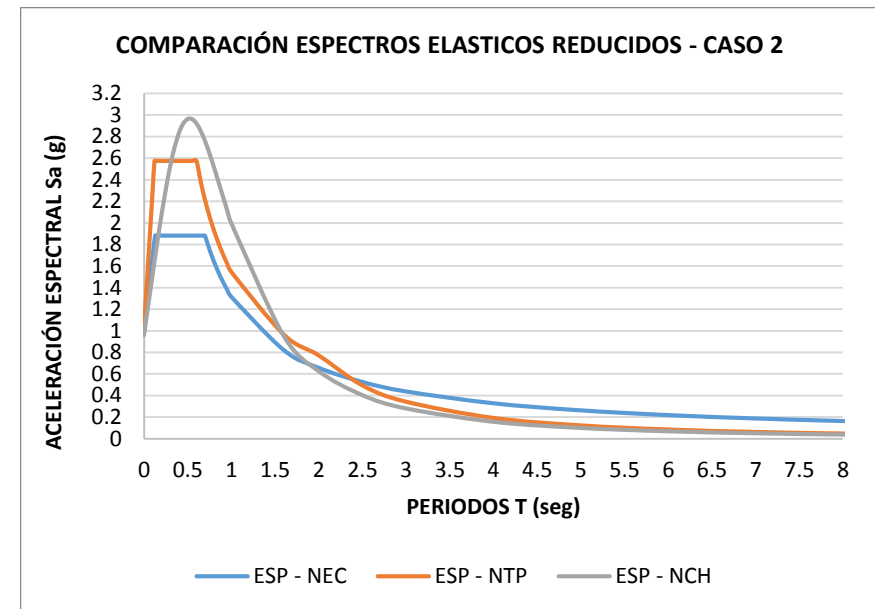


Figura 60: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 2
Fuente: elaboración propia

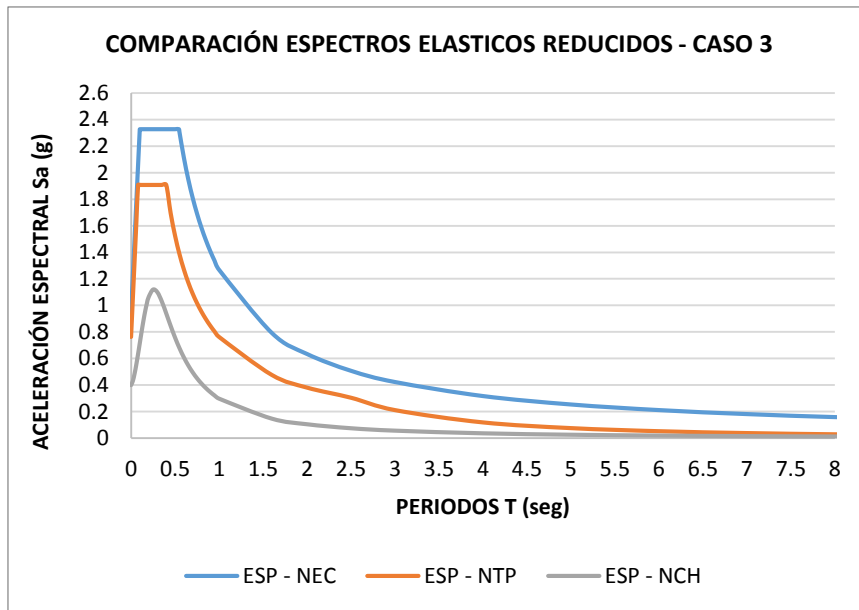


Figura 61: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 3
Fuente: elaboración propia

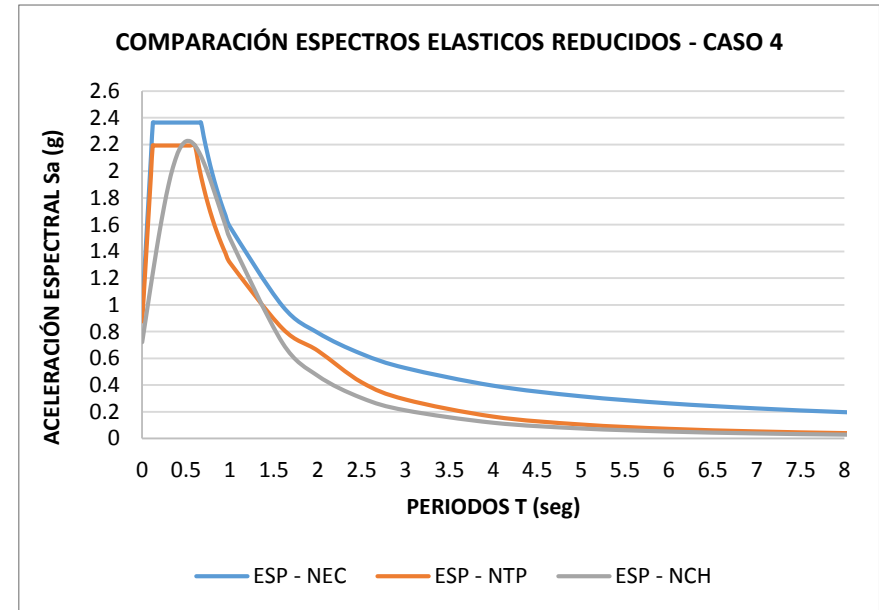


Figura 62: comparación de espectros elásticos reducidos – caso 4
Fuente: elaboración propia

3.8.5. Ajuste de fuerza cortante de diseño

Cuadro 157: Ajuste de fuerzas Norma peruana

Ajuste de fuerzas de diseño NTP E.030-2018						
casos		análisis estático		90%VE	Factor escala	V diseño (ton)
		VE (ton)	análisis dinámico VD (ton)			
caso 1	x	962.6801	605.2946	866.4121	1.4314	866.4121
	y	899.1631	676.9805	809.2468	1.1954	809.2468
caso 2	x	1144.7470	702.9810	1030.2723	1.4656	1030.2723
	y	1144.7470	847.2934	1030.2723	1.2160	1030.2723
caso 3	x	748.7512	470.7269	673.8761	1.4316	673.8761
	y	699.3490	526.6030	629.4141	1.1952	629.4141
caso 4	x	975.1548	598.8073	877.6393	1.4656	877.6393
	y	975.1548	721.7339	877.6393	1.2160	877.6393

Cuadro 158: Ajuste de fuerzas norma Ecuatoriana

Ajuste de fuerzas de diseño NEC-SE-DS-2015						
casos		análisis estático		85%VE	Factor escala	V diseño (ton)
		VE (ton)	análisis dinámico VD (ton)			
caso 1	x	837.3006	465.6697	711.7055	1.5283	711.7055
	y	837.3006	604.4719	711.7055	1.1774	711.7055
caso 2	x	837.3006	464.8866	711.7055	1.5309	711.7055
	y	837.3006	603.8714	711.7055	1.1786	711.7055
caso 3	x	1034.6478	575.1346	879.4506	1.5291	879.4506
	y	1034.6478	746.8093	879.4506	1.1776	879.4506
caso 4	x	1051.4713	583.0957	893.7506	1.5328	893.7506
	y	1051.4713	758.5447	893.7506	1.1782	893.7506

Cuadro 159: Ajuste de fuerzas norma Chilena

Ajuste de fuerzas de diseño NCH433-2012						
casos		análisis estático		análisis dinámico	Factor escala	V diseño (ton)
		VE min (ton)	VE max (ton)			
caso 1	x	290.7294	610.5317	313.8846	1.0000	313.8846
	y	290.7294	610.5317	337.0384	1.0000	337.0384
caso 2	x	348.8753	732.6381	781.5619	0.9374	732.6381
	y	348.8753	732.6381	921.7830	0.7948	732.6381
caso 3	x	218.0470	457.8988	235.3576	1.0000	235.3576
	y	218.0470	457.8988	252.6527	1.0000	252.6527
caso 4	x	261.6565	549.4785	586.2302	0.9373	549.4785
	y	261.6565	549.4785	691.3154	0.7948	549.4785

IV. DISCUSIÓN

- Tal como se muestra en la figura 25 y figura 26, tanto la norma peruana como la ecuatoriana utilizan un coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R), que varía dependiendo del sistema estructural de la edificación y cuyo valor es reducido por los factores de irregularidad tanto en planta como en altura que tiene la edificación, dicho coeficiente es usado tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico, variando desde 0.5 hasta 0.9, por otro lado la norma chilena utiliza un factor de modificación de respuesta. En ese sentido la norma ecuatoriana nos muestra mayor control en los periodos T_c y T_L ya que en dicho parámetro no solo influye el tipo suelo, como en el caso de la norma peruana, sino también la zona en la que se encuentra ubicado el edificio, por otro lado, la norma chilena no nos establece una definición para dichos periodos. La norma peruana nos establece un control para los coeficientes de amplificación y reducción de fuerza sísmica, cuyo cociente debe ser mayor a 0.11. por otro lado, la norma chilena nos establece un valor mínimo para el coeficiente de amplificación de la fuerza sísmica directamente proporcional a la zona y el suelo e inversamente proporcional a 6 veces la gravedad. En tal sentido la norma chilena establece parámetros de control de fuerza sísmica mínimas y máximas, además presenta dos tipos de controles de derivas, un primer control para el centro de masa, debiendo ser este menor a 0.002 y un segundo control para cualquier punto del nivel, debiendo ser este menor a 0.001. La norma peruana nos establece que, para estructuras regulares, la fuerza cortante mínima debe ser mayor que el 80% del cortante estático y para estructuras irregulares debe ser mayor al 90% del cortante estático, además presenta controles para las derivas de entre piso siendo estas en todos sus casos menores a 0.007 pero con la particularidad de que para estructuras regulares el valor se obtiene multiplicando la deriva elástica por $0.75R$ y para estructuras irregulares por $0.85R$. En el mismo sentido la norma ecuatoriana nos establece que para estructuras regulares, la fuerza cortante mínima debe ser mayor al 80% del cortante estático y para estructuras irregulares debe ser mayor al 85% del cortante estático, además establece controles para las derivas similares a los de la norma peruana siendo estas en todos los casos menores a 0.002 pero con la diferencia de que tanto para estructuras regulares e irregulares la deriva inelástica está dada por $0.75R$.

- Según los resultados obtenidos de cortante basal, la norma peruana presenta lo mayores valores de cortante basal en los casos 1 y 2, esto debido a que la cortante basal va aumentando conforme el suelo se va haciendo más blando ya que los parámetros de TP y TL dependen únicamente del tipo de suelo y estos influyen directamente en el valor C (factor de amplificación de fuerza sísmica) que es directamente proporcional a la cortante basal; por otro lado para los casos 3 y caso 4, la norma ecuatoriana presenta los mayores valores (contrario a lo reflejado en el caso 1 y caso 2), esto debido a que en la norma ecuatoriana se establecen criterios para los valores de TP y TL que involucran el tipo suelo y la zona sísmica en la que se encuentra la estructura, por ello es que al cambiar la zona y mantener el tipo de suelo se genera dicha variación influyendo directamente sobre la fuerza cortante en la base y sobre la aceleración espectral.
- Según los resultados obtenidos de desplazamiento de entre piso, en todos los casos de análisis los desplazamientos con la norma ecuatoriana son mayores que los obtenidos con la norma peruana, con excepción del caso 2 (análisis eje Y) donde los desplazamientos resultado del análisis con la norma peruana son mayores que los obtenidos con la norma ecuatoriana, debido a que esta incorpora un parámetro de agrietamiento que afecta a los elementos estructurales (cuadro 24) lo cual genera que la estructura se comporte de manera más flexible ante las fuerzas sísmicas actuantes. De igual manera, como se puede apreciar en la figura 38 y 39 (comparación desplazamiento máx. relativo de entre piso obtenidos mediante el análisis dinámico en los ejes X e Y) que en todos los casos de análisis los desplazamientos con la norma ecuatoriana son mayores que los obtenidos con la norma peruana, a excepción del caso 2 en el sentido de análisis X e Y.
- Según los resultados obtenidos de derivas, se observan los cumplimientos de cada norma en estudio de acuerdo a los límites que establecen cada una de ellas, de lo podemos inferir que la norma peruana presenta mayores porcentajes de cumplimiento, por lo tanto, es más rigurosa en cuanto es este parámetro, esto debido a que la NTP considera un límite máximo de deriva de 0.007 mientras que la NEC-SE-DS-2015 considera un límite máximo de 0.002, teniendo como factor influyente a la reducción sísmica que a su vez es reducido, para el caso de la NTPE.030-2018, en 0.75R y 0.85R para estructuras

regulares e irregulares respectivamente y para el caso de la NEC-SE-DS-2015, en 0.75R para ambos tipos de estructuras; mientras que la NCH433-2012 considera dos controles, siendo el primero para el centro de masa, debiendo este ser menor a 0.002 y un segundo control para un punto cualquiera dentro del mismo nivel, debiendo este ser menor a 0.001. Cabe mencionar que la norma chilena presenta valores distintos del parámetro de reducción de fuerza sísmica, dependiendo del tipo de análisis sísmico.

- Se evaluó el parámetro de respuesta espectral, verificándose que para la norma peruana en la comparación Perú-Ecuador, para el caso 1 (figura 60) y el caso 2 (figura 61) se obtuvo un espectro de respuesta más exigente que la obtenida con la norma ecuatoriana, lo cual indica que la normativa peruana presenta parámetros más rigurosos en tanto la edificación está sometida a mayor fuerza sísmica. Por otro lado, para el caso 3 (figura 62) y el caso 4 (figura 63) se obtuvo un espectro de respuesta más exigente con la norma ecuatoriana, lo cual indica que bajo estas condiciones la edificación está sometida a mayor fuerza sísmica y la norma peruana es menos rigurosa con respecto a la norma ecuatoriana. Así mismo en la comparación Perú-Chile, para el caso 1 (figura 60) y el caso 3 (figura 62) se obtuvo un espectro de respuesta más exigente con la norma peruana que con la norma chilena, lo cual indica que la normativa peruana presenta parámetros más rigurosos en tanto la edificación está sometida a mayor fuerza sísmica y la norma peruana es menos rigurosa con respecto a la norma chilena. Por otro lado, para el caso 2 (figura 61) y el caso 4 (figura 63) se obtuvo un espectro de respuesta más exigente con la norma chilena que con la norma peruana, lo cual indica que, bajo los parámetros de la norma de Chile, la edificación está sometida a mayores fuerzas sísmicas.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó la cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante el análisis lineal elástico de una edificación de concreto armado, obteniéndose según la NTPE.030-2018 como resultado de cortante: 1144 7.747 Tn (análisis estático eje Y) y 847.293 Tn (análisis dinámico eje Y); máximo desplazamiento 0.509cm (análisis estático en la dirección Y) y 0.419cm (análisis dinámico eje X) y derivas de entre piso máximas de 0.00557 (análisis estático en la dirección Y) y 0.00459 (análisis dinámico eje X).
- Se determinó la cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante el análisis lineal elástico de una edificación de concreto armado, obteniéndose según la NEC-SE-DS-2015 como resultado de cortante: 1051.471 Tn (análisis estático en dirección X e Y) y 758.545 Tn (análisis dinámico en dirección Y); máximos desplazamiento 0.576cm (análisis estático en la dirección Y) y 0.501cm (análisis dinámico en dirección X) y derivas máximas de entre piso de 0.00618 (análisis estático en dirección Y) y 0.00539 (análisis dinámico en dirección X).
- Se determinó la cortante basal, máximos desplazamientos y derivas de entre piso, mediante el análisis lineal elástico de una edificación de concreto armado, obteniéndose según la NCH433-2012 como resultado de cortante: 732.638 Tn (análisis estático en dirección X e Y) y 921.785 Tn (análisis dinámico en dirección Y); máximo desplazamiento 0.320cm (análisis estático en dirección Y) y 0.476cm (análisis dinámico en dirección X) y derivas máximas de entre piso de 0.000914 (análisis estático en dirección Y) y 0.00136 (análisis dinámico en dirección X).
- Se evaluó el parámetro de reducción sísmica (R), verificándose que tanto la NTPE.030-2018 como la NEC-SE-DS-2015, el factor de reducción sísmico (R) se basa en el tipo material y sistema estructural empleado e incorporan factores de irregularidad estructural tanto en planta como en altura que reducen al factor de reducción de fuerza sísmica; mientras que en la NCH433-2012 considera un factor R independiente para cada tipo de análisis sísmico ya sea estático o dinámico sin considerar irregularidad estructural en planta o altura, Lo cual nos indica que el coeficiente de reducción de la NTP E.030-2018

es menor en comparación con las otras normas, por lo tanto, nos dará mayor valor de fuerza cortante, lo cual significa mayor seguridad en nuestras estructuras, debido a que el parámetro es más riguroso.

- Se evaluó el factor de amplificación sísmica (C), verificándose que, para la norma peruana y la norma chilena, este factor depende únicamente del tipo de suelo, sin embargo, para la norma ecuatoriana el factor de amplificación sísmica depende del tipo suelo y la zona donde se encuentre la estructura.
- Se evaluó el parámetro de respuesta sísmica espectral, verificándose que en la comparación Perú-Ecuador, la norma peruana presenta en la zona más crítica ($Z=4$), un espectro de respuesta más exigente que la norma ecuatoriana y por ende parámetros más rigurosos, sin embargo en la zona menos crítica ($Z=3$), la normativa ecuatoriana es ligeramente más exigente que la norma peruana; por otro lado en la comparación Perú-Chile, la norma peruana presenta mayor exigencia en el caso de análisis 1 y 3, sin embargo en los casos 2 y 4, la norma chilena presenta valores mayores.
- Se realizó el análisis comparativo entre normas, el cual permitió dar a conocer que la norma peruana resulto ser la más exigente en valores de diseño, mas no en la escogencia de métodos de análisis, es decir en términos de realizar los cálculos. En lo que concierne al coeficiente de reducción sísmica (R), la norma chilena y ecuatoriana reducen más la respuesta con respecto a la norma peruana, es decir que tanto la norma ecuatoriana como la norma chilena consideran a la estructura con mayor capacidad de disipar energía inelásticamente. En lo que se refiere al cortante basal, la norma peruana es la que presenta mayores valores con respecto de las otras dos normas, lo cual quiere decir que la estructura es más resistente porque se diseña para fuerzas mayores.

VI. RECOMENDACIONES

- Para futuras actualizaciones en la norma sismo resistente peruana, se recomienda realizar investigaciones más exhaustivas con respecto a la implicancia del factor de agrietamiento considerado por la norma ecuatoriana, a fin de determinar el comportamiento de la estructura al ser influenciada por dicho parámetro y a la vez determinar si este parámetro permite un mejor comportamiento y asegura un diseño más real de la estructura al ser considerado dentro de la normativa peruana.
- Para futuras actualizaciones en la norma sismo resistente peruana, se recomienda limitar las derivas máximas presentadas en las estructuras no solamente por la tipología estructural, sino también por la categoría de riesgo a la que pertenecen. De esta manera se da una mayor prioridad a aquellas estructuras que deberían permanecer operativas después de un sismo.
- Se recomienda siempre la verificación por Irregularidad antes y después del análisis sísmico, no solo basta con el primer análisis antes del modelamiento de la estructura, ya que los valores más bajos que modifican el factor R de Irregularidad en el espectro de diseño, son obtenidos luego del modelamiento de la estructura, por otro lado, se debería considerar un espectro de respuesta en ambas direcciones, tal como lo hace la Norma Chilena, para tener resultados más precisos, ya que de esta manera se estaría considerando la influencia del periodo de vibración de en dirección de análisis.
- Se recomienda realizar siempre el análisis sísmico dinámico, ya que está comprobado que se obtiene resultados más exactos que el del análisis estático, ya las tres normas (NEC, NTP, NCH) coinciden en la disposición de las alturas para realizar cada análisis sísmico, esto porque la altura trabaja directamente con el periodo y a menos altura sería menor la exigencia de hacer un análisis dinámico.
- Todas las estructuras antes de su construcción, deben pasar por un análisis previo en cualquiera de los distintos programas de análisis estructural que existen hoy

en día, ya que por más idénticas que sean o parezcan las estructuras, no podemos diseñarlas y construirlas iguales en diferentes sitios, ya que depende del sitio en la que se ubique la estructura, esta presentara distintas sollicitaciones sísmicas.

VII. REFERENCIAS

AGUIAR, Roberto. Análisis Sísmico de Edificios [En línea]. 1°. ed. Quito Abril 2008. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2018].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/279188057>

ISBN-978-9978-30-104-3

AMÉRICA Latina, una región vulnerable a los terremotos [en línea]. El Nuevo Herald. 27 de febrero de 2010. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2018].

Disponible en: <http://www.elnuevoherald.com/noticias/mundo/america-latina/article2003414.html>

ANÁLISIS comparativo de pórticos diseñados con varios códigos sismoresistentes por Marlon Valarezo [et al]. [En línea]. 2014. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2018]. Disponible en: <https://mvalarezo.files.wordpress.com/2014/01/valarezo-suarez-zapata-morocho.pdf>

AVENDAÑO, Jorge. Análisis Sismoresistente de un edificio de cinco niveles ubicado en la comuna de Tomé. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción, Facultad de Ingeniería Civil, 2016. 105 pp.

ALFARO, Víctor. “Estudio Comparativo de la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente y la Norma Chilena NCH433 Diseño Sísmico de Edificios, y su Aplicación a un Edificio de Concreto Armado”. Tesis (Título profesional de ingeniería Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2017. 128 pp.

BLANCO, Antonio. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. Lima: Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo Departamental de Lima, 1995. 301 pp.

CANCHIG, Marco. Análisis comparativo del diseño estructural de un proyecto de vivienda en hormigón armado aplicando las Normas del Código Ecuatoriano de Construcción (CEC 2002) y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015). Tesis (Título profesional de

ingeniería Civil). Quito: Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil, 2016. 148 pp.

COBEÑA, Miguel. Análisis comparativo dinámico modal espectral en una estructura de uso mixto con hormigón armado en tres diferentes zonas sísmicas del Ecuador. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Física, Carrera de Ingeniería Civil, 2016. 129 pp

EL PERUANO (Perú). Norma E.030 Diseño Sismorresistente. NTP E.030. Lima: RNE, 2017. 79 pp.

ETABS Integrated Analysis, Design and Drafting of Bulding Systems. Computers and Structures. INC (CSI). 23 de mayo de 2017. Disponible en: <https://www.csiamerica.com/products/etabs>

ESTADÍSTICA Poblacional: el Perú en el 2018. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 15 de abril de 2018. Disponible en: <https://www.ipsos.com/es-pe/estadistica-poblacional-el-peru-en-el-2018>

GARCIA, Mario y MOSCOSO, Darwin. Análisis comparativo de la respuesta sísmica de distorsiones de entrepiso – deriva y fuerzas cortantes de una edificación de concreto armado con sistema dual, mediante los análisis sísmicos dinámico, aplicado con la norma de diseño sismo resistente E.030 del 2018 y la norma chilena de diseño sísmico de edificios Nch 433.of1996 modificada en 2012. Tesis (Título profesional de ingeniería Civil). Cusco: Universidad Andina del Cusco, escuela profesional de ingeniería civil, 2018. 197pp.

GONZALES, César y VELI, Alfredo. Evaluación del comportamiento sísmico de una edificación con sistema MDL aplicando la NTP E030-2016 y la Norma Chilena 433-2012. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2016. 99 pp.

GRASES, José. La Amenaza Sísmica. Estrategias Preventivas [En línea]. Noviembre 2014. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2018].

Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/896>

ISBN 978-980-7644-86-0

GUÍA práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 [En línea]. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Septiembre 2016, n. °1. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2018].

Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>

ISBN.9942-951-49

GUSMÁN, Fernanda. Diseño sismo resistente de edificios de hormigón armado (cálculo de periodos de vibración y niveles de agrietamiento). Tesis (para optar el título de profesional de ingeniero civil). Quito: Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ingeniería escuela de civil, 2015. 128 pp.

HANSEN, Carl. Método Estático y Dinámico para el análisis sísmico. Scribd: Perú, 24 de junio, 2012. P. 9.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPISTA, María. Metodología de la investigación. 6.a ed. Mexico: Interamericana Editores. S.A, 2014. 634 pp.

ISBN: 9781456223960

IBRAHIM, Ahmed y MALEK, Amir. Fundamentals of seismic Analysis and desing of Buildings. 5.º ed. Engineering Education & Training, 2017. 415pp.

ISBN: 978098567204

INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). NCh 433.Of 96 Modificada en 2012: Diseño Sísmico de Edificios. Santiago: INN, 2012. 77 pp.

JARAMILLO, Gabriela y ROCHA, Maritza. Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 y la Norma American Society of Civil Engineers 07 – 10 para diseño

sismo - resistente: corte basal. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2013. 207 pp.

JARRÍN, Adrián y ROMO, Cristian. Comparación de los capítulos para diseño sismo resistente de la norma American Society of Civil Engineers 7 2010 (ASCE 7-10) con la norma ecuatoriana de la construcción del 2011 (NEC-11), por medio de su aplicación en el diseño estructural del proyecto de un mercado en la parroquia de Guayllabamba. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2015. 174 pp.

LEON, Maycol y GUTIERREZ, Sergio. Comparación estructural y económica de edificio de 7 pisos ante cambio de la norma E.030 diseño sismo resistente. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de ciencias e ingeniería, 2018. 91pp.

MINISTERIO de Desarrollo Urbano y Vivienda (Ecuador). NEC – SE – DS: Peligro sísmico diseño sismo resistente. Quito: NEC, 2014. 128 pp.

PANGAEA Supercontinent. Encyclopædia Britannica Inc. 2 de diciembre de 2015. Disponible en: <https://www.britannica.com/place/Pangea>

PLACAS tectónicas: cómo un descubrimiento de hace medio siglo se transformó en la clave para saber cómo funciona la Tierra. British Broadcasting Corporation (BBC). 5 de octubre de 2017. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-41494614>

RE-EVALUACIÓN del peligro sísmico probabilístico para el Perú por Hernando Tavera [et al] [En línea]. 2014. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2018].

Disponible en: http://intranet.igp.gob.pe/productopeligrosismico/files/re_evaluacion_peligro_sismico_per_u_igp.pdf

RIVERA, Gianni. Determinación de parámetros espectrales de registros sísmicos chilenos en función de propiedades características del suelo. Tesis (Magister en Ciencias de la

Ingeniería). Santiago de Chile: Pontificia universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 2015. 100pp.

SANCHINELLI, Hugo. Actividad volcánica mantiene en alerta a países que forman parte del Cinturón de Fuego del Pacífico [en línea]. Prensa Libre. 4 de junio de 2018. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2018].

Disponible en: <http://www.prensalibre.com/internacional/actividad-volcanica-mantiene-en-alerta-a-paises-que-forman-parte-del-cinturon-de-fuego-del-pacifico>

SARKISIAN, Mark and OWINGS, Skidmore. Designing tall Buildings structure as architecture. 711 Third Avenue, New York, NY 10017: Routledge, 2012. 222 pp.

ISBN13: 978-0-415-89479-1 (hbk)

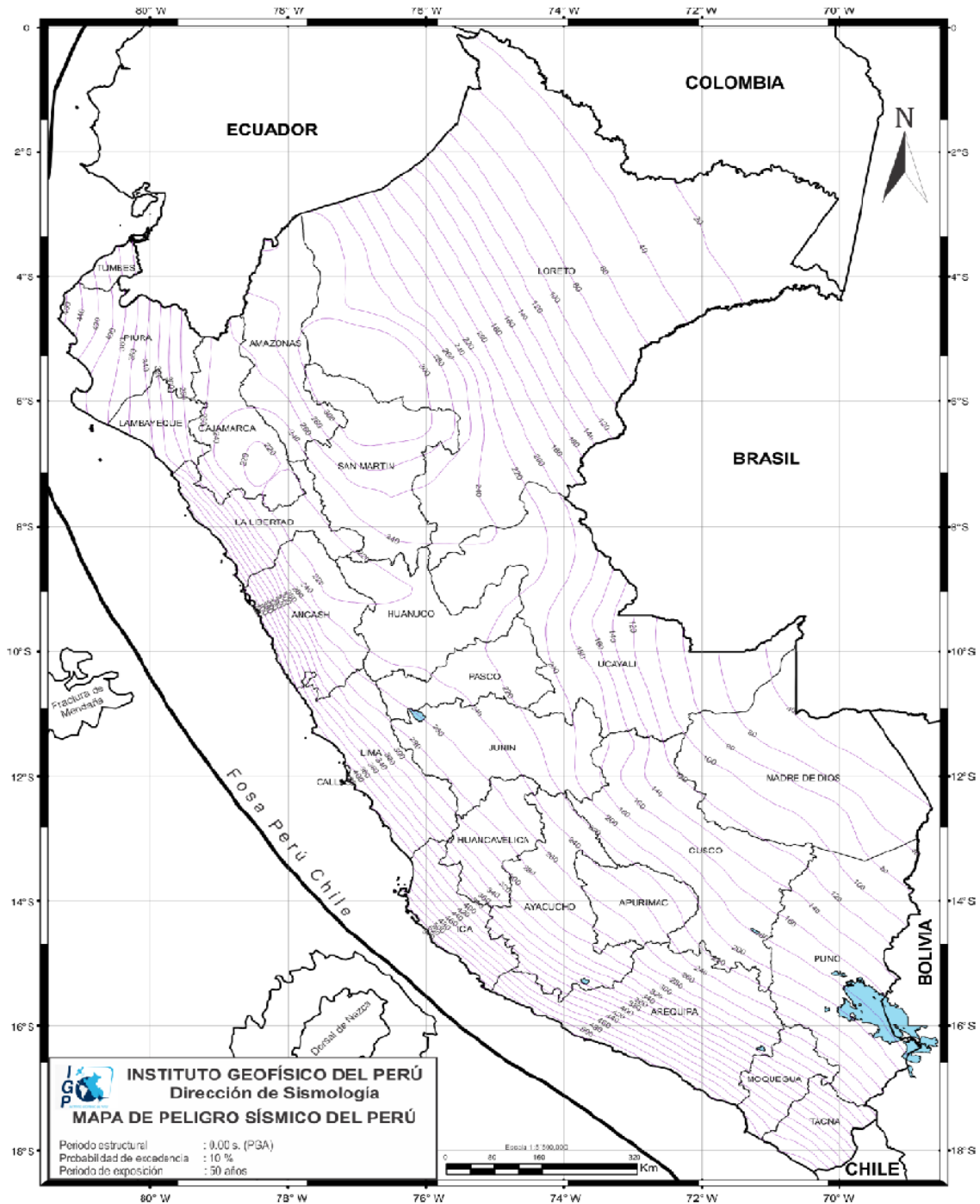
SILGADO, Enrique. Historia de los sismos en Perú [en línea]. La Republica. 15 de agosto de 2007. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2018].

Disponible en: <https://larepublica.pe/archivo/246637-historia-de-los-sismos-en-el-peru>

TERREMOTO en Ecuador, el más devastador de los ocurridos en 37 años [en línea]. NOTIMEX | NTRZACATECAS.COM. 18 de abril de 2016. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2018].

Disponible en: <http://ntrzacatecas.com/2016/04/18/terremoto-en-ecuador-el-mas-devastador-de-los-ocurridos-en-37-anos/>

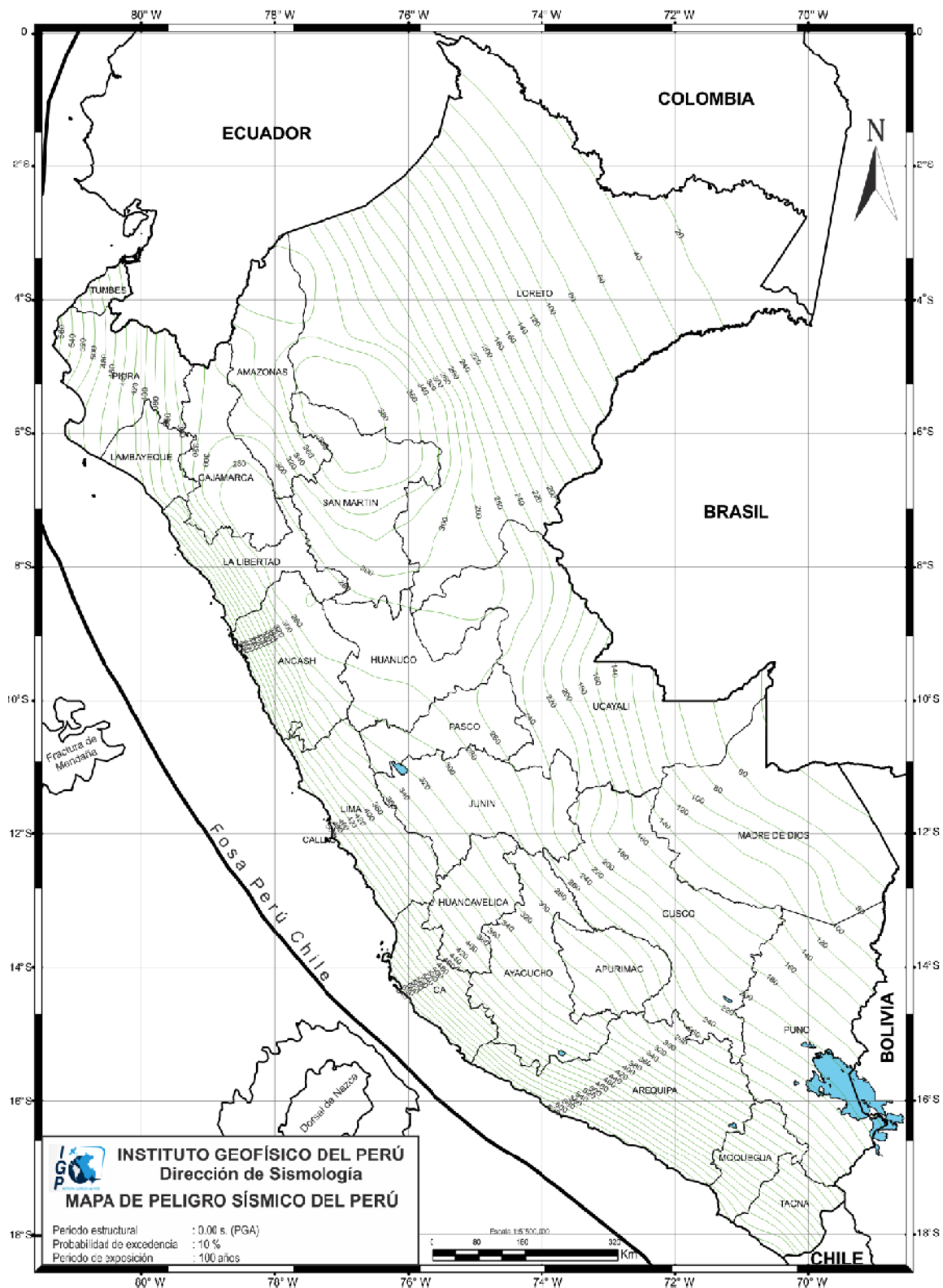
ANEXO 1



Mapa de peligro sísmico para el Perú considerando un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia. Los valores de aceleración están expresados en unidades de gals.

Fuente: IGP, 2014.

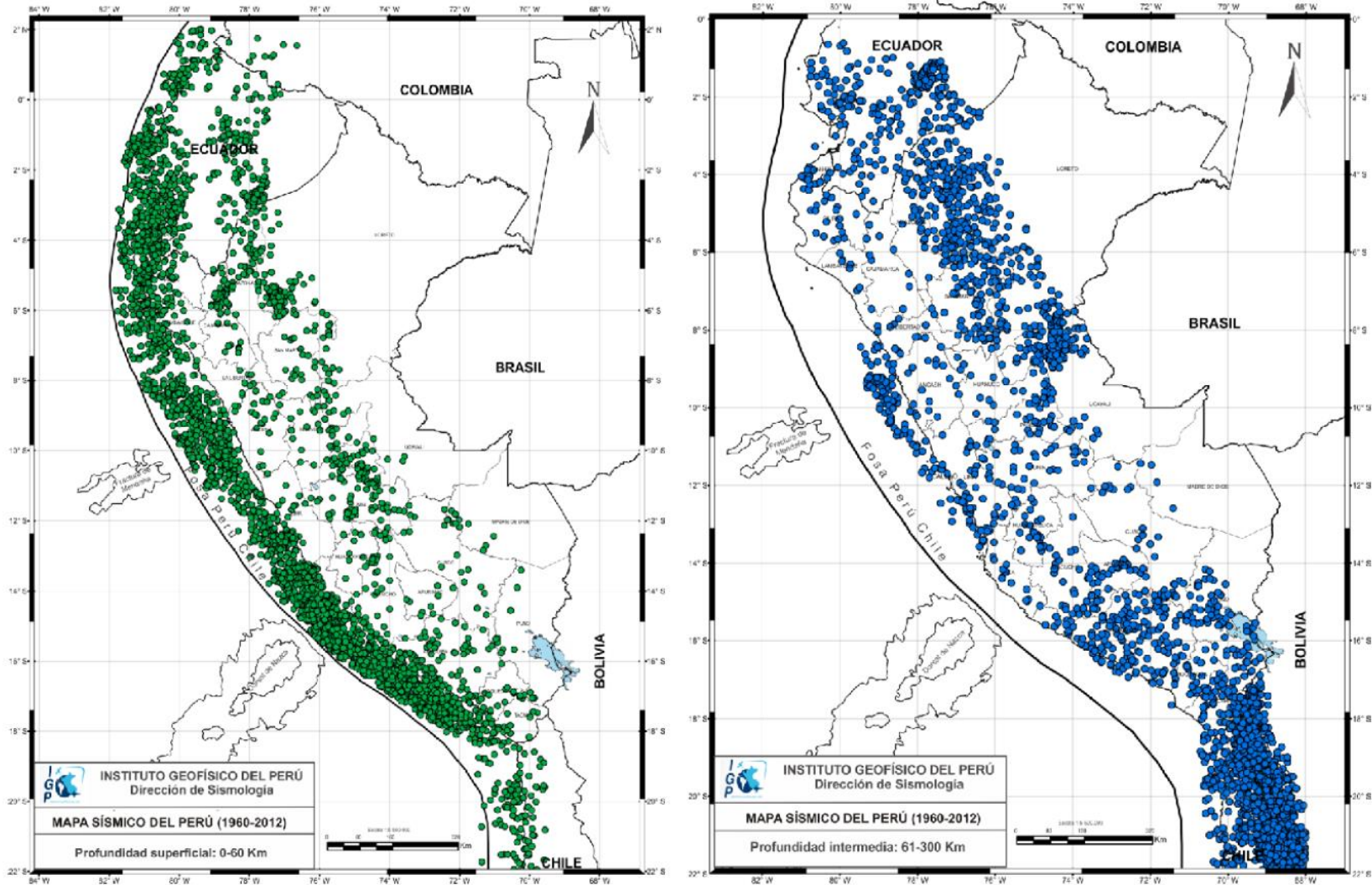
ANEXO 2



Continuación. Mapa de peligro sísmico para el Perú considerando un periodo de retorno de 100 años con el 10% de excedencia. Los valores de aceleración están expresados en unidades de gals.

Fuente: IGP, 2014.

ANEXO 3



Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012.
Fuente: IGP, 2014.

ANEXO 4

Fecha (dd-mm-aa)	Latitud	Longitud	Intensidad (MM)	Magnitud
22-01-1582	-16.3	-73.3	X	7.9
09-07-1586	-12.2	-77.7	IX	8.1
24-11-1604	-18.0	-71.5	IX	8.4
14-02-1619	-8.0	-79.2	IX	7.8
31-05-1650	-13.8	-72.0	X	7.2
13-11-1655	-12.0	-77.4	IX	7.4
12-05-1664	-14.0	-76.0	X	7.8
20-10-1687	-13.0	-77.5	IX	8.2
28-10-1746	-11.6	-77.5	X	8.4
13-05-1784	-16.5	-72.0	X	8.0
07-12-1806	-12.0	-78.0	VIII	7.5
10-07-1821	-16.0	-73.0	VIII	7.9
13-08-1868	-18.5	-71.2	X	8.6
09-05-1877	-19.5	-71.0	VIII	7.5
28-07-1913	-17.0	-73.0	IX	7.0
06-08-1913	-17.0	-74.0	X	7.7
24-05-1940	-10.5	-77.6	VIII	8.2
24-08-1942	-15.0	-76.0	IX	8.4
10-11-1946	-8.3	-77.8	X	7.2
01-11-1947	-11.0	-75.0	IX	7.5
21-05-1950	-14.4	-72.1	VII	6.0
12-12-1953	-3.6	-80.5	VIII	7.7

Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959

Fuente: IGP, 2014.

ANEXO 5

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

Categoría de las edificaciones y factor “U”

Fuente: NTP E.030-2018

ANEXO 6

<p align="center">Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA</p>	<p align="center">Factor de Irregularidad I_a</p>
<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	<p align="center">0,75</p>
<p>Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	<p align="center">0,50</p>
<p>Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	<p align="center">0,90</p>
<p>Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	<p align="center">0,90</p>
<p>Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.</p>	<p align="center">0,80</p>
<p>Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25 % de la fuerza cortante total.</p>	<p align="center">0,60</p>

Irregularidades estructurales en altura I_a

Fuente: NTP E.030-2018

ANEXO 7

Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,75
<p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,60
<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0,90
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0,85
<p>Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.</p>	0,90

Irregularidades estructurales en planta I_p

Fuente: NTP E.030-2018

ANEXO 8

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Clasificación de los perfiles de suelo
Fuente: NEC, 2015

ANEXO 9

Alternativamente, para estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha = 1$):

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} ; C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{n_w} \left[\frac{h_n}{h_{wi}} \right]^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{h_{wi}}{l_{wi}} \right)^2}$$

Dónde:

A_B Área de la edificación en su base, en metros cuadrados.

n_w Número de muros de la edificación diseñados para resistir las fuerzas sísmica en la dirección de estudio.

h_{wi} Altura del muro *i* medida desde la base, en metros.

A_{wi} Área mínima de cortante de la sección de un muro estructural *i*, medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio, en metros cuadrados.

l_{wi} Longitud medida horizontalmente, en metros, de un muro estructural *i* en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio.

Calculo alternativo para el coeficiente que depende del tipo de edificio C_t.

Fuente: NEC, 2015

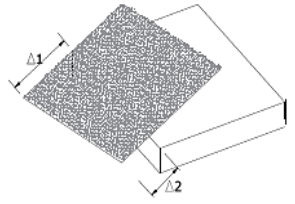
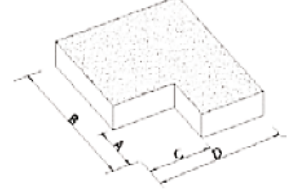
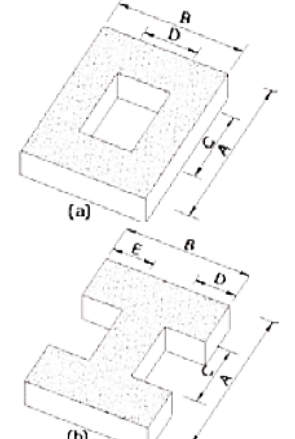
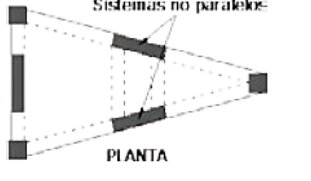
ANEXO 10

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Fuente: NEC, 2015

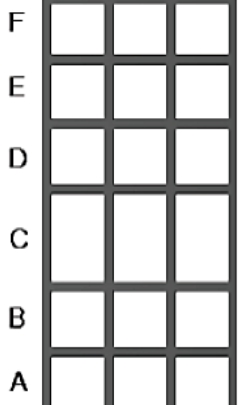
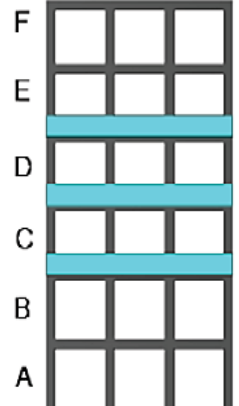
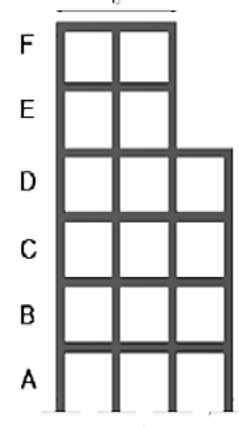
ANEXO 11

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{pi}=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{pi}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{pi}=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[CxD + CxE] > 0.5AxB$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{pi}=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Coefficiente de irregularidad en planta.

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 12

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{EI}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{EI}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{EI}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Coefficiente de irregularidad en elevación.

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 13

6.2.3.1 El coeficiente sísmico C , se obtiene de la expresión:

$$C = \frac{2,75 SA_o}{gR} \left(\frac{T^*}{T^*} \right)^n \quad (6-2)$$

en que:

n, T^*, S = son parámetros relativos al tipo de suelo de fundación que se determinan de Tabla 6.3 según la clasificación de Tabla 4.2;

A_o = tiene el significado indicado en 6.2.3.2;

R = factor de reducción que se establece en 5.7;

T^* = período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

6.2.3.1.1 En ningún caso el valor de C será menor que $A_o S / 6g$.

6.2.3.1.2 El valor de C no necesita ser mayor que el indicado en Tabla 6.4.

6.2.3.1.3 En el caso de edificios estructurados para resistir las sollicitaciones sísmicas mediante muros de hormigón armado, o una combinación formada por muros y pórticos de hormigón armado y paños de albañilería confinada, el valor máximo del coeficiente sísmico obtenido de Tabla 6.4 se puede reducir multiplicándolo por el factor f determinado por la expresión:

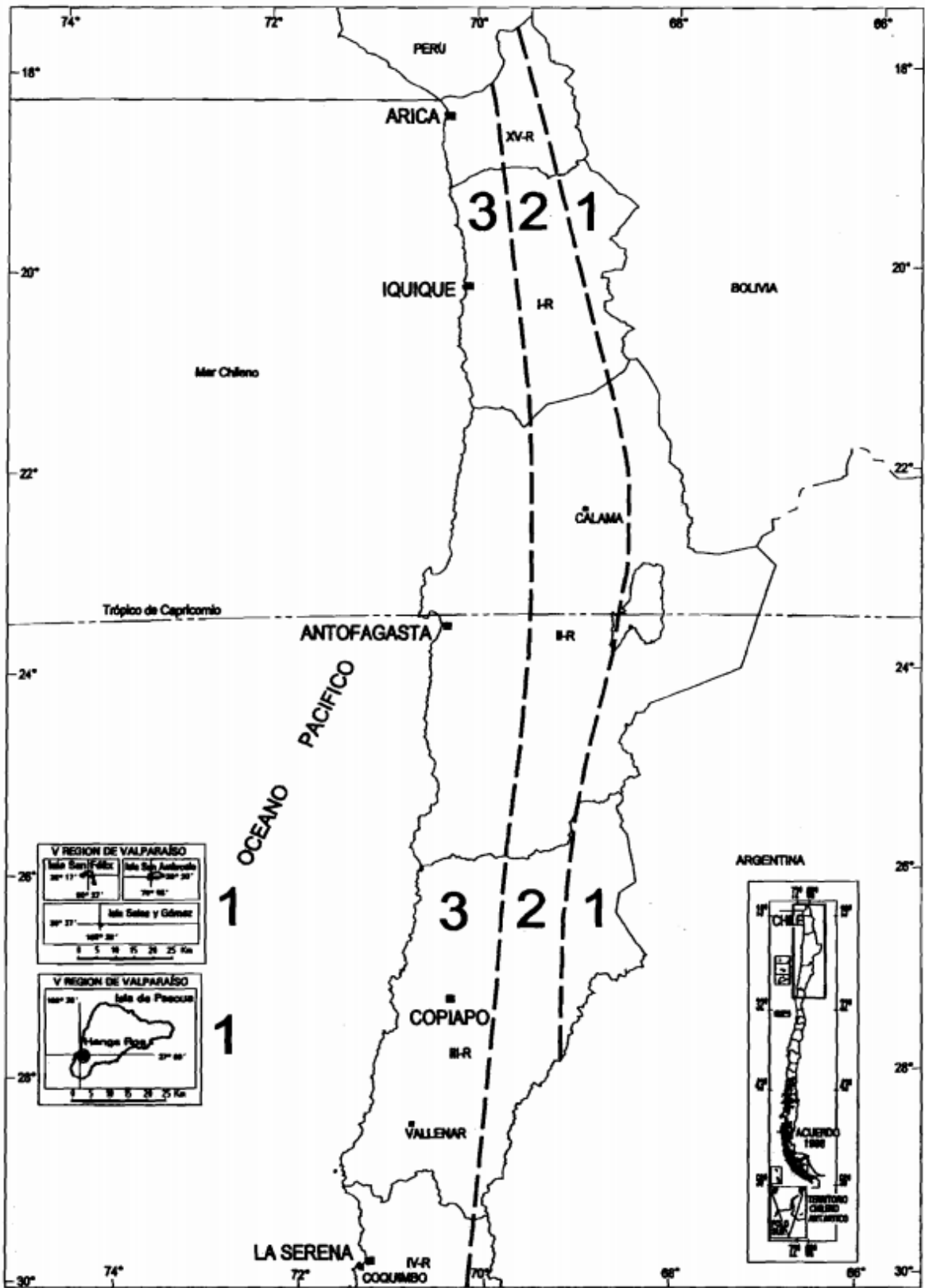
$$f = 1,25 - 0,5 q \quad (0,5 \leq q \leq 1,0) \quad (6-3)$$

donde q es el menor de los valores obtenidos por el cálculo del cociente del esfuerzo de corte tomado por los muros de hormigón armado dividido por el esfuerzo de corte total en cada uno de los niveles de la mitad inferior del edificio, en una y otra de las direcciones de análisis.

Calculo de coeficiente sísmico C .

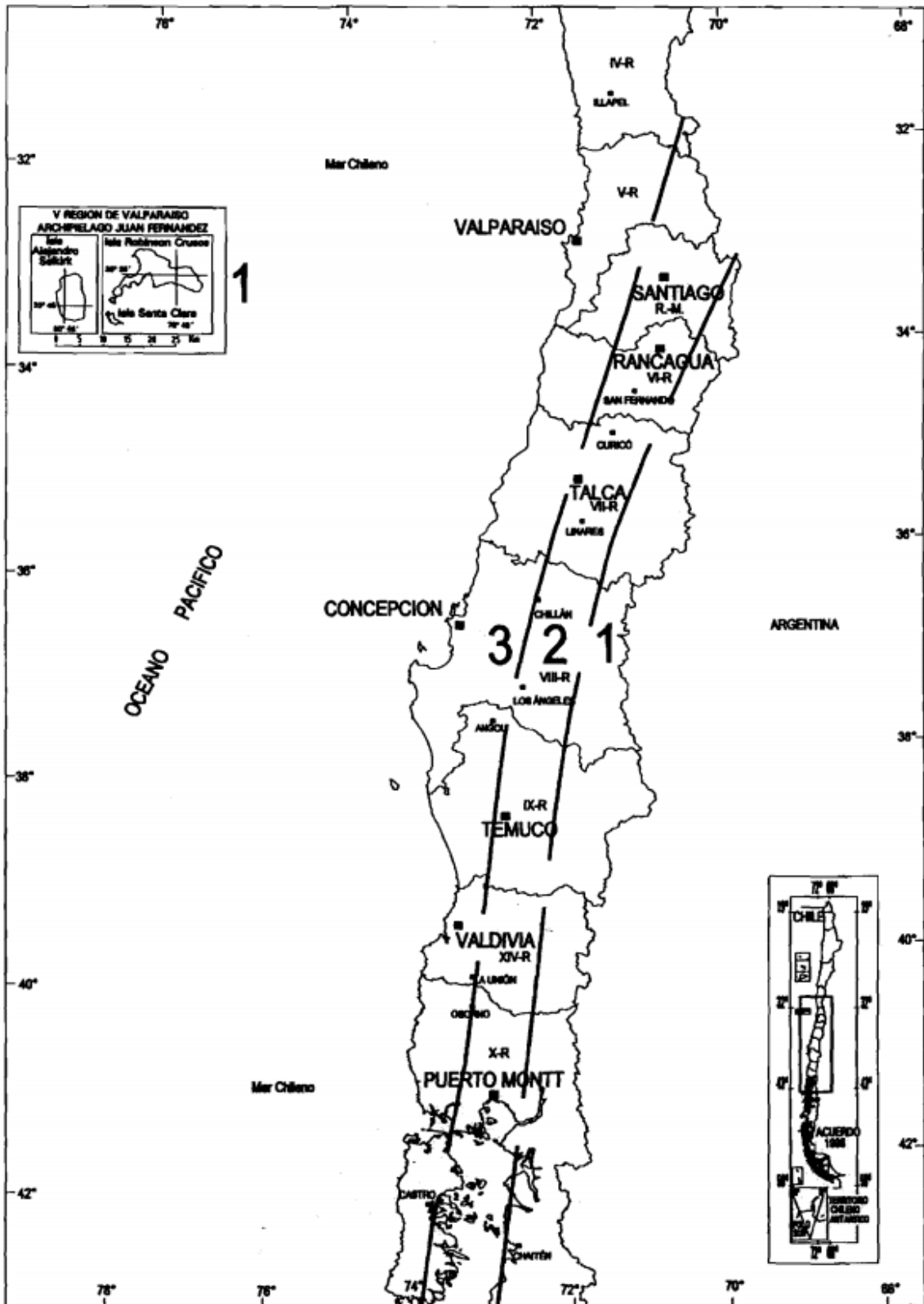
Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 14



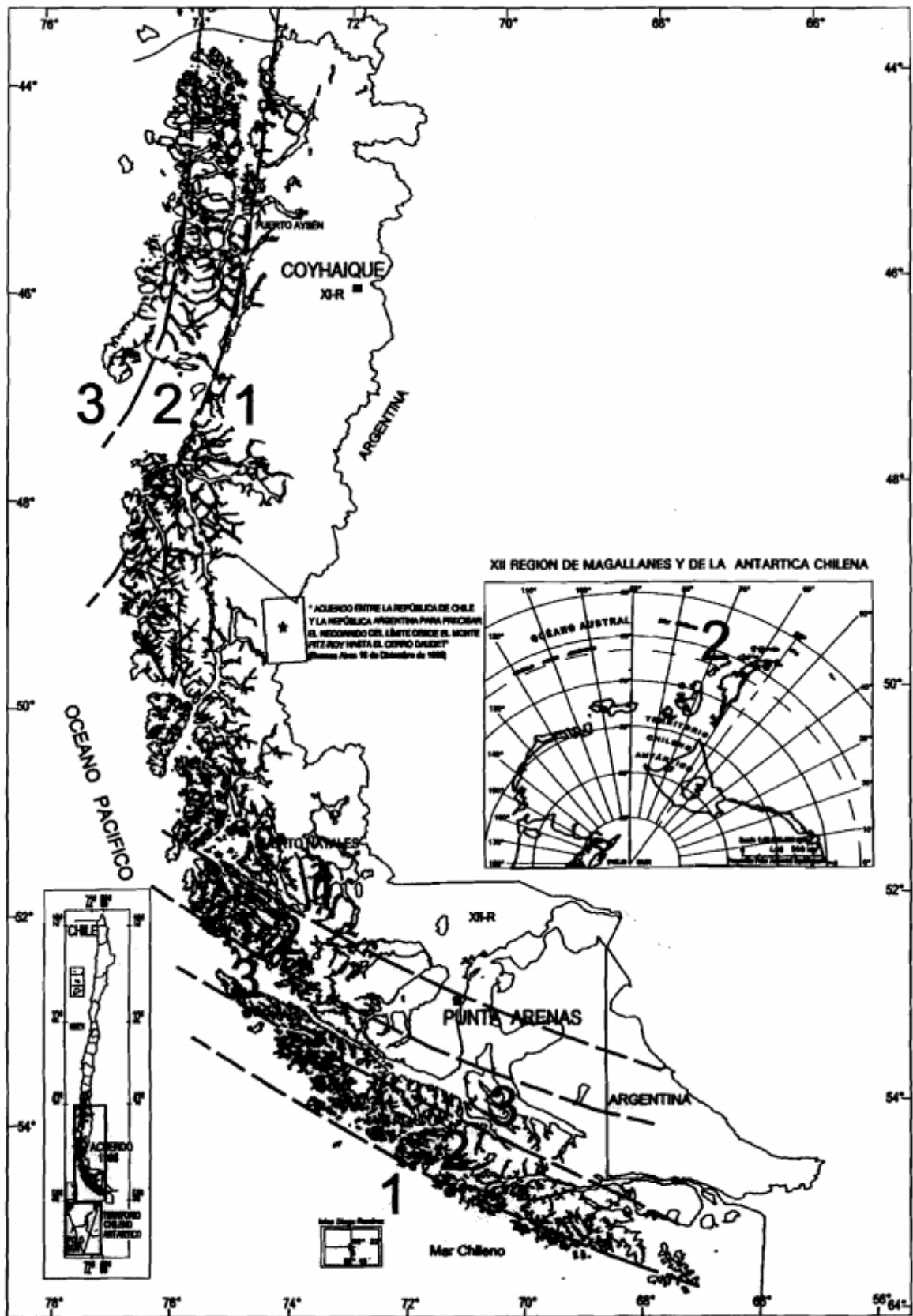
Zonificación sísmica de las regiones I, II, III y XV.
Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 15



Zonificación sísmica de las regiones IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XIV y región metropolitana.
Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 16



Zonificación sísmica de las regiones XI y XII
 Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 17

Naturaleza de la ocupación	Categoría de Ocupación
<p>Edificios y otras estructuras aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las Categorías de Ocupación II, III y IV que representan un bajo riesgo para la vida humana en el caso de falla, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones agrícolas. - Ciertas instalaciones provisorias. - Instalaciones menores de almacenaje. 	I
<p>Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las Categorías de Ocupación I, III y IV, y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las Categorías de Ocupación I, III y IV.</p>	II
<p>Edificios y otras estructuras cuyo contenido es de gran valor, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bibliotecas; - museos. <p>Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - salas destinadas a asambleas para 100 o más personas; - estadios y graderías al aire libre para 2 000 o más personas; - escuelas, parvularios y recintos universitarios; - cárceles y lugares de detención; - locales comerciales con una superficie mayor o igual que 500 m² por piso, o de altura mayor que 12 m; - centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total mayor que 3 000 m² sin considerar la superficie de estacionamientos. <p>Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de Ocupación IV (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen cantidades suficientes de sustancias peligrosas para el público en caso que se liberen.</p> <p>Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II si se demuestra satisfactoriamente ante la Autoridad Competente mediante una estimación del riesgo, según NCh3171, que la liberación de la sustancia peligrosa no presenta una amenaza para el público.</p>	III

(continúa)

Categoría de edificación de edificios y otras estructuras

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 18

Naturaleza de la ocupación	Categoría de Ocupación
<p>Edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cuarteles de policía; - centrales eléctricas y telefónicas; - correos y telégrafos; - radioemisoras; - canales de televisión; - plantas de agua potable y de bombeo. <p>Edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hospitales; - postas de primeros auxilios; - cuarteles de bomberos; - garajes para vehículos de emergencia; - estaciones terminales; - refugios de emergencia; - estructuras auxiliares (incluyendo, pero no exclusivamente a, torres de comunicación, estanques de almacenamiento de combustible, estructuras de subestaciones eléctricas, estructuras de soporte de estanques de agua para incendios o para consumo doméstico o para otro material o equipo contra incendios) requeridas para la operación de estructuras con Categoría IV durante una emergencia. - torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo, y hangares para aviones de emergencia. - edificios y otras estructuras que tengan funciones críticas para la defensa nacional. <p>Edificios y otras estructuras (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen sustancias peligrosas en cantidades superiores a las establecidas por la Autoridad Competente.</p> <p>Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II si se puede demostrar satisfactoriamente a la Autoridad Competente mediante una estimación de riesgo, como se describe en NCh3171, que una fuga de estas sustancias no representa una amenaza para el público. No se permite esta clasificación reducida si los edificios u otras estructuras también funcionan como instalaciones esenciales o utilidad pública.</p>	IV

Categoría de edificación de edificios y otras estructuras.

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 19

c) las estructuras de 6 a 15 pisos cuando se satisfagan las siguientes condiciones para cada dirección de análisis:

- i) los cuocientes entre la altura total h del edificio, y los períodos de los modos con mayor masa traslacional equivalente en las direcciones "x" e "y", T_x y T_y , respectivamente, deben ser iguales o superiores a 40 m/s;
- ii) el sistema de fuerzas sísmicas horizontales del método estático debe ser tal que los esfuerzos de corte y momentos volcantes en cada nivel no difieran en más de 10% respecto del resultado obtenido mediante un análisis modal espectral con igual esfuerzo de corte basal.

Si se cumplen las condiciones (i) e (ii) anteriores y el esfuerzo de corte basal que se obtenga de la aplicación de las fuerzas sísmicas estáticas horizontales resultase menor que el determinado según 6.2.3, dichas fuerzas se deben multiplicar por un factor de manera que el esfuerzo de corte basal alcance el valor señalado, como mínimo.

Condiciones para aplicar un análisis estático en edificio de 6 a 15 pisos.

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 20

a) El método CQC.

$$\rho_{ij} = \frac{8 \xi^2 r^{3/2}}{(1+r)(1-r)^2 + 4 \xi^2 r(1+r)} \quad (6-14)$$

en que:

$$r = \frac{T_i}{T_j}$$

ξ = razón de amortiguamiento, uniforme para todos los modos de vibrar, que se debe tomar igual a 0,05.

b) El método CQC con ruido blanco filtrado por un suelo de característica T_o .

$$\rho_{ij} = \rho^* \quad \text{si } T_i / T_o \geq 1,35 \quad (6-15)$$

$$\rho_{ij} = 1 - 0,22(1 - \rho^*) [\log (T_i / T_o) + 2]^2 \quad \text{si } T_i / T_o < 1,35$$

en que ρ^* está dado por:

$$\rho^* = 0 \quad \text{si } T_i / T_j \geq 1,25 \quad (6-16)$$

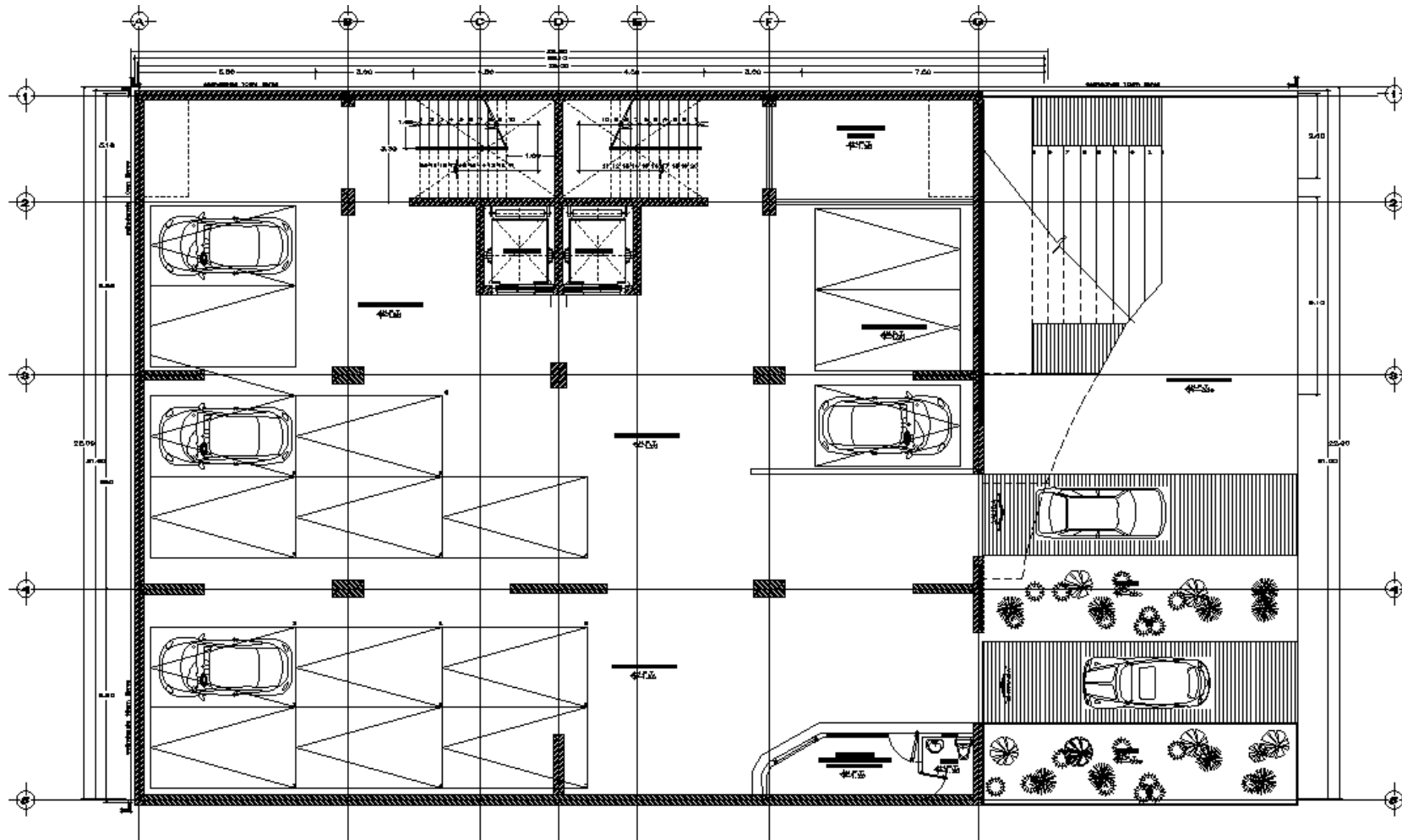
$$\rho^* = 1 + 4(1 - T_i / T_j) \quad \text{si } T_i / T_j < 1,25$$

en las expresiones (6-15) y (6-16) se debe tomar $T_i > T_j$.

Métodos alternativos para el cálculo de los coeficientes de acoplamiento ρ_{ij} .

Fuente: Nch433, 2012.

ANEXO 21



vista en planta del sótano (estacionamiento)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 22

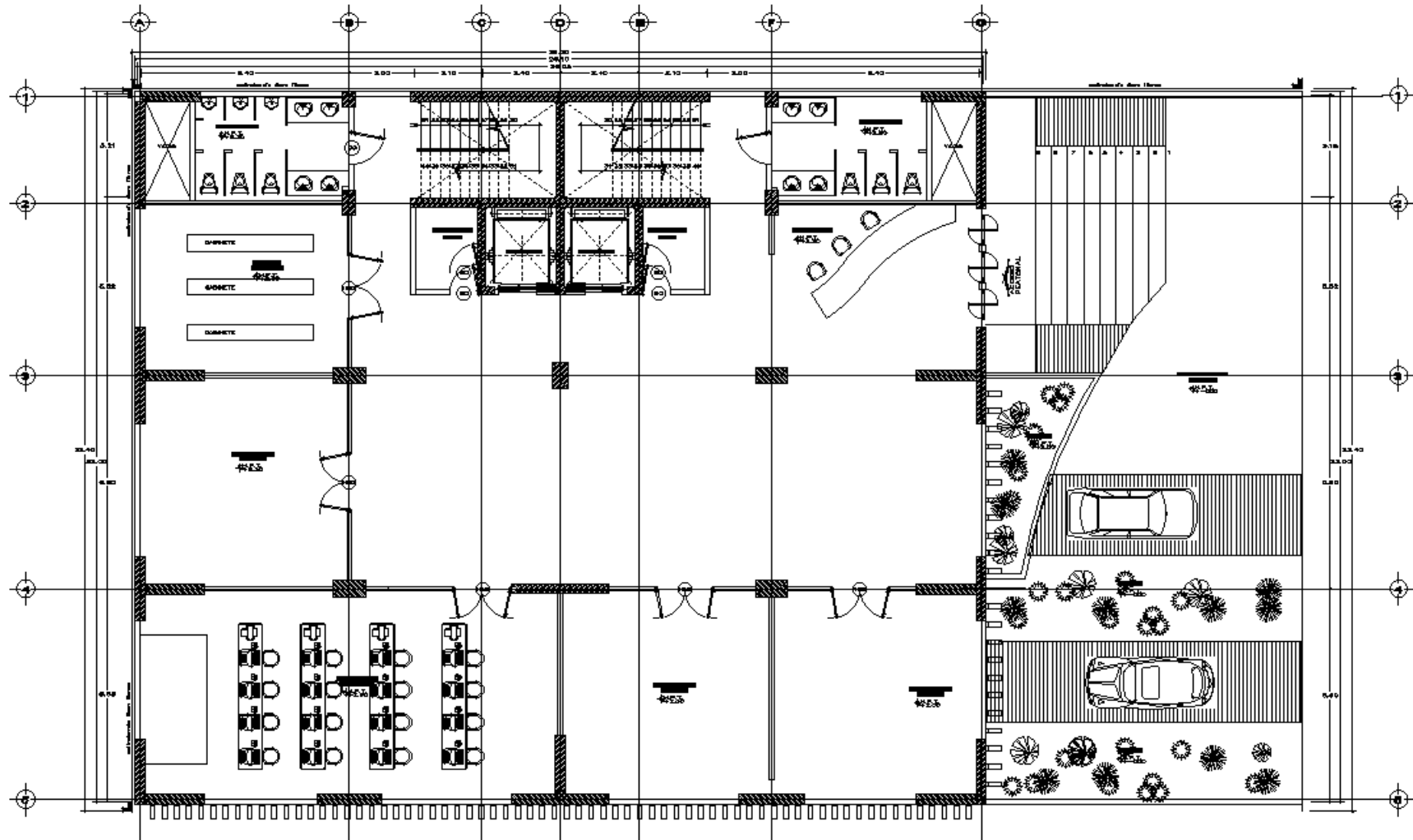
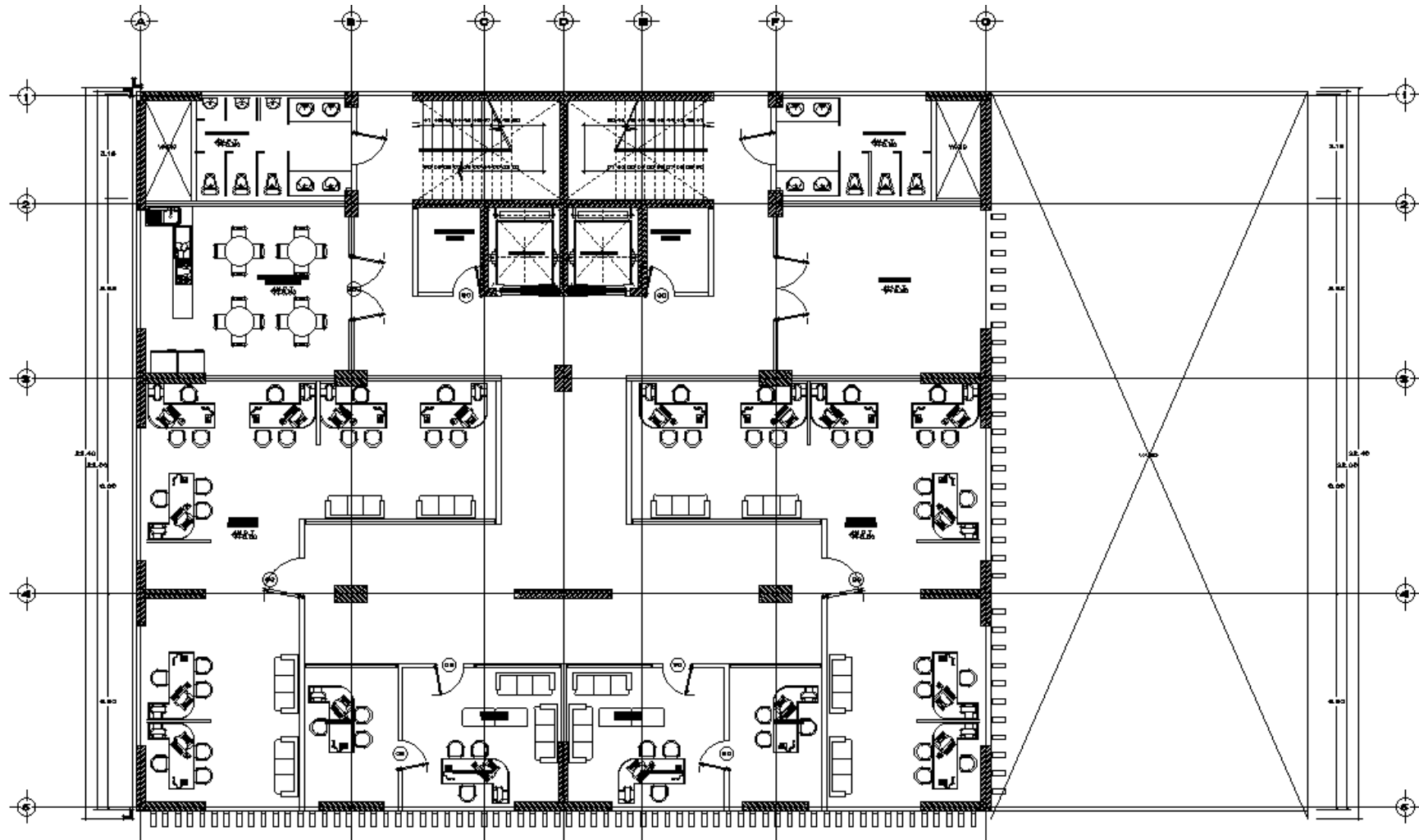


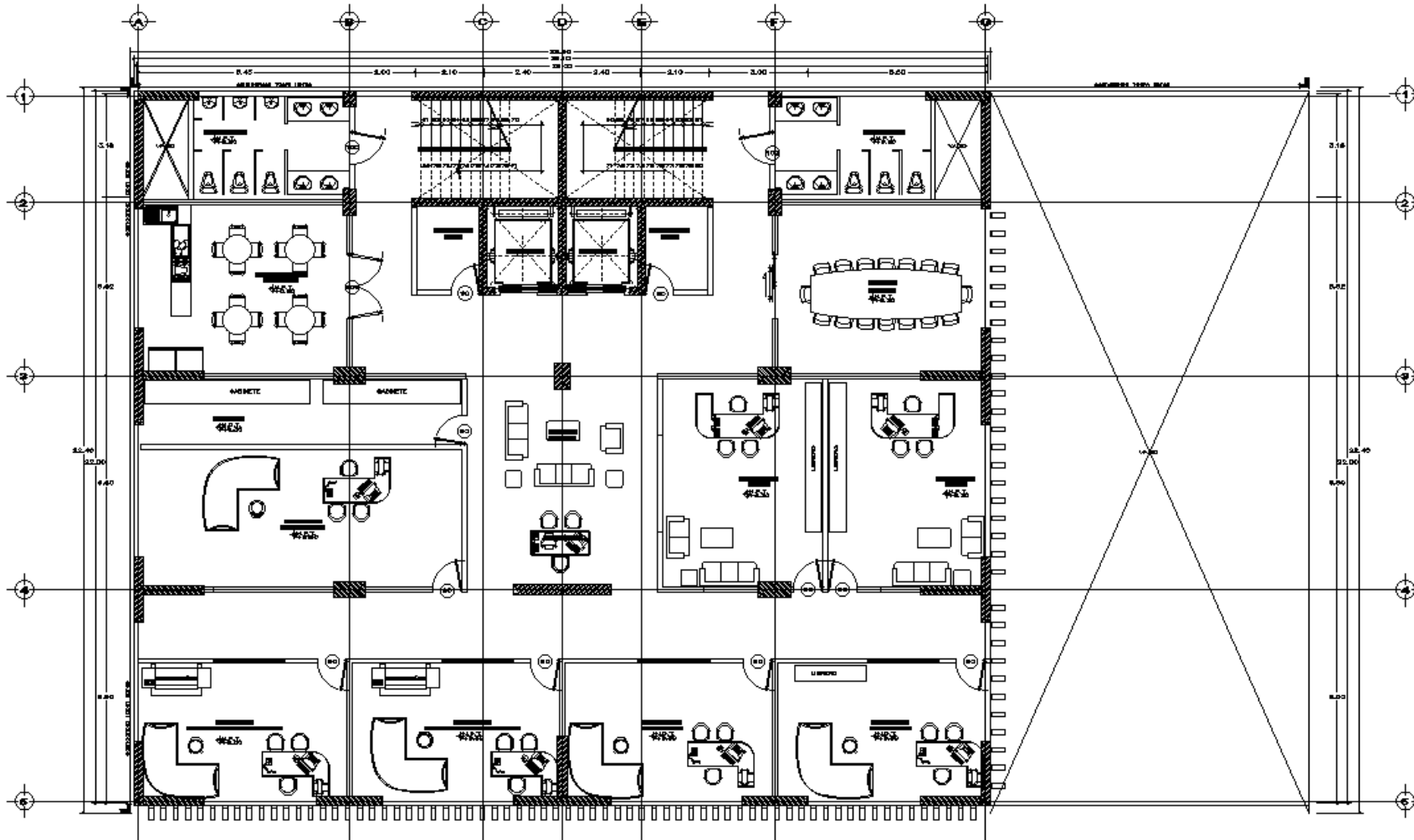
Figura 15.2. vista en planta del primer nivel (administración general)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 23



vista en planta de los niveles 2, 4 y 6 (oficinas)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 24



vista en planta de los niveles 3, 5 y 7 (oficinas)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 25

LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

TIPOS DE LOSAS (Rectangulares)

LOSAS EN UNA DIRECCION

Son losas que trabajan principalmente en una dirección, ocurre cuando la razón entre el lado más grande y el lado más corto es superior a 2.

L_2
↑
↓

L_1
←
→

LOSAS EN DOS DIRECCIONES

Son losas que trabajan en las dos direcciones, ocurre cuando la razón entre el lado más grande y el lado más corto es inferior a 2.

Si $L_1/L_2 > 2$, es un losa en una dirección.
Si $L_1/L_2 < 2$, es un losa en dos direcciones.

ESPESORES MINIMOS DE LOSAS EN DOS DIRECCIONES

Verificar solamente la losa de mayor dimensión
El espesor mínimo se calcula como:

$$e = \frac{k \times L_2}{\lambda} + 1,5 \text{ cm}$$

Donde:

L_2 es la longitud más corta de la losa y
 $\lambda = 35$ para losa de piso y
 $\lambda = 40$ para losa de techo
 K sale de la siguiente tabla

TABLA PARA EL CALCULO DEL ESPESOR DE LOSAS EN DOS DIRECCIONES

Tipo de Apoyo	ϵ					
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.80	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95
3	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
4	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.88
5	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
6	0.66	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76
7	0.58	0.61	0.66	0.70	0.74	0.75
8	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
9	0.53	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58

L_2
←
→

L_1
↑
↓

$\epsilon = L_1 / L_2$

TIPOS DE LOSAS, PARA DIFERENTES CONDICIONES DE APOYO

1

2

3

4

5

6

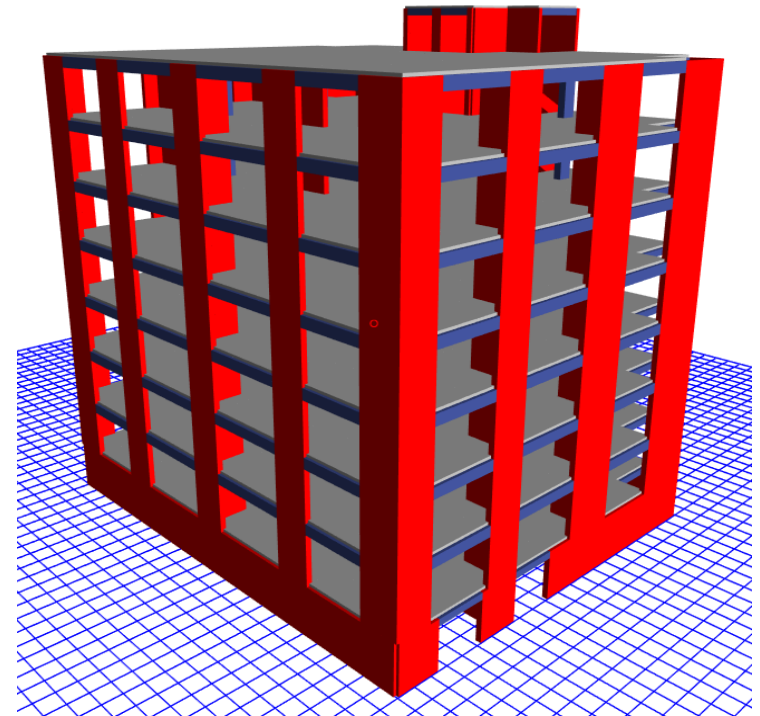
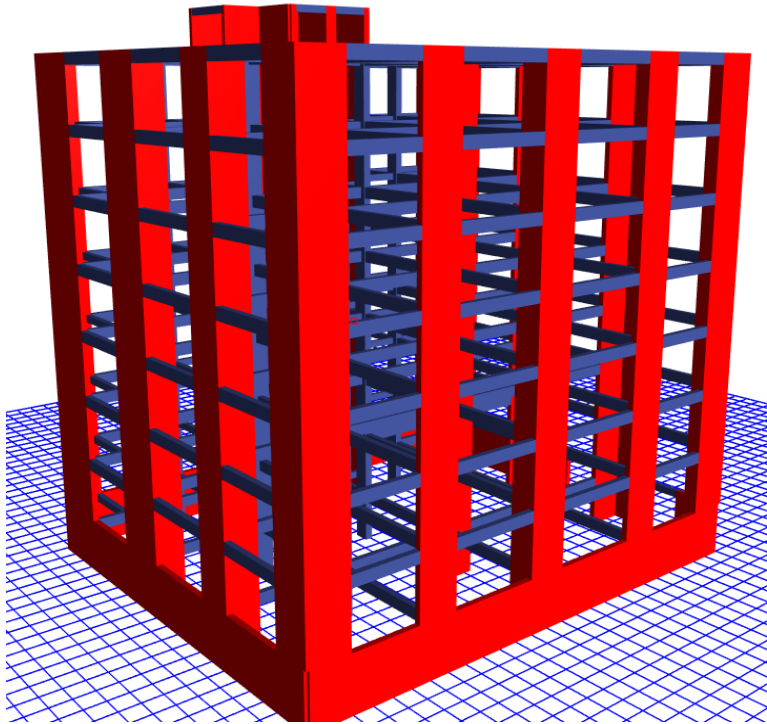
7

8

9

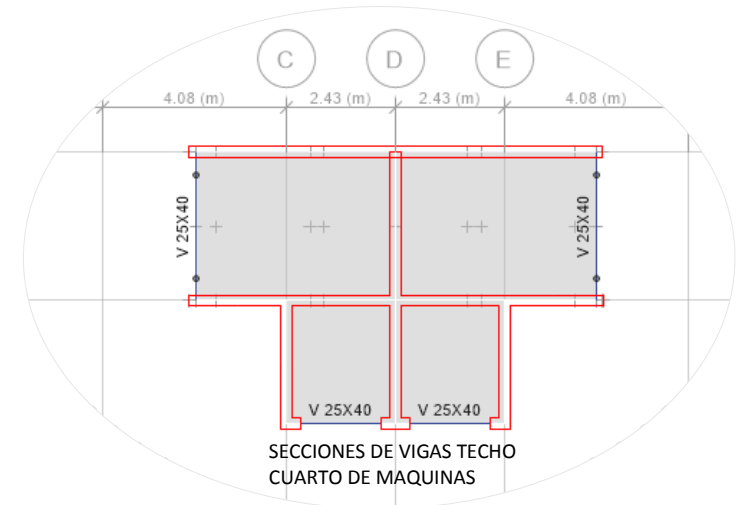
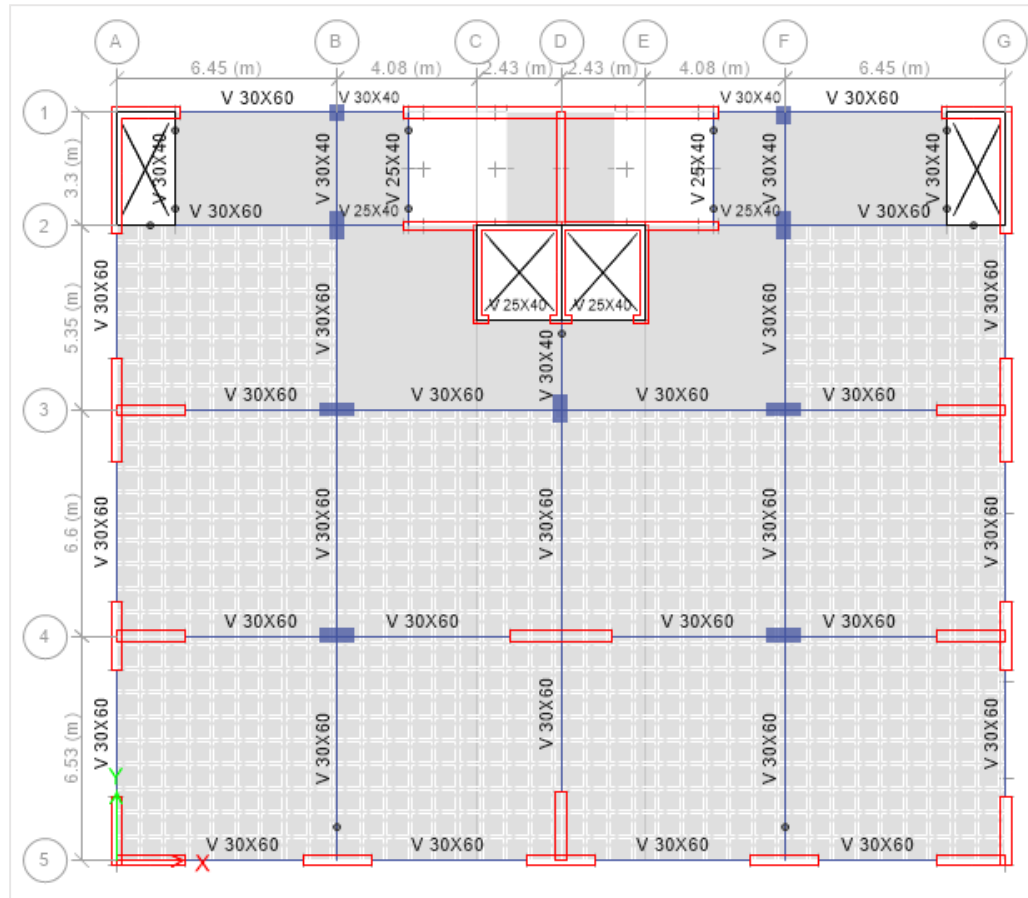
Pre dimensionamiento de losas aligeradas armadas en dos direcciones
 Fuente: elaboración propia

ANEXO 26



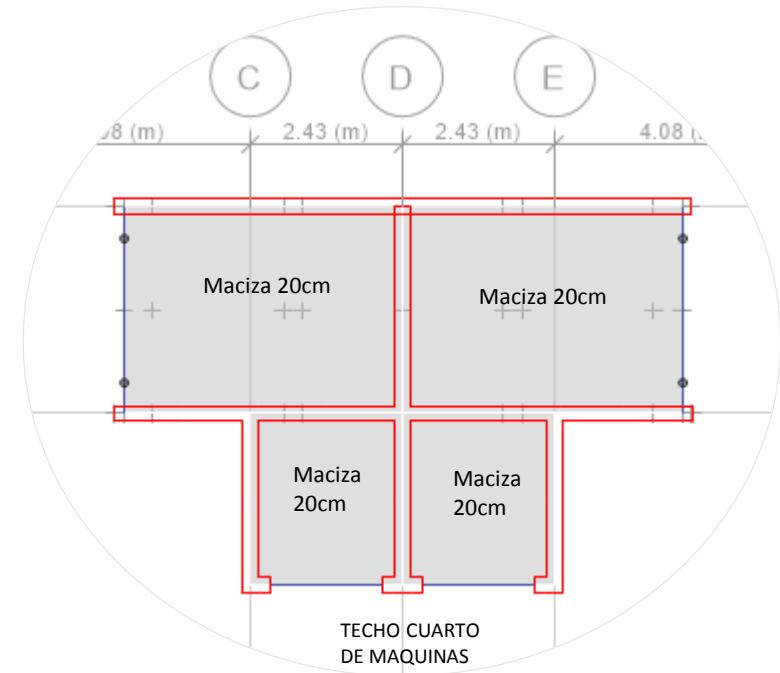
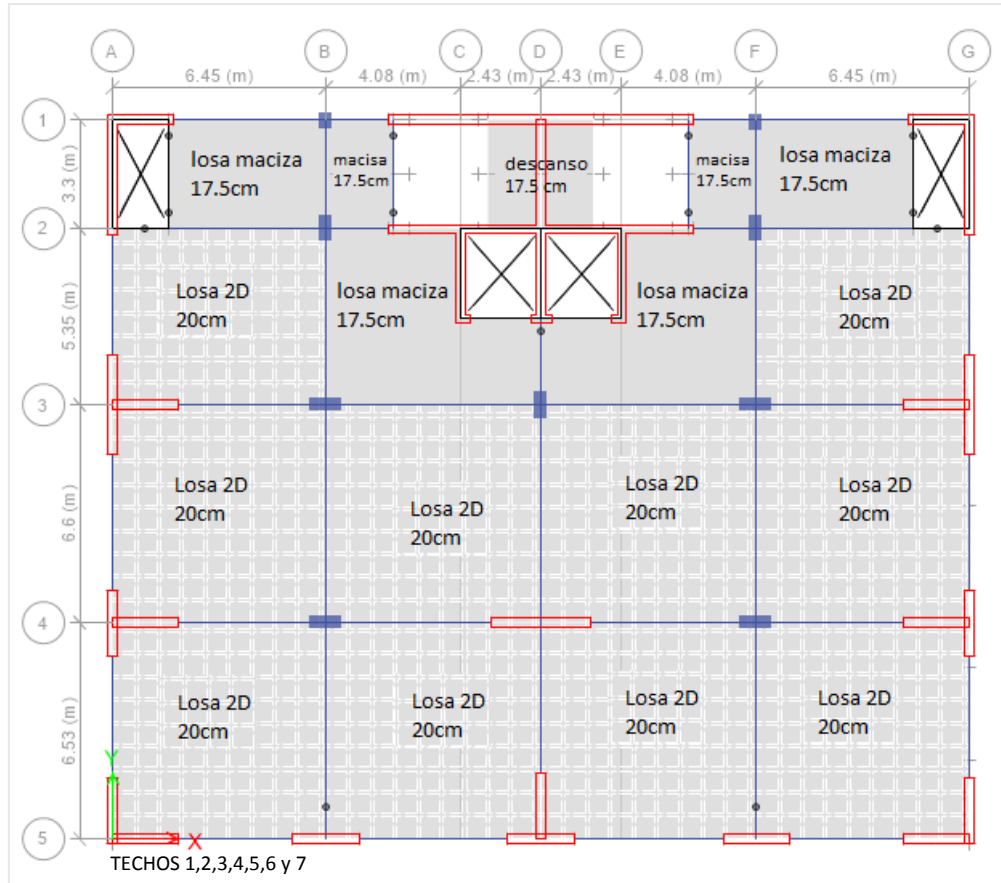
vista en 3D modelado en el software etabs de la estructuración del edificio.
Fuente: elaboración propia

ANEXO 27



Vista en planta de las secciones de vigas (techo 1,2,3,4,5,6,7 y cuarto de máquinas)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 28



Vista en planta de la ubicación de losas de techo (techo 1,2,3,4,5,6,7 y cuarto de máquinas)
Fuente: elaboración propia

ANEXO 29

Story	IRREGULARIDAD PISO BLANDO														
	CORTANTE (Vb)		DESPL. MAX.		RIGIDEZ	RIGIDEZ	CONDICION 1 < 70%				CONDICION 2 < 80%				
	X tonf	Y tonf	UX (m)	UY (m)	tonf/m	tonf/m	X	Y	X	Y	X	X	X	X	
CM	28.3761	28.3761													
NIVEL 7	253.0161	253.0161	0.002878	0.004045	87910.5	62552.65									
NIVEL 6	507.2552	507.2552	0.003289	0.004407	154221.7	115102.7	1.75	1.84	OK	OK					
NIVEL 5	719.4538	719.4538	0.003495	0.004664	205847.6	154261.8	1.33	1.34	OK	OK					
NIVEL 4	889.5711	889.5711	0.00356	0.004721	249851.4	188444.1	1.21	1.22	OK	OK	1.67	1.70	OK	OK	
NIVEL 3	1017.159	1017.159	0.003371	0.004447	301746.1	228733.9	1.21	1.21	OK	OK	1.48	1.50	OK	OK	
NIVEL 2	1102.218	1102.218	0.002858	0.003717	385648.4	296530.2	1.28	1.30	OK	OK	1.53	1.56	OK	OK	
NIVEL 1	1144.747	1144.747	0.001701	0.002136	673119.3	535814.9	1.75	1.81	OK	OK	2.15	2.25	OK	OK	

Story	DERIVAS DE ENTRE PISO							TORSIONAL > 1.20				TORSIONAL EXTREMA > 1.50			
	ALTURA	PL. MAX. RELAT EN	DESPL. MAX. RELAT	DESPL. MAX. RELAT	DESPL. PROM. RELAT E	DESPL. PROM. RELAT E	DESPL. PROM. RELAT E	X	Y	X	X	X	Y	X	X
	(cm)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)								
CM	2710														
NIVEL 7	2450	0.325545	0.431758	0.287811	0.404485	0.306193	0.401449	1.13	1.07	OK	OK	1.06	1.08	OK	OK
NIVEL 6	2100	0.375113	0.472088	0.328913	0.440698	0.338585	0.437209	1.14	1.07	OK	OK	1.11	1.08	OK	OK
NIVEL 5	1750	0.419297	0.501627	0.349508	0.466385	0.364004	0.462466	1.20	1.08	OK	OK	1.15	1.08	OK	OK
NIVEL 4	1400	0.444562	0.509592	0.35604	0.472061	0.374118	0.467889	1.25	1.08	IRREGULAR	OK	1.19	1.09	OK	OK
NIVEL 3	1050	0.432428	0.481543	0.337091	0.444691	0.356559	0.440594	1.28	1.08	IRREGULAR	OK	1.21	1.09	OK	OK
NIVEL 2	700	0.366929	0.403306	0.285809	0.371705	0.302375	0.368191	1.28	1.09	IRREGULAR	OK	1.21	1.10	OK	OK
NIVEL 1	350	0.202231	0.233521	0.170066	0.213646	0.176634	0.211437	1.19	1.09	OK	OK	1.14	1.10	OK	OK

<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0,75
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p> <p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{P-prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,75
	0,60

verificación de irregularidad torsional y de piso blando según NTP E.030-2018

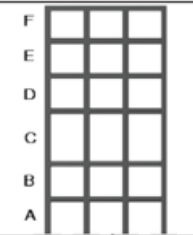
Fuente: elaboración propia

ANEXO 30

Story	RIGIDEZ LATERAL POR PISO		IRREGULARIDAD PISO FLEXIBLE								
	RIGIDEZ-	RIGIDEZ-	CONDICION 1				CONDICION 2				
	ton/m	ton/m	X	Y	X	Y	X	X	X	X	
CM	10989.52	7510.451									
NIVEL 7	60567.49	48954.42	5.511385	6.518173							
NIVEL 6	112569.8	92304.27	1.858585	1.885515	OK	OK					
NIVEL 5	151725.7	126324.9	1.347836	1.368571	OK	OK					
NIVEL 4	187998.5	157400.6	1.239068	1.245998	OK	OK	1.736103	1.764689	OK	OK	
NIVEL 3	232774.9	194693.8	1.238174	1.236931	OK	OK	1.543962	1.553285	OK	OK	
NIVEL 2	320341.2	272374	1.376184	1.398987	OK	OK	1.678646	1.707962	OK	OK	
NIVEL 1	551921.5	477723.9	1.722918	1.753926	OK	OK	2.234154	2.295027	OK	OK	

Tipo 1 - Piso flexible
 $\phi_p = 0.9$
 Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_o
 $Rigidez < 0.80 \frac{(K_p + K_r + K_f)}{3}$

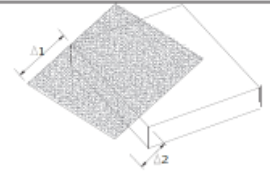
La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.



Story	DERIVAS DE ENTRE PISO											IRREGULARIDAD TORSIONAL				
	ALTURA	ESPL. ABSOL	ENTR	SPL. MAX	RELAT EN	P. PROM	RELAT EN	RIV. ELAS.	MAX. EN	RIV. ELAS.	PROM. EN	X	Y	X	X	
	(cm)	UX (m)	UY (m)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)					
CM	2710	2.048306	2.861667													
NIVEL 7	2450	2.61674	2.735906	0.370735	0.414763	0.308356	0.379811	0.001059	0.001185	0.000881	0.001085	1.20	1.09	OK	OK	
NIVEL 6	2100	2.246005	2.321143	0.408063	0.441784	0.332056	0.403495	0.001166	0.001262	0.000949	0.001153	1.23	1.09	IRREGULAR	OK	
NIVEL 5	1750	1.837942	1.879359	0.438671	0.45897	0.348863	0.417822	0.001253	0.001311	0.000937	0.001194	1.26	1.10	IRREGULAR	OK	
NIVEL 4	1400	1.399271	1.420389	0.44896	0.456448	0.350547	0.414281	0.001283	0.001304	0.001002	0.001184	1.28	1.10	IRREGULAR	OK	
NIVEL 3	1050	0.950311	0.963941	0.42229	0.422591	0.326414	0.382652	0.001207	0.001207	0.000933	0.001093	1.29	1.10	IRREGULAR	OK	
NIVEL 2	700	0.528021	0.54135	0.345657	0.346501	0.269409	0.313539	0.000988	0.00099	0.00077	0.000896	1.28	1.11	IRREGULAR	OK	
NIVEL 1	350	0.182364	0.194849	0.182364	0.194849	0.151706	0.175269	0.000521	0.000557	0.000433	0.000501	1.20	1.11	OK	OK	

Tipo 1 - Irregularidad torsional
 $\phi_{pt} = 0.9$
 $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$

Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.



verificación de irregularidad torsional y de piso blando según NEC-SE-DS-2015
 Fuente: elaboración propia