



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

UNIDAD ACADÉMICA: FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

**“DEFINICIÓN Y ESTUDIO COMPARATIVO DE ESPECTROS PARA
DISEÑO SÍSMICO DE LA NORMA NEC SE DS CON OTRAS NORMAS
INTERNACIONALES.”**

AUTORA:

MARÍA CRISTINA NORIEGA VEGA

DIRECTOR:

ING. JUAN CARLOS GARCÉS POUT

QUITO – ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, amigos, profesores quienes sembraron en mí el espíritu y la fuerza, para vivir este momento y conseguir las metas necesarias que deba tener en mi camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por su tiempo, amor y gran dedicación, a mi hermano, a mi hermana, a mis abuelitos porque siempre han sido mi hogar y mi fortaleza.

Agradezco a Roberto, Vanne, y a mis amigos por ayudarme a ver las cosas desde diferentes perspectivas, por su gran apoyo y su amistad.

Agradezco a mis profesores quienes supieron guiar por un camino lleno de valores y enseñanzas, a Juan Carlos Garcés, Patricio Castro y Francisco Fernández por su gran ayuda en el transcurso de la carrera además de su paciencia y su enorme altruismo con sus conocimientos.

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por permitirme estudiar esta hermosa carrera en sus prestigiosas aulas.

RESUMEN

Ecuador se encuentra en una zona sísmica, y su progresivo incremento en el sector constructivo son factores que demandan diseños de estructuras con mayor detalle sísmico resistente, motivo por el cual en este trabajo se propone comparar los espectros de respuesta obtenidos en el NEC-SE-DS, con otras normas internacionales, con el fin de verificar que los espectros de respuesta del NEC-SE-DS sean razonables a la realidad de nuestro país.

En el primer capítulo se describirá los objetivos y alcance del presente trabajo, conceptos del peligro sísmico en el Ecuador, las diferentes normas internacionales a ser comparadas, definición de espectro de respuesta, la integral de Duhamel y la importancia del análisis dinámico modal en las distintas normas a estudiar.

En el segundo capítulo se describen los factores y coeficientes utilizados para obtener los espectros de respuestas con las diferentes normas, empezando con la zonificación sísmica, el tipo de suelo, factores de sitio, parámetros de aceleración y además se detallará la solución a la integral de Duhamel.

Finalmente en el capítulo dos se realizó un espectro de respuesta para cada tipo de suelo de la norma NEC SE DS, con las diferentes normas internacionales y la NEC SE DS.

En el tercer capítulo se describe el programa PRISM utilizado para obtener espectros de respuesta con diferentes sismos ocurridos en el Ecuador.

Se realizó una comparación de los espectros de las diferentes normas para cada tipo de suelo, además de una comparación de los espectros del suelo tipo B (roca madre) con los espectros de sismos ocurridos en el Ecuador obtenidos de acelerogramas en roca madre, dados obtenidos de la IGEPN.

De igual manera en este capítulo se obtuvo los resultados de cada una de estas comparaciones realizadas con las diferentes normas internacionales, para cada tipo de suelo.

Para finalizar en el capítulo cuatro se detallan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN.....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XV
CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.1.1 PELIGRO SISMICO Y ORIGEN DE LOS SISMOS EN EL ECUADOR	1
1.1.2 Sismos de diseño.....	8
1.1.3 NORMAS SÍSMICAS APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN	9
1.1.4 CONCEPTO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA.....	15
1.1.5 DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DINÁMICO MODAL.....	19
1.1.6 INTEGRAL DE DUHAMEL	20
1.1.7 TIPOS DE SUELO Y EFECTOS EN EL ESPECTRO.....	23
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	24
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.2.3 ALCANCE (REFERIDO AL NUMERAL 8)	24
1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	25
CAPÍTULO II.....	26
1.4 DESARROLLO DE LOS DIFERENTE ESPECTROS.....	26
1.4.1 ZONIFICACIÓN SÍSMICA	26
1.4.2 TIPOS DE SUELO	33
1.4.3 FACTORES DE SITIO.....	47

1.4.4	PARÁMETROS DE ACELERACIONES ESPECTRALES PARA DISEÑO	53
1.5	SOLUCION A LA INTEGRAL DE DUHAMEL	66
1.5.1	PROGRAMA PARA EVALUAR LA INTEGRAL DE DUHAMEL ...	70
1.5.2	ESPECTROS DE RESPUESTA.....	75
CAPÍTULO III.....		123
1.6	COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA.....	123
1.6.1	Programa para Ingeniería sísmica PRISM	124
1.6.2	Espectros de Respuesta de los sismos obtenidos mediante el IGEPN126	
1.6.3	Extracción de datos con el programa PRISM de los Sismos del IGEPN 127	
1.6.4	Sismo 16 Abril del 2016	148
1.6.5	Comparación de los Espectros de Respuesta de las diferentes normas 155	
1.7	Resultados obtenidos	165
CAPÍTULO IV.....		171
1.8	CONCLUSIONES.....	171
1.9	RECOMENDACIONES	174
1.10	BIBLIOGRAFIA	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla Comité Visión 2000	9
Tabla 2 Aceleración	32
Tabla 3 Clasificación de los perfiles de suelo	33
Tabla 4 Clasificación de suelos ASCE/SEI-7	35
Tabla 5 Tipos de Suelo del Eurocódigo 8	36
Tabla 6 Clasificación de los perfiles de suelo Norma E.030	40
Tabla 7 Clasificación de los suelos de la norma NCH433 de Chile	41
Tabla 8 Clasificación de los suelos Norma NSR-10.....	42
Tabla 9 Tabla 3.2 de límites máximos de profundidad para los suelos de clase C (Norma NZS1170.5)	46
Tabla 10 Valores de Z en función de la zona sísmica adoptada	47
Tabla 11 Valores de los parámetros S, T _B , T _C , T _D que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2.	50
Tabla 12 Factor Z Norma del Perú.....	51
Tabla 13 Aceleración Efectiva A ₀	52
Tabla 14 Coeficiente de sitio Fa.....	56
Tabla 15 Coeficientes de sitio Fv.....	57
Tabla 16 Valores recomendados para γ_I (EN1998-1:2004)	58
Tabla 17 FACTOR DE SUELO "S" NORMA PERUANA E.030.....	59
Tabla 18 PERIODOS "T _p " y "T _L " NORMA PERUANA E.030	59
Tabla 19 Parámetros dependientes del tipo de suelo, NCH433.Of1996, mod.2009..	61
Tabla 20 Valores del coeficiente Fa para las zonas de periodos cortos del espectro.	62
Tabla 21 Valores del coeficiente Fv para las zonas de periodos cortos del espectro.	63
Tabla 22 Factor de Periodo de Retorno	64
Tabla 23 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo A, en Zona V	79
Tabla 24 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo B, en Zona V	80

Tabla 25 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo C, en Zona V	81
Tabla 26 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo D, en Zona V	82
Tabla 27 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo E, en Zona V	83
Tabla 28 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo A	86
Tabla 29 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo B	87
Tabla 30 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo C	88
Tabla 31 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo D	89
Tabla 32 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo E	90
Tabla 33 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo A	94
Tabla 34 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo B	95
Tabla 35 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo C	96
Tabla 36 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo D	97
Tabla 37 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo So	99
Tabla 38 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S1	100
Tabla 39 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S2	101
Tabla 40 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S3	102
Tabla 41 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo A, en Zona V	104

Tabla 42 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo B	105
Tabla 43 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo C	106
Tabla 44 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo D	107
Tabla 45 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo E	108
Tabla 46 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo A.....	112
Tabla 47 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo B, en Zona V	113
Tabla 48 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo C	114
Tabla 49 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo D.....	115
Tabla 50 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo E	116
Tabla 51 Factor de forma Espectral Ch (T), norma NZS1170.5.....	118
Tabla 52 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo A, en Zona V	119
Tabla 53 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo B, en Zona V	120
Tabla 54 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo C	121
Tabla 55 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo E	122
Tabla 56 Comparación de los tipos suelos de las diferentes normas	123
Tabla 57 Lista de Sismos IGEPN.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cordillera Centro Oceánica del atlántico.....	3
Figura 2 Fosa en el Océano Pacífico.....	4
Figura 3 Cinturón de Fuego del Pacífico	5
Figura 4 Espectros de respuesta básicos (desplazamiento, velocidad y aceleración)	16
Figura 5 Cálculo de espectros de Respuestas de un sistema de un grado de libertad	16
Figura 6 Ecuación Espectro de Aceleración en función de la aceleración Absoluta .	17
Figura 7 Acción sísmica horizontal.....	17
Figura 8 Espectro de Respuesta	18
Figura 9 Deducción de la Integral de Duhamel	21
Figura 10 Mapa de zonas sísmicas de diseño del Ecuador y valor del factor de zona Z	28
Figura 11 Factores S_1 y S_s para Quito-Ecuador según el ASCE/SEI-7-10.....	48
Figura 12 Valores de a_{Aa} y de v_{Av} , según las regiones De los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3	52
Figura 13 Tipo de Suelo y Factores F_a	54
Figura 14 Tipo de Suelo y Factores F_d	54
Figura 15 F_s - Tipo de Suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo	55
Figura 16	67
Figura 17	67
Figura 18 Espectro elástico de Respuesta NEC SE DS	78
Figura 19 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo A, en Zona V	79
Figura 20 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo B, en Zona V	80
Figura 21 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo C, en Zona V	81
Figura 22 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo D, en Zona V	82
Figura 23 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo E, en Zona V	83
Figura 24 Espectro de diseño de respuesta	85
Figura 25 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo A	87

Figura 26 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo B	88
Figura 27 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo C	89
Figura 28 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo D	90
Figura 29 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo E.....	91
Figura 30 Espectro elástico de respuestas Eurocódigo 8	93
Figura 31 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo A.....	94
Figura 32 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo B	95
Figura 33 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo C.....	96
Figura 34 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo D.....	97
Figura 35 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo So	99
Figura 36 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S1	100
Figura 37 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S2.....	101
Figura 38 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S3.....	102
Figura 39 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo A, en Zona V.....	104
Figura 40 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo B	105
Figura 41 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo C	106
Figura 42 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo D	107
Figura 43 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo E	108
Figura 44 Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g norma NSR-10.....	111
Figura 45 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo A.....	112
Figura 46 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo B, en Zona V	113
Figura 47 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo C.....	114
Figura 48 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo D.....	115
Figura 49 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo D.....	116
Figura 50 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo A, en Zona V....	119
Figura 51 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo B, en Zona V....	120
Figura 52 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo C.....	121
Figura 53 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo E.....	122

Figura 54 Ingreso de datos NGDC en el programa PRISM.....	126
Figura 55 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2010.....	128
Figura 56 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2010	128
Figura 57 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010.....	128
Figura 58 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010.....	129
Figura 59 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2010.....	129
Figura 60 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2010	130
Figura 61 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010.....	130
Figura 62 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010.....	131
Figura 63 Acelerograma en PRISM sismo del 09 02 2013.....	131
Figura 64 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 09 02 2013	132
Figura 65 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013.....	132
Figura 66 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013.....	133
Figura 67 Acelerograma en PRISM sismo del 09 02 2013.....	133
Figura 68 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 09 02 2013	134
Figura 69 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013.....	134
Figura 70 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013.....	135
Figura 71 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014.....	135
Figura 72 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014	136
Figura 73 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	136
Figura 74 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	137
Figura 75 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014.....	137

Figura 76 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014	138
Figura 77 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	138
Figura 78 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	139
Figura 79 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014.....	139
Figura 80 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014	140
Figura 81 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	140
Figura 82 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	141
Figura 83 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014.....	141
Figura 84 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014	142
Figura 85 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	142
Figura 86 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014.....	143
Figura 87 Acelerograma en PRISM sismo del 28 04 2015.....	143
Figura 88 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 28 04 2015	144
Figura 89 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015.....	144
Figura 90 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015.....	145
Figura 91 Acelerograma en PRISM sismo del 28 04 2015.....	145
Figura 92 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 28 04 2015	146
Figura 93 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015.....	146
Figura 94 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015.....	147
Figura 95 Distribución de Intensidades USGS sismo 16 04 2016.....	149
Figura 96 PGA del sismo 16 de abril del 2016 USGS.....	150
Figura 97 Acelerograma del sismo del 16 de abril del 2016 IGEPN.....	151

Figura 98 PSA a los 0.3 s sismo 16 04 2016 de la USGS.....	152
Figura 99 PSA al 1 s sismo 16 04 2016 de la USGS	153
Figura 100 PSA a los 3 s sismo 16 04 2016 de la USGS.....	154
Figura 101 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo A	156
Figura 102 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 12 08 2010	157
Figura 103 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 09 02 2013	158
Figura 104 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 12 08 2014	159
Figura 105 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 28 04 2015	160
Figura 106 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B con el Sismo del 16 04 2016, PSA a 0.3 s, a 1 s y a 3s de la USGS.....	161
Figura 107 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo C	162
Figura 108 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo D	163
Figura 109 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo E.....	164

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 0-1.....	20
Ecuación 0-2.....	21
Ecuación 0-3.....	22
Ecuación 0-4.....	22
Ecuación 0-5.....	22
Ecuación 0-6.....	22
Ecuación 0-7.....	23
Ecuación 0-1.....	56

Ecuación 0-2.....	56
Ecuación 0-3.....	57
Ecuación 0-4.....	57
Ecuación 0-5.....	60
Ecuación 0-6.....	60
Ecuación 0-7.....	61
Ecuación 0-8.....	64
Ecuación 0-9.....	65
Ecuación 0-10.....	65
Ecuación 0-11.....	65
Ecuación 0-12.....	66
Ecuación 0-13.....	67
Ecuación 0-14.....	68
Ecuación 0-15.....	68
Ecuación 0-16.....	69
Ecuación 0-17.....	69
Ecuación 0-18.....	70
Ecuación 0-19.....	70
Ecuación 0-20.....	77
Ecuación 0-21.....	77
Ecuación 0-22.....	78
Ecuación 0-23.....	78
Ecuación 0-24.....	84
Ecuación 0-25.....	84
Ecuación 0-26.....	84
Ecuación 0-27.....	84
Ecuación 0-28.....	85
Ecuación 0-29.....	85
Ecuación 0-30.....	92
Ecuación 0-31.....	92

Ecuación 0-32.....	92
Ecuación 0-33.....	93
Ecuación 0-34.....	98
Ecuación 0-35.....	103
Ecuación 0-36.....	103
Ecuación 0-37.....	109
Ecuación 0-38.....	109
Ecuación 0-39.....	109
Ecuación 0-40.....	109
Ecuación 0-41.....	110
Ecuación 0-42.....	110
Ecuación 0-43.....	110

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCION

1.1.1 PELIGRO SISMICO Y ORIGEN DE LOS SISMOS EN EL ECUADOR

El Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del pacífico, una zona altamente sísmica y de actividad volcánica, en América del Sur la placa de Nazca está en proceso de subducción debajo de la placa continental, de igual manera se encuentra en un territorio con numerosas fallas geológicas, pudiendo ser cualquiera de estos factores el origen de actividad sísmica en el país.

Todas estas razones crean una zona en la que existe una alta probabilidad de que los sismos ocurran, y la historia sísmica del país ha demostrado que muchos de estos sismos de grandes intensidades han dado como resultado terribles daños a las estructuras y a la sociedad en general.

Esta fuerte actividad sísmica en el país conlleva un mayor compromiso por parte de aquellos en cuyas manos recae la responsabilidad del estudio para mitigar dichos sismos, por lo que es de vital importancia tomar en cuenta en el diseño estructural el peligro sísmico, cuantificando parámetros como desplazamientos, velocidades, aceleraciones, magnitudes e intensidades (Falconí, 2008).

1.1.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS EN EL ECUADOR

1.1.1.1.1 SISMOS ORIGINADOS POR LA SUBDUCCIÓN Y CHOQUE DE PLACAS

La deriva continental, teoría propuesta por Alfred Wegener y aceptada como verdadera, es el fenómeno que originó los continentes existentes a partir de un primer súper continente denominado Pangea (Pelayo, 2009), un proceso de desfragmentación de la capa superficial de la tierra, con placas desplazándose sobre el manto, producido por el calentamiento del mismo en la base cerca del núcleo, donde al calentarse el fluido se expande y asciende, al ascender se enfría y aumenta su densidad volviendo a descender, generando un movimiento circular auto-organizado (INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2015).

En el océano atlántico existe una zona de expansión del fondo oceánico, la cordillera centro oceánica del atlántico en donde el manto brota de dicha dorsal, teoría del Geólogo Harry Hess, generando un desplazamiento de las placas en dirección contraria (INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2015, pág. 4).

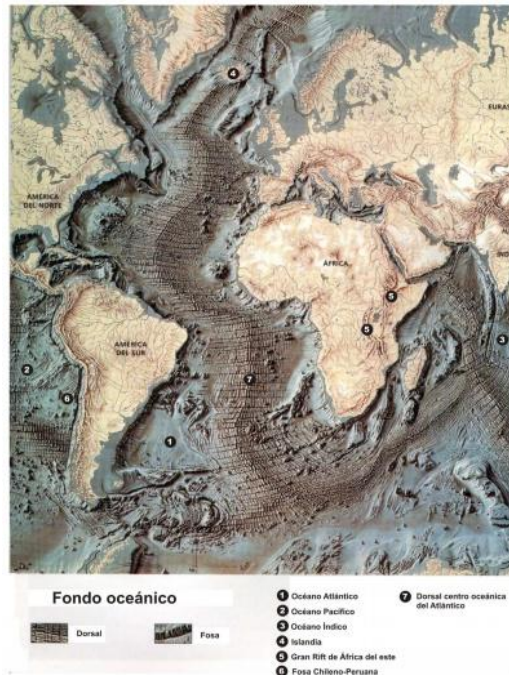


Figura 1 Cordillera Centro Oceánica del atlántico

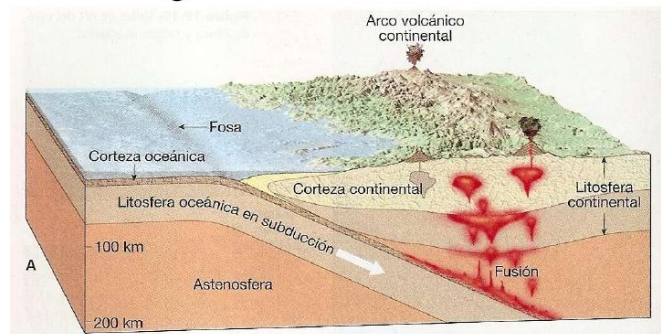
Fuente: (INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2015)

Demostrándose así la teoría de la deriva Continental la cual describe las corrientes de convección que fragmentan la litosfera¹ para tener un equilibrio

Para mantener un equilibrio se producen las fosas marinas, en las cuales debe absorberse la misma cantidad de litosfera que se generan en las dorsales, en estos bordes convergentes o zonas de subducción existe una zona de interacción entre placas llamada fosas (Edward J. Tarbuck, 2013), regiones que se caracterizan por ser de alta sismicidad y actividad volcánica.

¹ Litosfera: Es la capa superficial de la tierra, con la rigidez como su principal característica está formada por una parte del manto superficial y la corteza terrestre (Guerrero, 2012).

Convergencia oceánica - continental



Consecuencias: → Subducción de la placa oceánica (de mayor densidad)
→ Formación de una fosa submarina → Fusión parcial de las rocas de la astenosfera y generación de magma → Generación de un Arco Volcánico Continental

Figura 2 Fosa en el Océano Pacífico

Fuente: <http://terremotojapon2011-fabianv198.blogspot.com/>

Debido al fenómeno de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa Continental sobre la cual se encuentra el Ecuador, se generan deformaciones, movimientos, y liberación energía. Aproximadamente la placa de Nazca con respecto a la Placa Continental se mueve de 5 centímetros a 7 centímetros al año (Falconí, 2008).



Figura 3 Cinturón de Fuego del Pacífico

Fuente: http://www.goes-r.gov/users/comet/volcanic_ash/volcanism_es/print.htm

Existen tres tipos de sismos producidos por la subducción, el primero un sismo interplaca, el segundo intraplaca de profundidad intermedia y finalmente los sismos corticales (Felipe Leyton, 2010) Siendo estas fuentes sísmicas, distintas en sus comportamientos y características.

Los sismos superficiales son los causantes de daños mayores, por lo que en la costa Ecuatoriana es el lugar en donde mayor peligro por sismos se puede dar, después esta la sierra y finalmente el oriente ecuatoriano.

Uno de los últimos sismos y con mayores daños registrados en el país es el de Pedernales, que ocurrió el 16 de abril de 2016, este fue de Magnitud MW 7.9 devastador para la costa ecuatoriana.

1.1.1.1.2 SISMOS DE ORIGEN VOLCÁNICO

El Ecuador está situado en el cinturón circunpácifico, zona de alta sismicidad y alta actividad volcánica por lo que se la llama cinturón de fuego del Pacífico (Falconí, 2008), es una zona donde ocurren sismos de origen volcánico.

Los sismos producidos por volcanes en su mayoría son bajos y rápidos (Chiapas, 2012), ocurren muy cerca del volcán, son originados por el movimiento de los fluidos volcánicos, y raramente son dañinos pues su magnitud no suele sobrepasar de 4 (J.M. Ibáñez, 2000).

Existen tres tipos de sismos volcánicos: a) Volcano-Tectónico son el resultado de los fluidos en movimiento en ciertas zonas activas, generando fracturaciones y cambios de esfuerzos. b) Sismos de largo periodo son aquellos concebidos en lugares tales como grietas, cavidades, conductos donde los cambios de presiones de los fluidos generan resonancia. c) Tremores en el volcán, se dan por la persistente llegada de ondas lo que significa movimientos muy frecuentes que hacen vibrar continuamente el suelo (J.M. Ibáñez, 2000).

1.1.1.1.3 SISMOS ORIGINADOS EN LAS FALLAS

El Ecuador presenta una numerosa cantidad de fallas geológicas originadas por su cercanía a el fenómeno de subducción entre la placa de Nazca y la placa Continental, estas fallas son formadas por fracturas en los bloques generadas cuando la fuerza tectónica excede la resistencia de los materiales (INPRES, Instituto Nacional de

Prevención Sísmica, 2015), existen tres tipos de fallas a) Fallas Transcurrentes las cuales son fallas donde se dan movimientos horizontales en relación al plano b) Fallas Normales en donde se generan fuerzas de tensión perpendiculares con respecto al acimut de esta falla y el movimiento es vertical frente al plano de falla. (INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2015) c) Fallas Inversas en estas fallas de igual manera su movimiento es vertical con respecto al plano de falla pero sus fuerzas son de compresión.

Los sismos originados en fallas se generan por la energía acumulada en la corteza de tierra de los lados de una falla, que después se libera en forma de ondas, este fenómeno es causado por la fricción de la corteza, hasta que la presión sea tan grande que las rocas finalmente no soporten más y se desplacen bruscamente. (INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2015)

En la ciudad de Quito uno de los últimos sismos originados por la falla geológica de Quito fue el del día 12 de Agosto del 2014 de Magnitud MW 5.1, otro sismos importante originado de igual manera fue el de Agosto de 1990 de MW 5.3, sismos cuyos daños se resumen a destrucción de estructuras de adobe y algunas estructuras modernas (Yepes, 2014).

1.1.2 Sismos de diseño

Es de suma importancia el desempeño de las estructuras ante los diferentes tipos de eventos sísmicos que pudieran afectar la estructura, estos sismos pueden variar desde pequeñas a grandes magnitudes siendo los últimos los que tienen menor probabilidad de que ocurran durante la vida útil de la estructura (FALCONÍ, 2003).

Los sismos de análisis son el resultado de los estudios de peligrosidad sísmica, los cuales pueden ser obtenidos por métodos determinísticos o probabilísticos cuantificando sus parámetros, tales como velocidad desplazamiento, magnitud o intensidad (Falconí, 2008), los métodos determinísticos consideran que la historia sísmica de un lugar es repetitiva y de la misma forma cada determinado tiempo (Giner Caturra, 2011), el método probabilístico mide un sismo de mayores características que pueda ocurrir en una zona, en un periodo de tiempo, y que pueda exceder sus niveles de parámetros sísmicos (Aratirí, 2010).

Comite Visión 2000 propone la siguiente tabla para los sismos recomendados para las normas latinoamericanas.

Tabla 1 Tabla Comité Visión 2000

SISMO	VIDA UTIL T	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA P*	PERIODO MEDIO DE RETORNO, tr	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA, P1
FRECUENTE	30 AÑOS	50%	43 AÑOS	0.0231
OCASIONAL	50 AÑOS	50%	72 AÑOS	0.01386
RARO	50 AÑOS	10%	475 AÑOS	0.00211
MUY RARO	100 AÑOS	10%	970 AÑOS	0.00105

Fuente: Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconí, 2008, " ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS ", 1a EDICIÓN, Centro de Investigaciones Científicas, Ecuador, capitulo 2, página 32.

1.1.3 NORMAS SÍSMICAS APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN

La elaboración de normas sísmicas de construcción se basan en la sismicidad de la zona, en su economía, tecnología y recursos (Dávila, 2012), con estas normas técnicas se puede crear un nivel de confianza apropiado para que las estructuras puedan brindar seguridad al usuario según su nivel de importancia.

1.1.3.1 ASCE/SEI-7-10

La norma de Estados Unidos ASCE 7-10, diseñada por el Comité de Cargas Mínimas para Edificios y otras Estructuras de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE (ASCE, 2015).

Proporciona requisitos para el diseño estructural, determinación de cargas vivas, muertas, de suelo, inundaciones, nieve, lluvia, granizo, sismos y carga de viento con sus posibles combinaciones de carga las cuales son adoptadas con referencia en el Código internacional de la Construcción y el NFPA 5000 Código de Seguridad y Construcción de Edificios.

El ASCE/SEI - 7-10 es constantemente revisada y actualizada, he incluye comentarios explicativos que sirven para preparar y administrar códigos de construcción.

1.1.3.2 EUROCÓDIGO 8. DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES

El Eurocódigo es una conjunto de diez normas de Europa, conformadas desde el año de 1990 hasta el 1999 (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004), encargado por la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización.

El Eurocódigo proporciona métodos de diseño para poder realizar el cálculo de la resistencia mecánica de elementos estructurales, se rige en requisitos esenciales como son la resistencia y estabilidad, seguridad de uso, durabilidad, sirve como base para contratar obras de construcción y servicios ingenieriles y es la base para el diseño de las especificaciones técnicas para productos constructivos, (Fomento, 2015).

La norma tiene como objetivo eliminar las diferencias en los niveles de seguridad para la construcción en Europa, el EN Eurocódigo es una norma de referencia, pues cada estado miembro de la Unión Europea recibe el Eurocódigo y añade un anejo propio de cada nacionalidad.

El Eurocódigo 8 EN (1998), se refiere al diseño sísmico de estructuras parte del Eurocódigo, el cual se encuentra constantemente en un periodo de mejoramiento para implementar nuevos métodos y materiales en función de los requerimientos y necesidades actuales, (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004).

1.1.3.3 NORMA E.030. DISEÑO SISMO RESISTENTE. PERÚ.

La Norma Peruana de la construcción tiene sus inicios al año siguiente de que el ACI introduzca el diseño a rotura, en el año de 1970 después del sismo de Lima de 1966, se da la primera norma Peruana a nivel nacional, para después seguir la continuidad con la publicación de algunas normas en los años 1977, 1997 y sus actualizaciones en el año 2003. (Pozo, 2015).

Esta norma (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016) señala requerimientos mínimos para que las edificaciones diseñadas basadas en la norma tengan un comportamiento acorde con los puntos ya señalados en la norma, se aplica a edificaciones existentes, nuevas y para reparación de edificios dañados, (ICG, 2014).

La norma peruana tuvo una actualización en enero del 2016, con el decreto supremo que modifica la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismo resistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo n° 011-2006-vivienda, modificada con decreto supremo n° 002-2014-vivienda, esta modificación es el

Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

1.1.3.4 NCH433.OF1996. NORMA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN

La norma chilena de la construcción fue diseñada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, instituto que forma parte de la International Organization for Standardization y de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (INN, 1996).

La NCH 433 norma oficial, se dispuso y oficializó en el año de 1993, y tuvo una revisión en el año de 1996 donde se la declaró como Norma Chilena Oficial de la República de Chile (Instituto Nacional de Normalización INN, 1996).

Se realizó un decreto para la modificación sobre la Norma NCH 433 del año 1996, dispuesta por parte del Ministerio de vivienda y Urbanismo de Chile en el año 2010, después del sismo que ocurrió el 27 de febrero del mismo año, debido a que existió daños estructurales en un porcentaje superior al aceptable (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2011) este decreto es el N 117 y se lo publicó el 25 de marzo del 2011 por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Más tarde el 6 de diciembre del 2011 se aprueba el decreto N 61 que fija el diseño sísmico de edificios y deroga al decreto N 117 después de revisarlo, debido a que en la época la formulación de este contaba con información parcial de los efectos y las

causas del terremoto ocurrido el 27 de febrero del 2010, de esta manera ajustaron estándares y factores de seguridad del reglamento técnico.

En la norma están definidos los mínimos requerimientos sismo resistentes para diseñar edificios, al igual que de sus equipos y elementos secundarios. La norma de igual manera proporciona pautas para cuando exista daño por sismo y su respectiva reparación.

1.1.3.5 NEC SE DS NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC suscitada por la Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos del Ministerio de Desarrollo Urbana y Vivienda (MIDUVI), reemplaza al Código Ecuatoriano de la construcción CEC 2001 mejorando así los requerimientos mínimos de diseño que los códigos de la construcción tenían hasta esta fecha (MIDUVI, 2014).

El NEC SE DS es una actualización del NEC 11, y fue publicado oficialmente el 10 de Enero del 2015 por un acuerdo ministerial con el registro N 413, este contiene parámetros necesarios de diseño sismo resistente para las edificaciones, siendo así un compendio de requerimientos mínimos de diseño incluyendo evaluaciones y medidas para valorar los daños ocasionados por sismos en edificaciones, al igual que su posible reparación.

1.1.3.6 NSR-10. (2010). NORMA SISMO RESISTENTE DE COLOMBIA

La Norma Colombiana Sismo resistente fue por primera vez formalizada en el año de 1984 el 7 de julio tras un terrible sismo en Popayan el 31 de marzo de 1983, después en 1997 mediante una ley se reguló la norma sismo resistente llamándose NSR-98 (NSR-10, 2010).

Más tarde en los años 2000 y 2002 se hicieron nuevas regulaciones de la norma, para llegar al año de 2010 en el que se hicieron importantes modificaciones tomando de referencia algunas normas como la ACI y la ASCI de Estados Unidos.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 es el resultado de las reformas dadas en el año 2010, y define los diseños sismo resistentes de edificaciones mediante una serie de requerimientos mínimos necesarios para que la respuesta de estos respecto a un sismo sea aceptable (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

1.1.3.7 NZS 1170.5 NORMA DE NUEVA ZELANDA

La norma de Nueva Zelanda ha sido preparada por comité Técnico BD-006-04-11, y aprobadas y publicadas por el Consulado de Nueva Zelanda en Diciembre en el año de 2004 (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

Las normas de Nueva Zelanda fueron realizadas después de un sismo de 7.9 en la escala de Richter el 3 de febrero de 1931 causando mucha muerte y destrucción, las normas se realizaron para evitar que futuros sucesos de la misma naturaleza causen los mismos efectos, estas normas se las llamaron NZSS95 y fueron oficializadas en el año de 1935 (Zealand, 2015).

1.1.4 CONCEPTO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA

El espectro de respuesta es un gráfico donde se muestra las máximas respuestas que produce una acción dinámica determinada sobre un oscilador de un grado de libertad el cual consiste en una masa m donde se concentra toda la masa de la estructura, sostenida en un resorte carente de masa donde se concentra toda la rigidez k del sistema.

Estas máximas respuestas que gobiernan el diseño, pueden ser expresadas en parámetros como velocidad, desplazamiento, aceleración entre otros (Francisco Crisafulli, 2002); el espectro de respuesta es de gran utilidad para el análisis estructural bajo diferentes acciones dinámicas.

Para los gráficos de espectro de respuesta se representan las abscisas con el periodo o frecuencia de la estructura, y en el eje de las ordenadas las máximas respuestas expresadas en los parámetros antes mencionados calculadas para distintos factores de amortiguamiento (Francisco Crisafulli, 2002).

Para realizar el cálculo de las fuerzas sísmicas dentro del diseño de edificaciones se utilizan los espectros de respuesta, en función las características vibratorias de la estructura como son la rigidez, peso, altura entre otras, de igual importancia se toma en cuenta la actividad sísmica de la zona y el tipo de suelo sobre la que la edificación estará asentada (Arias, 1999).

$$\begin{aligned}
 S_d(\xi, T, p(t)) &= \max(|u(t, \xi, T)|) \\
 S_v(\xi, T, p(t)) &= \max(|\dot{u}(t, \xi, T)|) \\
 S_a(\xi, T, p(t)) &= \max(|\ddot{u}(t, \xi, T)|)
 \end{aligned}$$

Figura 4 Espectros de respuesta básicos (desplazamiento, velocidad y aceleración)

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9915/6/9589322581.2000.pdf>

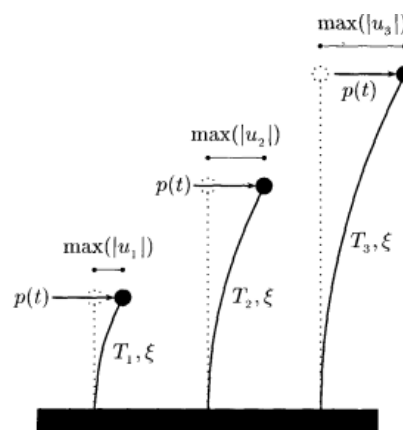


Figura 5 Cálculo de espectros de Respuestas de un sistema de un grado de libertad

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9915/6/9589322581.2000.pdf>

Para los sismos se tiene el espectro en función de sus respuestas máximas en términos de la aceleración absoluta

$$S_a(\xi, T, \ddot{u}_s(t)) = \max(|\ddot{u}_s(t) + \ddot{u}(t, \xi, T)|)$$

Figura 6 Ecuación Espectro de Aceleración en función de la aceleración Absoluta

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9915/6/9589322581.2000.pdf>

Debido a que $\ddot{u}_s(t) + \ddot{u}(t)$ es su aceleración total debido a que el sismo mueve la base del sistema como se observa en el siguiente gráfico:

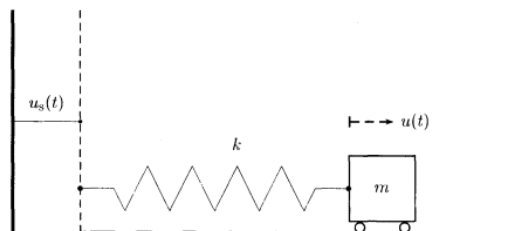


Figura 7 Acción sísmica horizontal

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9915/6/9589322581.2000.pdf>

Para los espectros de respuesta aplicados a las ingeniería civil se toma un amortiguamiento expresado en porcentaje del amortiguamiento crítico el cual corresponde a un movimiento sin vibración, este porcentaje se encuentra en alrededor del 5% para edificaciones.

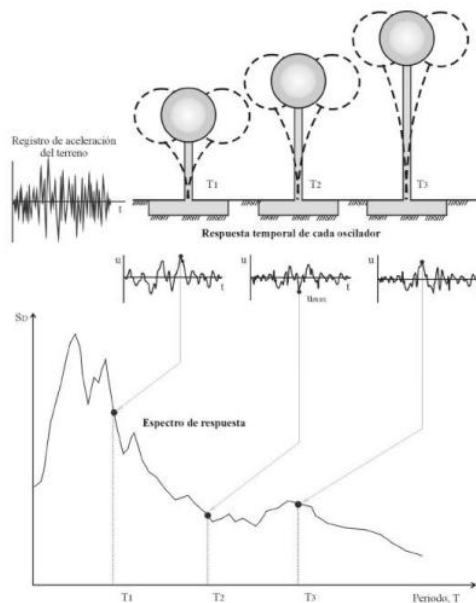


Figura 8 Espectro de Respuesta

Fuente: Francisco Crisafulli, E. V., 2002, "Espectros de Respuesta y de Diseño", 1ra Edición, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, capítulo 1, página 2.

1.1.4.1 TIPOS DE ESPECTROS DE RESPUESTA

Espectros de Respuesta Elástica

Los espectros de respuesta elástica representan parámetros de aceleraciones máximas de un sismo determinado, por los que suelen tener muchos picos y valles características propias de las aceleraciones en los sismos, consideran varias curvas con distintos amortiguamientos, son utilizados para determinar las características de los sismos y el efecto sobre las edificaciones (Francisco Crisafulli, 2002).

Espectros de Respuesta Inelásticos

Estos espectros trabajan en el rango no lineal, es decir supone que el sistema de un grado de libertad se comporta de una forma no lineal, son muy importantes para el diseño sismo resistente ya que las construcciones en su mayoría son diseñadas en el rango plástico por motivos de costos. Representan la ductilidad requerida debida a un sismo, en función del periodo de la estructura y se grafican con varios niveles de resistencia (Francisco Crisafulli, 2002).

Espectros de diseño

Debido a que los sismos suelen variar, se debe diseñar con los espectros de diseño que abarcan todos los sismos probables que se pueden dar en un sitio determinado. Son Espectros suavizados obtenidos mediante procesos de estadística.

1.1.5 DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DINÁMICO MODAL

El Análisis Dinámico Modal es el más utilizado en las normas de diseño sismo resistentes, una estructura puede vibrar en diferentes modos o formas frente a un sismo, por lo que puede deformarse y desplazarse de diferentes maneras, dependiendo de su elasticidad y rigidez, este método toma en cuenta los principales modos de vibración para determinar las fuerzas actuantes que podría tener la edificación durante una excitación sísmica. "Cada modo tiene además una deformada característica y una frecuencia de vibración asociada diferente" (Martinez, 2013), y conociendo el

desplazamiento que se diera en cada planta se puede obtener la fuerza equivalente que generaría la aceleración sísmica en la estructura.

1.1.6 INTEGRAL DE DUHAMEL

La integral de Duhamel es una expresión que permite calcular una respuesta general de una excitación dinámica aplicada a sistemas lineales.

Una carga dinámica cualquiera $p(t)$, en un sistema lineal se puede utilizar el principio de superposición, por lo que se descompondrá la carga en una serie de impulsos formados por el área sombreada y se sumarán los resultados, este impulso tendrá el intervalo de tiempo $(\mathcal{T}, \mathcal{T} + d\mathcal{T})$, cuando este impulso actúa sobre un cuerpo de masa m produce un momentum $d\mu$ que es igual a la masa m por el cambio de velocidad del cuerpo dv (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

$$p(t) = \frac{d\mu}{dt} = \frac{d}{dt} \left(m \frac{du}{dt} \right)$$

Ecuación 0-1

Este incremento de velocidad se agrega a la velocidad ya adquirida en el momento \mathcal{T} , por lo que según la segunda ley de Newton la derivada del momentum es igual a la fuerza aplicada $p(t)$ (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

En esta ecuación se desprecia k_u , porque el resorte tarde en su reacción, así cuando este ya reacciona la fuerza externa $p(t)$ ya ha desaparecido.

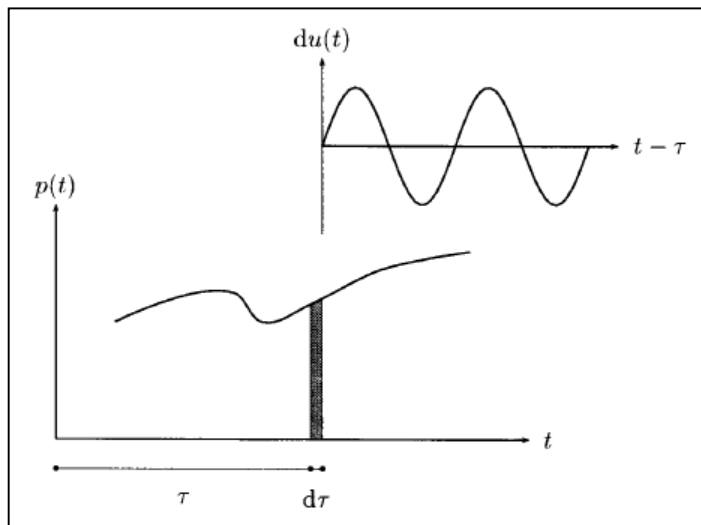


Figura 9 Deducción de la Integral de Duhamel

Fuente: Hurtado Gómez Jorge Eduardo, 2000, "Introducción a la Dinámica de estructuras", 1ra Edición, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia, capítulo 4 , página 48.

Por lo que la carga externa $p(t)$ solo aparece en un momento infitesimal, el incremento de la velocidad se lo considera como la velocidad inicial de la vibración libre que comienza en el instante $t - \mathcal{T}$ (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

Se utiliza la ecuación que representa la respuesta libre de un sistema sin amortiguación con condiciones desplazamiento y velocidad iniciales

$u = \text{desplazamiento}$

$\dot{u}_o = \text{velocidad}$

$\omega = \text{velocidad angular}$

$$u = \frac{\dot{u}_o}{\omega} \sin \omega t + u_o \cos \omega t$$

Ecuación 0-2

y cuando $u_0 \equiv 0$

$$\dot{u}_0 \equiv du = \frac{p(\mathcal{T})d\mathcal{T}}{m}$$

Ecuación 0-3

Por lo que el desplazamiento producido en un instante t cualquiera

$$du = \frac{p(\mathcal{T})d(\mathcal{T})}{m\omega} \sin\omega(t - \mathcal{T})$$

Ecuación 0-4

Por ser un sistema lineal se suma los impulsos $p(t)$

$$u(t) = \int_0^t \frac{p(\mathcal{T})}{m\omega} \sin\omega(t - \mathcal{T})d\mathcal{T}$$

Ecuación 0-5

Siendo esta solución la Integrada de Duhamel propiamente dicha, en donde se toman las condiciones iniciales $t = 0$ como nulas (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

En el caso en el que $u_0 \neq 0$ y $\dot{u}_0 \neq 0$, la respuesta está dada por la suma de la ecuación (2) y la ecuación (5) (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

$$u(t) = \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega t + u_0 \cos \omega t + \int_0^t \frac{p(\mathcal{T})}{m\omega} \sin\omega(t - \mathcal{T})d\mathcal{T}$$

Ecuación 0-6

La respuesta general cuando se toma en cuenta una fracción de amortiguamiento viscoso ξ en un sistema el resultado se forma de igual manera (Hurtado Gómez, Jorge Eduardo, 2000).

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left(\frac{\dot{u}_o + u_o \xi \omega}{\omega_a} \sin \omega t + u_o \cos \omega_a t \right) + \int_0^t \frac{p(\mathcal{T})}{m\omega} e^{-\xi\omega(t-\mathcal{T})} \sin \omega_a(t-\mathcal{T}) d\mathcal{T}$$

Ecuación 0-7

1.1.7 TIPOS DE SUELO Y EFECTOS EN EL ESPECTRO

El suelo influye directamente en los espectros de diseño dependiendo si la estructura se encuentra situada sobre roca, suelo firme o suelo blando debido a que la respuesta dinámica del suelo es distinta en cada caso.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la bondad y racionalidad técnica de los espectros de diseño propuestos por la NEC-SE-DS con base en un estudio comparativo con otras normas internacionales.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir y conceptualizar que es un espectro de diseño sísmico.
- Realizar la comparación de espectros para las diferentes normas y diferentes tipos de suelo.

1.2.3 ALCANCE (REFERIDO AL NUMERAL 8)

Los resultados serán obtenidos en base a las normas:

- ASCE/SEI-7-10
- Euro código 8. Diseño de Estructuras Sismo resistentes
- Norma E.030. Diseño Sismo resistente. Perú.
- NCH433.Of1996. Norma Chilena de la Construcción
- NEC SE DS Norma Ecuatoriana de la construcción
- NSR-10. (2010). Norma Sismo Resistente de Colombia
- NZS 1170.5 Norma de Nueva Zelanda

Se obtendrá el espectro de respuesta en base a los suelos de tipo A, B, C, D y E para zona 4.

1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La dinámica estructural, hoy en día ocupa los espectros para diseño sísmico como una herramienta para el cálculo y análisis de estructuras sismo resistentes.

Ecuador se encuentra en una zona sísmica, y su progresivo incremento en el sector constructivo son factores que demandan diseños de estructuras con mayor detalle sismo resistente, motivo por el cual se propone comparar los espectros de respuesta obtenidos en el NEC-SE-DS, con otras normas internacionales, con el fin de verificar que los espectros de respuesta del NEC-SE-DS sean razonables a la realidad de nuestro país.

Es necesario el Análisis Sismo Resistente para el diseño de estructuras, utilizando espectros de diseño sísmico, las estructuras deben ser óptimas y seguras, para lo cual se estudiará y comparará los espectros de respuesta obtenidos con el NEC-SE-DS con otras normas internacionales, y así comprobar que la norma NEC-SE-DS sea la apropiada para estos requerimientos.

CAPÍTULO II

1.4 DESARROLLO DE LOS DIFERENTE ESPECTROS

1.4.1 ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Los mapas de zonificación sísmica pueden ser realizados en base de algunos métodos, como son los mapas de isosistas, gráficamente una manera de representar curvas con un mismo nivel de intensidad de un evento pasado particular.

También se puede realizar mapas de zonificación sísmica mediante los mapas sismo tectónicos teniendo datos tectónicos, geológicos, geofísicos, geotécnicos y sísmicos, pero con estos no se puede obtener fuerzas para diseñar sísmicamente, por lo que no es un método utilizado para ingeniería sismo resistente (Falconí, 2008).

El procedimiento más utilizado es el método probabilístico el cual se basa en construcción de espectros de aceleración elásticos en suelos de tipo roca, en base a aceleraciones máximas las cuales provienen de mapas de regionalización sísmica conseguidos en curvas de aceleración para una probabilidad de excedencia de diez por ciento y una vida útil de cincuenta años (Falconí, 2008).

Para el Ecuador el mapa de zonificación del NEC NS DS, se obtuvo mediante un estudio de peligro sísmico actualizado al 2011 tomando en cuenta los factores del territorio ecuatoriano como origen de los sismos, además de criterios de uniformidad de peligro en algunas zonas del país, ciudades importantes, irregularidad en curvas de

definición de zonas sísmicas, suavizado de inter- zonas y también toma en cuenta los mapas de peligro sísmico de Perú y Colombia.

1.4.1.1 NEC NS DS

El mapa de zonificación sísmica para Ecuador ha sido realizado en base al peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años, 10% de excedencia en 50 años, una saturación a 0.5 g de aceleración sísmica en roca en la zona VI perteneciente al litoral. (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014)

El valor Z especificado en la tabla en el numeral 1.4.3.1, en el mapa es la aceleración máxima esperada en roca para los sismos de diseño, y es una fracción de la gravedad.

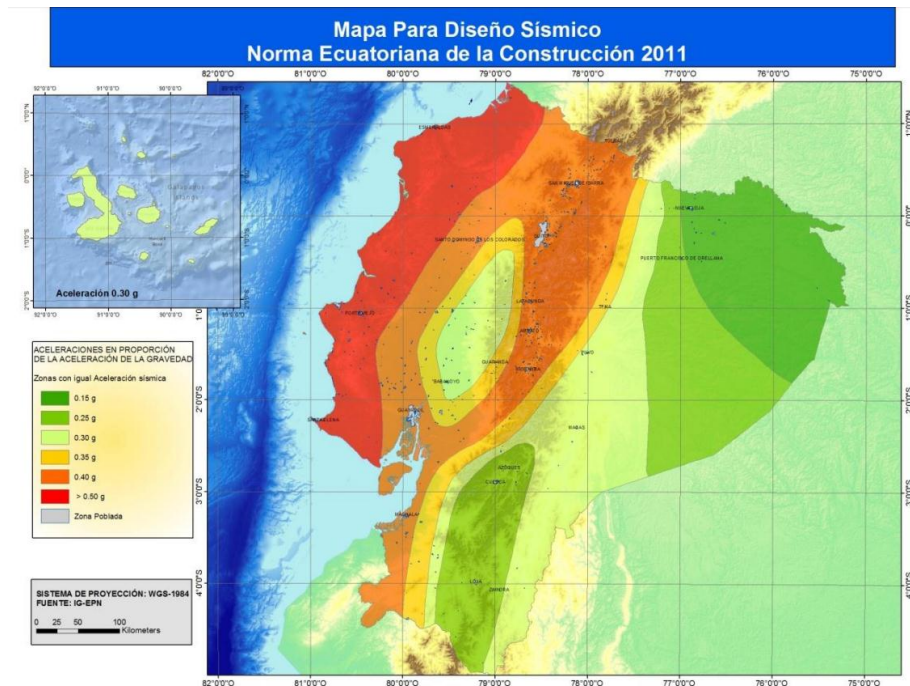


Figura 10 Mapa de zonas sísmicas de diseño del Ecuador y valor del factor de zona Z

Fuente: Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014, “CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE”, NEC NS DS, Ecuador, capítulo 2, página 27.

1.4.1.2 ASCE/SEI-7-10

En la norma ASCE 7, se han calculado parámetros de aceleración (MCER) del sismo máximo considerado con riesgo ajustado, los parámetros S1 y SS para todo el territorio de Estados Unidos determinados con las aceleraciones del espectro de respuesta a un periodo de 0.2 y 1 s respectivamente y con un amortiguamiento del 5% en suelo B, mostrados detalladamente en mapas en el capítulo 22, incluso para otras partes del mundo, de igual manera se encuentran otros parámetros de diseño de aceleración tales como coeficientes de riesgo CRS y CR1 para un periodo de 0.2 y 1 s

respectivamente en suelo B, también los periodos largos de transición TL. (ASCE, 2015)

También se puede encontrar desde las figuras 22-7 hasta las figuras 22-11 la media geométrica de la máxima aceleración considerando sismo expresada en porcentaje de gravedad (g) y en suelo tipo B. (ASCE, 2015)

Estos mapas los realiza la United States Geological Survey (USGS) y además de la norma se los puede encontrar en la página <http://earthquake.usgs.gov/designmaps>.

1.4.1.3 EUROCODIGO 8

En esta norma se dividen los territorios en zonas sísmicas, asumiéndose constantes en cada zona y dependiendo del peligro sísmico de cada una.

En la mayor parte de las aplicaciones del Eurocódigo se describe el peligro en función del parámetro a_{gR} (valor de la aceleración máxima del terreno) en suelo tipo A (1.4.2.3), para cada país puede existir un anexo propio de un mapa de zonificación sísmica.

Los valores recomendados por la norma de PNCR (Probabilidad de Excedencia de Referencia) de un 10% y TNCR (Periodo de Retorno de Referencia) de 475 años, se pueden encontrar en los anexos propios de cada país (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004).

Esta aceleración máxima del terreno a_{gR} corresponden al TNCR de acción sísmica para el requisito de No-colapso, también equivale al PNCR en 50 años γ_I (Factor de importancia) será igual a 1.

Para periodos de referencia distintos al de los recomendados por la norma, la aceleración de diseño en suelo tipo A $a_g = \gamma_I * a_{gR}$. (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004)

1.4.1.4 NORMA PERUANA E.030 - DISEÑO SISMO RESISTENTE

La norma divide al territorio peruano en tres zonas, basada en la distribución, las características y la atenuación epicentral de los sismos observados, en cada zona hay un factor z que es la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido, este factor es distinto en cada zona y tiene una probabilidad del 10% de que se exceda en 50 años (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

La tabla que describe el factor z según las zonas se la podrá observar en el numeral 1.4.3.4.

1.4.1.5 NCH 433, OF. 1996, MOD. 2009

En la norma chilena las zonas sísmicas se dividen en tres 1, 2, 3, siendo la 1 la zona de menor aceleración efectiva A_0 , de igual manera la norma chilena cuenta con un valor

Z de zonificación sísmica (Instituto Nacional de Normalización INN, 1996), detallados en el numeral 1.4.2.5.

1.4.1.6 NSR-10-DECRETO 20, MOD. 2010

Para la norma colombiana las zonas de peligro sísmico se dividen en zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño baja, intermedia y alta.

A estas zonas les da diferentes valores de aceleraciones pico horizontales A_a y valores de velocidad pico horizontales A_v como se describe en la siguiente tabla tomada de la norma NSR-10.

Tabla 2 Aceleración

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-15.

Esta tabla está basada en los dos mapas de Colombia que se puede encontrar en la norma NSR-10 Mapa de valores de Aa (Figura A.2.3-2) y Mapa de valores de Av (Figura A.2.3-3).

1.4.1.7 NZS1170.5 (2004) NORMA DE NUEVA ZELANDA

En esta norma se utiliza el factor de riesgo "Z", el cual varía desde 0.13 como mínimo hasta un 0.60 dependiendo de la localización, la norma consta de tablas y mapas muy bien detallados para encontrar el factor en cada lugar, si el lugar se encuentra entre dos

puntos de referencia la norma recomienda interpolar (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

1.4.2 TIPOS DE SUELO

1.4.2.1 NORMA NEC SE DS

Para la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC SE DS se define 5 tipos de suelo:

Tabla 3 Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$; $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$; 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente 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 blanda (H>30)
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 velocidad de ondas de corte.
F6_Rellenos colocados sin control ingenieril.

Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 29.

1.4.2.2 ASCE/SEI-7-10

En la norma de Estados Unidos, se puede encontrar la clasificación de suelos bien detallada en el capítulo 20 del ASCE/SEI -7, donde divide en 6 tipos de suelos descritos en la siguiente tabla según los siguientes parámetros:

\bar{V}_s : Velocidad de Propagación de onda

\bar{N} : Promedio de la resistencia a la penetración estándar en campo

\bar{N}_{ch} : Promedio de la resistencia a la penetración estándar en campo para capas de suelos de baja cohesión.

\bar{S}_u : Resistencia al corte del suelo en condición no drenado

Tabla 4 Clasificación de suelos ASCE/SEI-7

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASE DE SUELOS	V_s	\bar{N}_o \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u
A. ROCA DURA	>5000ft/s (1524m/s)	NA	NA
B. ROCA	2500 a 5000 ft/s (762 a 1524 m/s)	NA	NA
C. SUELO MUY DENSO Y ROCA SUAVE	1200 a 2500 ft/s (365.76 a 762 m/s)	>50	>2000 psf (95,76kN/m ²)
D. SUELO RÍGIDO	600 a 1200 ft/s (182.88 a 365,76 m/s)	15 A 50	1000 a 2000 psf (47,88 a 95,76kN/m ²)
E. SUELO BLANDO Y ARCILLOSO	<600 ft/s (182,88 m/s)	<15	<1000psf (47,88 kN/m ²)
Cualquier perfil de suelo que tenga más de 3m de las siguientes características:			
Índice Plástico PI >20			
Contenido de Humedad $w \geq 40\%$			
Resistencia al corte no drenado $\bar{S}_u < 500$ psf (23,94 kN/m ²)			
F. SUELOS QUE REQUIEREN UN ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO, DE ACUERDO CON LA SECCIÓN 21.1	SECCIÓN 20.3.1		

Fuente: ASCE/SEI 7-10, 2010, " Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers, USA, capítulo 20, página 204. Traducido por María Cristina Noriega.

1.4.2.3 EURO CÓDIGO 8. DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES

En el Eurocódigo se pueden encontrar siete tipos de perfiles de suelo A, B, C, D, E, S1 y S2 que se clasifican según los parámetros V_s , \bar{N}_o (Velocidad promedio de onda

de corte), NSPT (Ensayo de penetración de campo), Cu (Resistencia al corte en condición no drenada).

El sitio debería clasificarse en función de su velocidad promedio de onda de corte $V_{s,30}$ si fuera posible, de otra forma deberá usarse el NSPT.

Se debe tomar especial atención para los suelos tipo S1 y particularmente para el suelo S2 ya que estos suelos tienen la posibilidad de fallar bajo una acción sísmica.

Tabla 5 Tipos de Suelo del Eurocódigo 8

Tipo de Suelo	Descripción del perfil Estratigráfico	Parámetros		
		$V_{s,30}$ (m/s)	NSPT (golpes/30cm)	Cu(kPa)
A	Roca u otro tipo de formación geológica como roca, que comprende como máximo 5 m de material blando en la superficie	>800		
B	Depósitos de arena muy densa, de algunas decenas de metros de espesor, caracterizados por un incremento de las propiedades mecánicas con la profundidad	360-800	>50	>250
C	Depósitos profundos de arena densa o arena de densidad media, grava o arcilla dura, con un espesor de algunas decenas a algunas centenas de metros	180-360	15-50	70-250
D	Depósitos de suelo suelto a suelo de media baja cohesión (con o sin algunas capas de suelo suave cohesivo), o con suelo cohesivo predominante suave a firme	<180	<15	<70

E	Perfil de suelo que consiste en un aluvión como superficie con una V_s del tipo de suelo de C o D, y un espesor variable entre 5 m y 20 m, sustentada por un material más rígido de $v_s > 800$ m/s			
S1	Depósitos que consistan o contengan una capa de al menos 10 m de espesor, de arcillas blandas/limos con un alto índice plástico ($PI > 40$) y un alto contenido de humedad	<100 (Indicativo)		10-20
S2	Depósitos de suelos licuables, de arcillas sensibles, o de cualquier perfil no incluido en los tipos A - E o S1			

Fuente: Eurocode-8, 2004, "Design of structures for earthquake resistance, Part 1", EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, capítulo 3, página 34. Traducido por María Cristina Noriega Vega

1.4.2.4 NORMA E.030. DISEÑO SISMO RESISTENTE. PERÚ.

Para la norma peruana los suelos se clasifican en cinco tipos:

SUELOS PERFIL TIPO S0

Este tipo de perfil está representado por roca sana, tienen una velocidad de onda de corte \bar{V}_s mayor a 1500 m/s (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

SUELOS MUY RÍGIDOS S1

Estos suelos son suelos con diferente grado de fracturación, son macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidad de propagación de onda de corte \bar{V}_s entre 500 m/s y 1500 m/s (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

Se consideran suelos S1:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5kg/cm²).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.
- Arcilla compacta de un espesor menor que 20 m, con una resistencia al corte no drenado \bar{S}_u mayor que 100 kPa (1kg/cm²) y un incremento gradual con la profundidad de las propiedades mecánicas.

SUELOS INTERMEDIOS S2

Estos son suelos medianamente rígidos con una \bar{V}_s entre 180 m/s y 500 m/s (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

Se consideran suelos tipo S2:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medio densa, con un \bar{N}_{60} (Ensayo de penetración estándar) entre 15-60.
- Suelo cohesivo y compacto con un \bar{S}_u entre 50 kPa y 100 kPa, y un incremento gradual con la profundidad de las propiedades mecánicas.

SUELOS FLEXIBLES O CON ESTRATOS DE GRAN ESPESOR S3

Estos suelos tienen velocidad de propagación de onda \bar{V}_s menor o igual a 180 m/s (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

Se consideran suelos tipo S3:

- Arena mediana fina, grava arenosa con valores del \bar{N}_{60} (Ensayo de penetración estándar) menor que 15.
- Suelo cohesivo blando con un \bar{S}_u entre 25 kPa a 50 kPa y con un incremento gradual con la profundidad de las propiedades mecánicas.
- Cualquier perfil que no corresponda al perfil s4 y que tenga mas de 3m en espesor de perfil de suelo con un IP mayor que 20, contenido de humedad mayor al 40 %, \bar{S}_u menor que 25 kPa.

CONDICIONES EXCEPCIONALES S4

A este grupo pertenecen los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables y requiere un estudio específico para el sitio.

Este tipo de perfil de suelo será determinado por un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 6 Clasificación de los perfiles de suelo Norma E.030

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S ₀	>1500 m/s		
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S2	800 m/s a 500 m/s	15 a 50	50kPa a 100 kPa
S3	<180 m/s	<15	25kPa a 50 kPa
S4	Clasificación Basada en el EMS		

Fuente: NORMA PERUANA E.030, 2016, " DISEÑO SISMO RESISTENTE ", Decreto Supremo N° 003-201, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, capítulo 2, página 576296.

1.4.2.5 NCH433.OF1996. NORMA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN

Según el decreto No 61 de la norma chilena los suelos se clasifican en seis tipos como esta en la siguiente tabla.

Tabla 7 Clasificación de los suelos de la norma NCH433 de Chile

Suelo Tipo		VS30 (m/s)	RQD	qu (Mpa)	(N1) (golpes/pie)	Su (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 mediana	< 180			≥ 20	< 0.05
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

N1: Índice de penetración estándar normalizado por presión de confinamiento de 0.1 MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas.

RQD: Rock Quality Designation, según norma ASTM D 6032

qu: Resistencia a la compresión simple del suelo

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

Su: Resistencia al corte no-drenada del suelo

Fuente: NORMA CHILENA OFICIAL NCh 433-Decreto 61, 2011, " DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS-Aclaración ", Instituto Nacional de Normalización-INN, Chile, artículo 6

1.4.2.6 NSR-10. (2010). NORMA SISMO RESISTENTE DE COLOMBIA

Para Colombia la norma a designado cinco tipos de suelo los cuales se describen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 8 Clasificación de los suelos Norma NSR-10

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{S}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla con el criterio de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F — 1 Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F — 2 Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F — 3 Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con Índice de Plasticidad $IP > 75$)</p> <p>F — 4 Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36 \text{ m}$)</p>	

Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-22.

1.4.2.7 NZS 1170.5 Norma de Nueva Zelanda

En la norma NZS1170.5s1.2004 de Nueva Zelanda divide el suelo en cinco clases del A hasta el descritos a continuación.

Suelo clase A – Roca Dura

El suelo de clase A se define como suelo de roca dura a roca extremadamente dura con:

- Esfuerzo a la compresión a suelos no confinados mayor a 50 MPa; y
- Un promedio de velocidad de onda de corte en un estrato de más de 30 m mayor a los 1500 m/s, y
- No estar sobre materiales con un esfuerzo de compresión menor a 18 MPa o con una velocidad de onda de corte menor a 600 m/s (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

Suelo Clase B – Roca

El suelo B se define como roca cuando:

- Esfuerzo a la compresión entre 1 y 50 MPa, y
- Un promedio de velocidad de onda de corte en un estrato de más de 30 m de 360 m/s; y
- No estar sobre materiales con un esfuerzo de compresión menor a 0.8 MPa o con una velocidad de onda de corte menor a 300 m/s (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

Podría estar presente una capa de material con un esfuerzo a la compresión menor a 1 MPa de no más de 3 m de profundidad.

Suelo Clase C – Suelos Superficiales

El suelo C se define como:

- No es suelo de clase A, clase B o clase E; y
- Donde el periodo natural de baja amplitud es menor a 0.6 s; o
- Aquellos suelos que no sobrepasen la profundidad detallada en la tabla 3.2 (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

El periodo natural de baja amplitud podrá ser calculado como cuatro veces el tiempo que demora en viajar la onda de corte desde la superficie de la roca.

Suelo Clase D – Suelos profundos o suelos blandos

El suelo D se define como:

- No es suelo de clase A, clase B o clase E; y
- Donde el periodo natural de baja amplitud es mayor a 0.6 s; o
- Aquellos suelos que sobrepasen la profundidad detallada en la tabla 3.2.
- Aquellos que estén sobre menos de 10 m de suelos con una resistencia al corte no drenado menor a 12.5 kPa o suelos con valores del NSPT menor a 6 (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

Suelo Clase E – Suelos muy blandos

El suelo E se define como:

- Más de 10 m de suelos muy blandos con una resistencia al corte no drenado menor a 12.5 kPa; o
- Más de 10 m de suelos con valores del NSPT menores a 6; o
- Más de 10 m de profundidad de suelos con velocidades de onda de corte de 150 m/s o menos; o
- Más de 10 m de profundidad de suelos combinados como los descritos en los literales a, b o c (Technical Committee BO-006-04-11, 2004).

Tabla 9 Tabla 3.2 de límites máximos de profundidad para los suelos de clase C (Norma NZS1170.5)

Tipo de suelo y descripción		Profundidad máxima del suelo (m)
Suelo Cohesivo	Resistencias representativas al corte no drenado (kPa)	
Muy blando	< 12.5	0
Blando	12.5-25	20
Firme	25-50	25
Rígido	50-100	40
Muy rígido o duro	100-200	60
Suelo de baja cohesión	Valores Representativos del NSPT	
Muy suelto	<6	0
Suelto seco	6-10	40
Densidad media	10-30	45
Denso	30-50	55
Muy Denso	>50	60
Gravas	>30	100

Fuente: Norma de Nueva Zelanda NZS1170.5, 2004, " Structural Design Actions- Part 5: Earthquake actions ", Technical Committee BD-006-04-11, Wellington, capítulo 3, página 14. Traducido por María Cristina Noriega Vega

1.4.3 FACTORES DE SITIO

1.4.3.1 NEC NS DS

Para la norma Nec NS DS los factores z determinados se describen en la siguiente tabla:

Tabla 10 Valores de Z en función de la zona sísmica adoptada

NEC-SE-DS	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 27.

1.4.3.2 ASCE/SEI-7-10

En la norma ASCE/SEI-7-10 se ha determinado factores de sitio para cada lugar de Estados Unidos y para muchas partes del mundo, incluido el Ecuador, en el mapa en el cual podemos extraer los factores S_s y S₁ para 0.2 s y 1 s respectivamente expuestos en el numeral 1.4.1.2.

Estos mapas los realiza la United States Geological Survey (USGS) y además de la norma se los puede encontrar en la página <http://earthquake.usgs.gov/designmaps>.

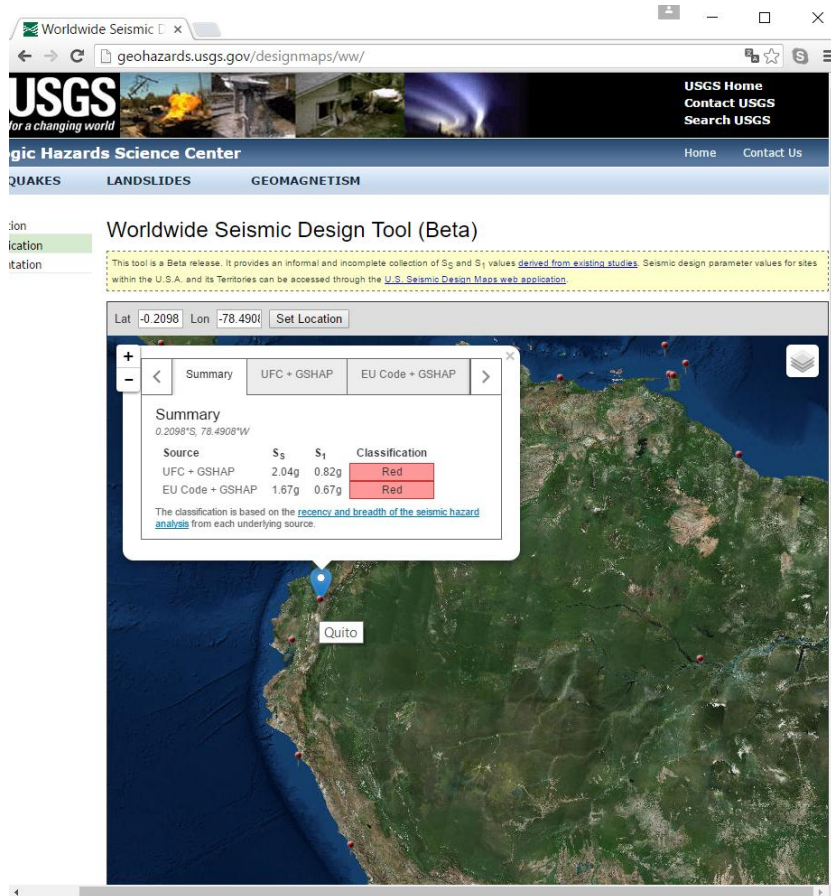


Figura 11 Factores S_1 y S_s para Quito-Ecuador según el ASCE/SEI-7-10

Fuente: USGS <http://geohazards.usgs.gov/designmaps/ww/>

1.4.3.3 EUROCODIGO 8

Para el Eurocódigo 8, especifica que existe un anexo de parámetro agR (valor de la aceleración máxima del terreno) en suelo tipo A y zonificación sísmica de cada país, dependiendo de su situación geográfica y peligro sísmico propio de cada zona.

Para los países de baja sismicidad se puede encontrar una selección de tipo de estructuras, de suelo y zona sísmicas propias en sus anexos nacionales, de igual forma

la norma recomienda en zonas de baja sismicidad que la aceleración de diseño a_g no sea mayor de 0.08 g o que en los casos de $a_g \cdot S$ no sea mayor de 0.1g (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004).

Para los países de muy baja sismicidad las observaciones de la norma no se tomarán en cuenta, se toma a estas zonas de muy baja sismicidad cuando a_g no sea mayor de 0.04 g o que en los casos de $a_g \cdot S$ no sea mayor de 0.05g. (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004).

Las capas de suelo entre la roca y el nivel de cimentación modifican la forma y la amplitud del espectro elástico de diseño establecido en la roca madre, por lo que el parámetro de suelo S influye, los sitios son clasificados como los tipos A, B, C, D y E descritos en 2.1.2.3 para lo que se asigna un valor S para cada uno de estos sitios (Arcelor Mittal, 2004).

Para el Eurocódigo según la geología y la geografía pueden ocurrir sismos de mayor o menor magnitud para las diferentes zonas, por lo que las ondas de propagación generarán diferentes resultados, lo cual significa que los espectros de diseño van a diferir según el tipo 1, donde se considerará que los sismos serán suficientemente fuertes ($M_w \geq 5.5$) para generar aceleraciones significantes contribuyendo más al espectro elástico de respuesta, o según el tipo 2 donde los sismos serán de una magnitud $M_w < 5.5$ contribuyendo menos para el espectro elástico de respuesta (Arcelor Mittal, 2004).

Tabla 11 Valores de los parámetros S , T_B , T_C , T_D que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2.

Suelo	Sismo tipo 1				Sismo tipo 2			
	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A Roca u otro tipo de formación geológica como roca, que comprende como máximo 5 m de material blando en la superficie	1.00	0.15	0.40	2.00	1.00	0.05	0.25	1.20
B Depósitos de arena muy densa, de algunas decenas de metros de espesor, caracterizados por un incremento de las propiedades mecánicas con la profundidad	1.20	0.15	0.50	2.00	1.35	0.05	0.25	1.20
C Depósitos profundos de arena densa o arena de densidad media, grava o arcilla dura, con un espesor de algunas decenas a algunas centenas de metros	1.15	0.20	0.60	2.00	1.50	0.10	0.25	1.20
D Depósitos de suelo suelto a suelo de media baja cohesión (con o sin algunas capas de suelo suave cohesivo), o con suelo cohesivo predominante suave a firme	1.35	0.20	0.80	2.00	1.80	0.10	0.30	1.20
E Perfil de suelo que consiste en un aluvión como superficie con una V_s del tipo de suelo de C o D, y un espesor variable entre 5 m y 20 m, sustentada por un material más rígido de $v_s > 800$ m/s	1.40	0.15	0.50	2.00	1.60	0.05	0.25	1.20
F Depósitos que consistan o contengan una capa de al menos 10 m de espesor, de arcillas blandas/limos con un alto índice plástico ($PI > 40$) y un alto contenido de humedad	Estudios Especiales							
G Depósitos de suelos licuables, de arcillas sensibles, o de cualquier perfil no incluido en los tipos A - E o S1	Estudios Especiales							

Fuente: Long Carbon Europe Sections and Merchant Bars, 2004, "Earthquake Resistant Steel Structures", ArcelorMittal, Luxemburgo, capítulo 4, página 18, Traducido por María Cristina Noriega Vega

1.4.3.4 NORMA PERUANA E.030 - DISEÑO SISMO RESISTENTE

La norma Peruana ha dividido sus zonas en cuatro, cada una con un factor de Zona Z expresado en gravedad.

Tabla 12 Factor Z Norma del Perú

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

Fuente: NORMA PERUANA E.030, 2016, " DISEÑO SISMO RESISTENTE ", Decreto Supremo N° 003-201, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, capítulo 2, página 576295.

1.4.3.5 NCH 433, OF. 1996, MOD. 2009

La norma chilena en el Decreto 61 del año 2011 divide en 4 zonas a Chile, cada una con una aceleración efectiva A_0 .

Tabla 13 Aceleración Efectiva A_0

Zona Sísmica	A_0
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

Fuente: NORMA CHILENA OFICIAL NCh 433-Of96, mod.2009, 2009, " DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS ", Instituto Nacional de Normalización-INN, Chile, capítulo 6, página 30

1.4.3.6 NSR-10-DECRETO 20, MOD. 2010

Para la NSR-10 se tienen los valores A_a y A_v según la región especificada en las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 que se encuentran en la norma.

Figura 12 Valores de A_a y de A_v , según las regiones De los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3

Región N°	Valor de A_a o de A_v
10	0.5
9	0.45
8	0.4
7	0.35
6	0.3
5	0.25
4	0.2
3	0.15
2	0.1
1	0.05

Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-16.

1.4.3.7 NZS1170.5 (2004) NORMA DE NUEVA ZELANDA

Para la norma de Nueva Zelanda se utiliza el factor de riesgo “Z”, el cual varía desde 0.13 como mínimo hasta un 0.60 dependiendo de la localización, cada ciudad tiene su factor cuyo valor está determinado en la tabla 3.3, la figura 3.3, y la figura 3.4, desde la página 15 hasta la página 19 de la norma NZS1170.5 (2004).

1.4.4 PARÁMETROS DE ACELERACIONES ESPECTRALES PARA DISEÑO

1.4.4.1 NEC NS DS

Según la zona sísmica y el factor Z se determinan los parámetros Fa, Fd y Fs para todos los suelos excepto para el suelo F que requiere un estudio especial (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014).

Fa es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto, los valores de Fa amplifican las ordenadas del espectro elástico de aceleraciones en roca, con los efectos de sitio (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014).

Figura 13 Tipo de Suelo y Factores Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 31.

Fd es un factor que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, con los efectos de sitio (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 14 Tipo de Suelo y Factores Fd

Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 31.

Factor F_s el cual toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos, el contenido de frecuencia del movimiento sísmico, la degradación del periodo de sitio que depende de la intensidad del movimiento sísmico además de los desplazamientos relativos del suelo (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 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
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 15 F_s - Tipo de Suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo

Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 32.

1.4.4.2 ASCE/SEI-7-10

Para la norma norteamericana ASCE/SEI-7-10 los parámetros de aceleración y los coeficientes de sitio se encuentran publicados en la norma, al igual que en la página de la USGS donde se encuentran los parámetros S_s y S_1 de acuerdo a lo descrito en 2.1.3.2.

Los Parámetros de aceleración (MCER) dirigido al riesgo del mayor sismo considerado, de corto periodo (SMS) y de 1s (SM1) ajustados para los efectos de sitio son obtenidos mediante las siguientes formulas:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

Ecuación 0-1

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Ecuación 0-2

Donde F_a y F_v son obtenidos mediante las siguientes tablas:

Tabla 14 Coeficiente de sitio F_a

Coeficiente de Sitio, F_a					
Parámetros del espectro de respuesta de aceleraciones a periodo corto, asignados y dirigidos al riesgo de sismo máximo considerado (MCER).					
Clase de sitio	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Ver sección 11.4.7				

Nota: Utilizar interpolación de línea directa para intermediar valores de S_s

Fuente: ASCE/SEI 7-10, 2010, " Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers, USA, capítulo 11, página 60. Traducido por María Cristina Noriega.

Tabla 15 Coeficientes de sitio Fv

Coeficiente de Sitio, Fv					
Parámetros del espectro de respuesta de aceleraciones a periodo de 1 s, asignados y dirigidos al riesgo de sismo máximo considerado (MCER).					
Clase de sitio	S1≤0.1	S1=0.2	S1=0.3	S1=0.4	S1≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Ver sección 11.4.7				

Nota: Utilizar interpolación de línea directa para intermediar valores de S1

Fuente: ASCE/SEI 7-10, 2010, " Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers, USA, capítulo 11, página 60. Traducido por María Cristina Noriega.

Los parámetros de diseños SDS y SD1 para periodos cortos y periodo igual a 1s respectivamente se debe determinar con las siguientes ecuaciones:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

Ecuación 0-3

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Ecuación 0-4

1.4.4.3 EUROCODIGO 8

Para el Eurocódigo, la aceleración a_{gR} que es la aceleración PGA (aceleración pico del suelo), depende de la zona sísmica como se ha especificado en 2.1.3.3 y en 2.1.1.3, además que cada país tiene su propio anejo delimitando cada zona con su propia a_g .

El a_g es la aceleración de diseño en suelo tipo A y es igual $a_g = \gamma_I * a_{gR}$, donde γ_I (Factor de Importancia) (CEN (Comité Europeo de Normalización), 2004).

Tabla 16 Valores recomendados para γ_I (EN1998-1:2004)

Clase de Importancia	Estructuras	γ_I
I	Estructuras de menor importancia para la seguridad pública, por ejemplo edificios agrícolas	0.8
II	Estructuras ordinarias que no pertenecen a otras categorías.	1.0
III	Estructuras cuya resistencia sísmica es importante en vista de las consecuencias del colapso, por ejemplo escuelas, salas de reuniones, instituciones culturales, etc.	1.2
IV	Estructuras cuya integridad durante un sismo es de vital importancia para la protección civil, por ejemplo hospitales, estaciones de bomberos, plantas de energía, etc.	1.4

Fuente: Long Carbon Europe Sections and Merchant Bars, 2004, "Earthquake Resistant Steel Structures", ArcelorMittal, Luxemburgo, capítulo 4, página 16, Traducido por María Cristina Noriega Vega

1.4.4.4 NORMA PERUANA E.030 - DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según el tipo de suelo y los factores de zona la norma peruana obtiene la tabla de los parámetros S y los periodos TP y TL

Tabla 17 FACTOR DE SUELO "S" NORMA PERUANA E.030

Factor de Suelo "S"				
Zona \ Suelo	S0	S1	S2	S3
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: NORMA PERUANA E.030, 2016, " DISEÑO SISMO RESISTENTE ", Decreto Supremo N° 003-201, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, capítulo 2, página 576297.

Tabla 18 PERIODOS "T_P" y "T_L" NORMA PERUANA E.030

Periodos "T _P " y "T _L "				
	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
T _P (s)	0.3	0.4	0.6	1
T _L (s)	3	2.5	2	1.6

Fuente: NORMA PERUANA E.030, 2016, " DISEÑO SISMO RESISTENTE ", Decreto Supremo N° 003-201, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, capítulo 2, página 576297.

El Factor de amplificación Sísmica C dependerá de TP y TL de la siguiente manera:

$T < T_P$

$$C = 2.5$$

Ecuación 0-5

$T_P < T < T_L$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

Ecuación 0-6

$T > T_L$

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

Siendo T el periodo fundamental de la estructura

1.4.4.5 NCH 433, OF. 1996, MOD. 2009

En la norma chilena se encuentran los parámetros relativos al tipo de suelo, T_0 , T' , n , P y S los cuales se obtienen de la siguiente tabla:

Tabla 19 Parámetros dependientes del tipo de suelo, NCH433.Of1996, mod.2009

Tipo de suelo	S	T0 seg	T' seg	n	p
A	0.90	0.15	0.20	1.00	2.00
B	1.00	0.30	0.35	1.33	1.50
C	1.05	0.40	0.45	1.40	1.60
D	1.20	0.75	0.85	1.80	1.00
E	1.30	1.20	1.35	1.80	1.00
F	*	*	*	*	*

Fuente: NORMA CHILENA OFICIAL NCh 433-Decreto 61, 2011, " DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS-Aclaración ", Instituto Nacional de Normalización-INN, Chile, artículo 12

Con los parámetros dependientes del tipo de suelo se define el factor de amplificación α , que es parte del cálculo para aceleración espectral, este se obtiene con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 0-7

Donde T_n es el periodo de vibración del modo n.

1.4.4.6 NSR-10-DECRETO 20, MOD. 2010

Para la norma colombiana NSR-10, se da los valores F_a que amplifican los valores de las ordenadas en roca, de manera que se tendrán los efectos de sitio en el rango de periodos cortos en orden de T_0 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Para periodos intermedios de A_a se puede interpolar linealmente entre valores del mismo perfil.

Tabla 20 Valores del coeficiente F_a para las zonas de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10

Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-23.

Los valores F_v que amplifican los valores de las ordenadas en roca, de manera que se tendrán los efectos de sitio en el rango de periodos intermedios en orden de 1s (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Para periodos intermedios de A_a se puede interpolar linealmente entre valores del mismo perfil.

Tabla 21 Valores del coeficiente Fv para las zonas de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	Aa≤0.1	Aa=0.2	Aa=0.3	Aa=0.4	Aa≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10

Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-24.

1.4.4.7 NZS1170.5 (2004) NORMA DE NUEVA ZELANDA

Para obtener la aceleración espectral con la norma NZS117.5 se necesita el factor de periodo de retorno, Rs para el estado límite de servicio o Ru para el estado límite último.

Tabla 22 Factor de Periodo de Retorno

Factor de Periodo de Retorno	
Probabilidad de excedencia anual requerida	Rs or Ru
1/2500	1.8
1/2000	1.7
1/1000	1.3
1/500	1
1/250	0.75
1/100	0.5
1/50	0.35
1/25	0.25
1/20	0.2

Las filas sombreadas corresponden a las probabilidades anuales de excedencia relacionado con una vida útil de proyecto de 50 años en la tabla 3.3 de la norma AS / NZS 1170.0

Fuente: Norma de Nueva Zelanda NZS1170.5, 2004, " Structural Design Actions- Part 5: Earthquake actions ", Technical Committee BD-006-04-11, Wellington, capítulo 3, página 20. Traducido por María Cristina Noriega Vega

De igual manera se necesita el factor $N(T,D)$ el factor de falla cercana, el cual se define según las siguientes ecuaciones:

Cuando la probabilidad anual de excedencia es mayor o igual a 1/250

$$N(T,D) = 1.0$$

Ecuación 0-8

Cuando la probabilidad anual de excedencia es menor a 1/250; y

$D \leq 2 \text{ km}$

$$N(T, D) = N_{max}(T)$$

Ecuación 0-9

$2 \text{ km} < D \leq 20 \text{ km}$

$$N(T, D) = 1 + (N_{max}(T) - 1) \frac{20 - D}{18}$$

Ecuación 0-10

$D > 20 \text{ km}$

$$N(T, D) = 1.0$$

Ecuación 0-11

Donde

D = La distancia más corta en kilómetros desde el sitio más cercano a la falla listado en la tabla 3.6 (Zealand, 2015)

$N_{max}(T)$ = Es el máximo factor de falla cercano y será linealmente interpolado para el periodo T de la tabla 3.7

1.5 SOLUCION A LA INTEGRAL DE DUHAMEL

Muy pocas situaciones suelen resolverse mediante la integral de Duhamel, debido a que la mayoría de cargas dinámicas no tienen de términos matemáticos explícitos, por lo que se utiliza métodos numéricos para su solución, entre varios métodos existentes, a continuación se describirá el método de promedio de aceleración, el cual se basa en una integración paso a paso (Juan Carlos Garcés Pout, 1985).

Se utiliza la ecuación de movimiento

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

Ecuación 0-12

En esta ecuación se conoce u_o y \dot{u}_o , la aceleración en el intervalo de tiempo t_i a t_{i+1} se la toma como el promedio de los valores inicial y final de la aceleración (Juan Carlos Garcés Pout, 1985):

$$\ddot{u}(\mathcal{T}) = \frac{1}{2} (\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$$

Se integra la ecuación:

$$\Delta\dot{u} = \frac{1}{2} (\dot{u}_i + \dot{u}_{i+1})$$

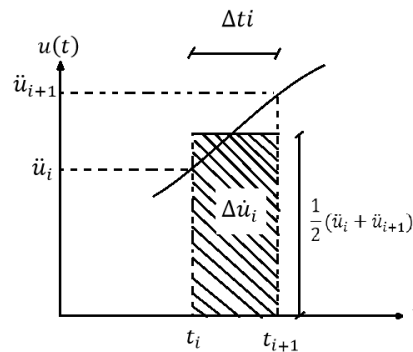
Entonces:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta\dot{u}_i$$

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t_i}{2} (\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1})$$

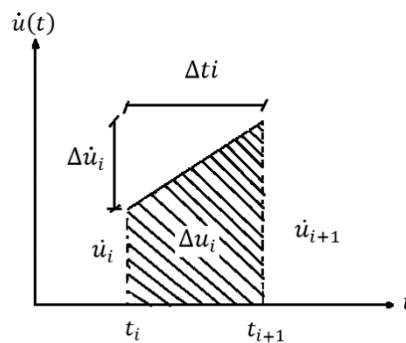
Ecuación 0-13

Figura 16



Fuente: Juan Carlos Garcés Pout. (1985). Análisis Dinámico de edificios considerando torisión en planta (tres grados de libertad por planta). *Tesis de Grado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, capítulo I, página 11

Figura 17



Fuente: Juan Carlos Garcés Pout. (1985). Análisis Dinámico de edificios considerando torisión en planta (tres grados de libertad por planta). *Tesis de Grado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, capítulo I, página 11

$$\Delta u_i = \frac{\dot{u}_i + \dot{u}_{i+1}}{2} \Delta t_i$$

$$u_{i+1} = u_i + \frac{\Delta t_i}{2} (\dot{u}_i + \dot{u}_{i+1})$$

$$u_{i+1} = u_i + \frac{\Delta t_i}{2} (\dot{u}_i + \dot{u}_i + \frac{\Delta t_i}{2} (\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}))$$

$$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i \Delta t_i + \frac{\Delta t_i^2}{4} (\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1})$$

Ecuación 0-14

$$\Delta p_i = p_{i+1} - p_i$$

$$\Delta u_i = u_{i+1} - u_i$$

$$\Delta \dot{u}_i = \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i$$

En la ecuación 2-3

$$u_{i+1} - u_i = \dot{u}_i \Delta t_i + \frac{\Delta t_i^2}{4} (\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i)$$

$$\Delta u_i = \dot{u}_i \Delta t_i + \frac{\Delta t_i^2}{4} \Delta \ddot{u}_i + \frac{\Delta t_i^2}{2} \ddot{u}_i$$

$$\Delta \ddot{u}_i = (\Delta u_i - \dot{u}_i \Delta t_i - \frac{\Delta t_i^2}{2} \ddot{u}_i) \frac{4}{\Delta t_i^2}$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{4}{\Delta t_i^2} (\Delta u_i - \dot{u}_i \Delta t_i) - 2 \ddot{u}_i$$

Ecuación 0-15

En la ecuación 2-2

$$\dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i = \frac{\Delta t_i}{2} (\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i)$$

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{\Delta t_i}{2} (2\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i)$$

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{\Delta t_i}{2} (2\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i)$$

$$\Delta \dot{u}_i = \Delta t_i \ddot{u}_i + \frac{2}{\Delta t_i} (\Delta u_i - \dot{u}_i \Delta t_i) - \Delta t_i \ddot{u}_i$$

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{2}{\Delta t_i} \Delta u_i - 2\dot{u}_i$$

Ecuación 0-16

También se cumple:

$$m\Delta \ddot{u}_i + c\Delta \dot{u}_i + k\Delta u_i = \Delta p_i$$

$$m\left(\frac{4}{\Delta t_i^2} (\Delta u_i - \dot{u}_i \Delta t_i) - 2\ddot{u}_i\right) + c\left(\frac{2}{\Delta t_i} \Delta u_i - 2\dot{u}_i\right) + k\Delta u_i = \Delta p_i$$

$$\frac{4m\Delta u_i}{\Delta t_i^2} - \frac{4m\dot{u}_i}{\Delta t_i} - 2m\ddot{u}_i + \frac{2c\Delta u_i}{\Delta t_i} - 2c\dot{u}_i + k\Delta u_i = \Delta p_i$$

$$\Delta u_i \left(\frac{4m}{\Delta t_i^2} + \frac{2c}{\Delta t_i} + k \right) = \Delta p_i + \dot{u}_i \left(\frac{4m}{\Delta t_i} + 2c \right) - 2m\ddot{u}_i$$

$$k^* = \frac{4m}{\Delta t_i^2} + \frac{2c}{\Delta t_i} + k$$

Ecuación 0-17

$$\Delta p_i^* = \Delta p_i + \left(\frac{4m}{\Delta p_i} + 2c \right) \dot{u}_i + 2m\ddot{u}_i$$

Ecuación 0-18

$$k^* \Delta u_i = \Delta p_i^*$$

Ecuación 0-19

1.5.1 PROGRAMA PARA EVALUAR LA INTEGRAL DE DUHAMEL

Se describe en las siguientes líneas el programa para evaluar la Integral de Duhamel realizado en idioma BASIC por el Ing. Juan Carlos Garcés Pout, para el computador de Bolsillo SHARP PC-1500 como una descripción del proceso que soluciona la integral de Duhamel, de manera que se pueda comprender el funcionamiento de los programas existentes para obtener espectros de respuesta en base a la Integral de Duhamel (Juan Carlos Garcés Pout, 1985).

```

10: CLEAR :USING "#####"
20: INPUT "K(N/m)=" ;K1, "M(Kg)=";M
30: INPUT "Relacion C/Ccr(%)=" ;R
40: C=R*.02*SQR(K1*M)
50: INPUT "Durac. Total (seg)=";TO, "t inicial
    (seg)=";T1
60: INPUT "# Interv calcul=" ;N0
70: INPUT "# Interv prese=";N1

```

```

80: IF INT(N0/N1) <> ( N0/N1) GOTO 60

90: DO=TO/NO:D1=TO/N1:DIM P( 1 ),T ( 1 ) : J =D1

100: T(0)=-DO: T (1)=0:K=1 : GOSUB 910

110: INPUT "Desp inicial (m)=";U0,"Vel inicial
      (m/s)=";V0

120: K0=k1+2*C/D0+4*M/(D0^2):A0=(P(1)-C*V0-
      K1*U0)/M

130: PRINT "FORMAS DE SALIDA"

140: PRINT "1.- Datos en pantalla"

150: PRINT "2.- Datos en papel"

160: PRINT "3.- Ploteo en papel"

170: INPUT "CUA ESCOJE=";F:Z=4*M/D0+2*C

180: IF F<>1 AND F<>2 AND F<>3 GOTO 170

190: IF F>=2 GOSUB 530

200: IF F=3 GOSUB 500

210: FOR I=0 TO N0-1

220: T( 0 )=T( 0 )+DO:T( 1 )=T( 1 )+D0

230: K=0: GOSUB 910

240: K=1: GOSUB 910

250: DP=P (1) – P (0) + Z*V0+2*M*A0

260: DU=DP/K0 : DV= 2*DU/D0-2*V0

270: DA=4*(DU-V0*D0)/(D0^2)-2*A0

```

```

280: IF ABS(MU)<ABS(U0) LET MU=U0
290: IF ABS(MV)<ABS(V0) LET MV=V0
300: IF ABS(MA)<ABS(A0) LET MA=A0
310: U0=U0+DU:V0=V0+DV:A0=A0+DA
320: IF F=1 GOSUB 360
330: IF F=2 GOSUB 430
340: IF F=3 GOSUB 510
350: NEXT I: GOTO 780
360: L= L+DO
370: IF L/J <> 1 GOTO 420
380: PRINT "t(s)="; L
390: PRINT "u(m)="; U0
400: PRINT "v(m/s)="; V0
410: PRINT "a(m/s2)="; A0:CLS:J=J+D1
420: RETURN
430: L=L+D0
440: IF L/J<>1 GOTO 500
450: J=J+D1:CSIZE 1
460: LPRINT "t(s)="; L
470: LPRINT "u(m)=";U0
480: LPRINT "v(m/s)=";V0
490: LPRINT "a(m/S2)=";A0:LF+1

```

```

500: RETURN

510: LINE (INT((U0-DU)*W), -INT(D0*I*5E+3))-
      (INT(U0*W), -INT(D0*(I+1)*5E+3))

520: RETURN

530: TEXT: TAB(1):COLOR 0

540: LPRINT "0";:TAB(4):COLOR 1:LPRINT "1";

550: TAB(7):COLOR 2:LPRINT "2"; : TAB(11)

560: COLOR 3:LPRINT "3": LF+1

570: INPUT "COLOR=";C0:COLOR C0:RETURN

580: TEXT:CSIZE 1:INPUT "u max(m)=";E:W=100/E:
      C$=""+STR$(E)

590: TAB(0):LPRINT C$; :TABTAB(16)

600: LPRINT "0.0"; : TAB (32) : C$:STR$(E) : LPRINT C$

610: GRAPH:GLCURSOR (0.0):SORGN

620: LINE (0.0)-(200,0):LINE (200,0)-(200,-500)

630: LINE (200,-500)-(0,-500):LINE(0,-500)- (0,0)

640: GLCURSOR (100,0):LINE (100,0)-(100,-500)

650: FOR I=20 TO 180 STEP +20

660: GLCURSOR (0, I) :LINE (0,1)-(200,I)

670: NEXT I

680: FOR I=20 TO 180 STEP +20

690: IF I=100 GOTO 710

```

```

700: GLCURSOR (I,0) : LINE (I,0) -(I,-500), 2
710: NEXT I: GLCURSOR (0,0) : TEXT :CSIZE 1
720: LF+1
730: FOR I=0 TO 8
740: LF+4:TAB (1) : T1=T1+0.1
750: C$=STR$(T1):LPRINT C$:NEXT I:LF-46
760: GRAPH:GLCURSOR (100,0):SORGN
770: RETURN
780: IF F=1 GOTO 850
790: TEXT:CSIZE 1:LF+2
800: LPRINT "u max(m)";MU
810: LPRINT "v max(m/s)=";MV
820: LPRINT "a max(m/s2)="; MA :LF+1
830: IF F=3 GOSUB 890
840: LF+5:GOTO 880
850: PRINT "u max(m)=";MU
860: PRINT "v max(m/s)=";MV
870: PRINT "a max(m/s2)=";MA
880: END
890: LPRINT "u final(m)=";UO
900: LPRINT "v final(m/S)=";V0:RETURN
910: REM*P(K)=f(T(K))*

```

1.5.2 ESPECTROS DE RESPUESTA

Las normas de construcción de cada país realizan espectros de diseño a partir de familias de registros tiempo historia, los cuales son obtenidos de datos propios del sitio, corrigiendo con los factores de amplificación del sitio, o mediante la construcción de registros sintéticos de tiempo historia, generalmente con un porcentaje de amortiguamiento crítico del 5%.

Las curvas espectrales para diseño deben considerar el efecto de varios terremotos, es decir deben ser representativos de la sismicidad propia de cada región.

Los espectros de diseño deben considerar varios sismos para que puedan ser representativos de cada región, se utiliza mayormente el procedimiento donde se considera el valor promedio más la desviación estándar (Francisco Crisafulli, 2002).

Resultando un espectro de diseño suavizado en el cual en todos los valores del periodo o frecuencia cumplan con las aceleraciones máximas probables que se puedan dar en el sitio, para obtener estas aceleraciones máximas en distintos lugares y condiciones geotécnicas las normas incluyen factores y coeficientes de amplificación de sitio, mencionados en 1.4.3, 1.4.4.

A continuación se realizarán los espectros de respuesta con las diferentes normas, con los suelos A, B, C, D y E en la zona V con un factor Z de 0.4 g de la norma NEC NS DS.

Los espectros se construyen dentro de un rango de periodos que va desde 0 s , 4 s que comprende la mayor parte de construcciones comunes.

1.5.2.1 NEC NS DS

Para el Nec Ns Ds los espectros elásticos de respuesta de aceleraciones S_a sigue la siguiente figura:

Donde

Z: Es el factor de zona sísmica

Fa, Fd, Fs: son los coeficientes de amplificación de suelo

η : Es la razón entre la aceleración espectral S_a (T=0.1s) y el PGA

$\eta=1.80$: Provincias de la costa (Excepto Esmeraldas)

$\eta=2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$\eta=2.60$: Provincias del Oriente

S_a : Espectro de Respuesta elástico de aceleraciones expresado en fracción de la gravedad, y depende del modo de vibración de la estructura.

r : Factor para el espectro de diseño elástico

$r=1$ Para todos los suelos excepto el suelo E

$r=1.5$ Para el suelo E

T: Periodo fundamental de la estructura

T_o : Periodo Límite de vibración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

$$T_o = 0.10F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Ecuación 0-20

T_c : Periodo Límite de vibración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

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

Ecuación 0-21

Para un periodo T menor que T_o (Especificado en la norma solo para análisis dinámico y, únicamente para evaluar respuestas diferentes al modo fundamental (Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, 2014)).

$$S_a = ZF_a \left[1 + (n - 1) \frac{T}{T_o} \right]$$

Para $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta Z F_a$$

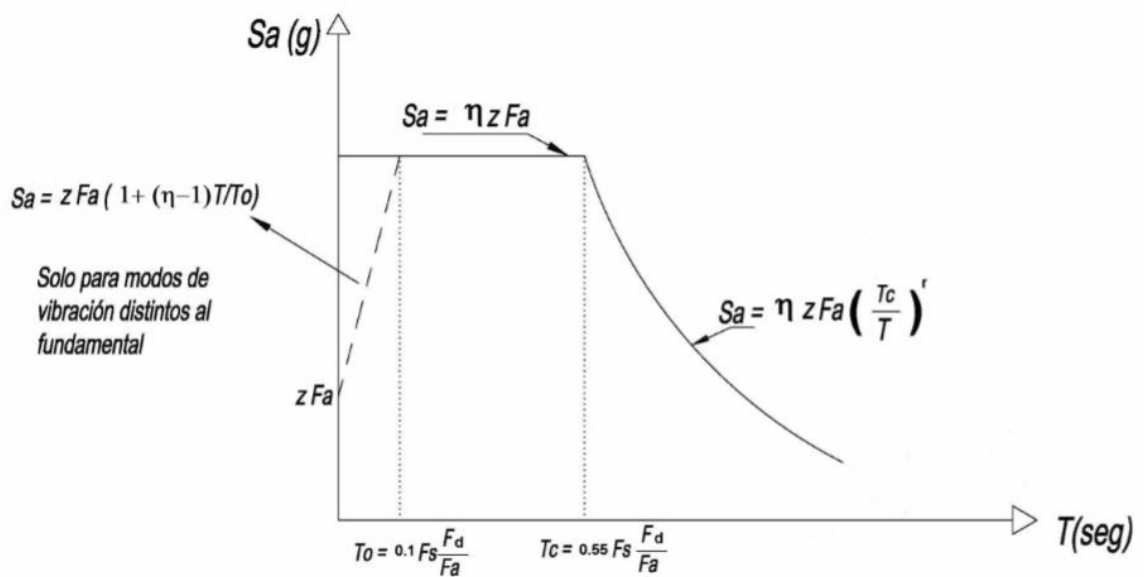
Ecuación 0-22

Para $T > T_c$

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

Ecuación 0-23

Figura 18 Espectro elástico de Respuesta NEC SE DS



Fuente: CÓDIGO NEC SE DS, 2014, "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", 1ra Edición, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador, capítulo 3, página 33.

Para el presente trabajo de investigación, se definirán graficarán los espectros de respuesta para los suelos A, B, C, D y E y para la zona V (0.4 g) de la NEC SE DS.

Tabla 23 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo A, en Zona V

Z	0.4
Fa	0.9
Fd	0.9
Fs	0.75
η	2.48
Tc	0.4125
To	0.075
R	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

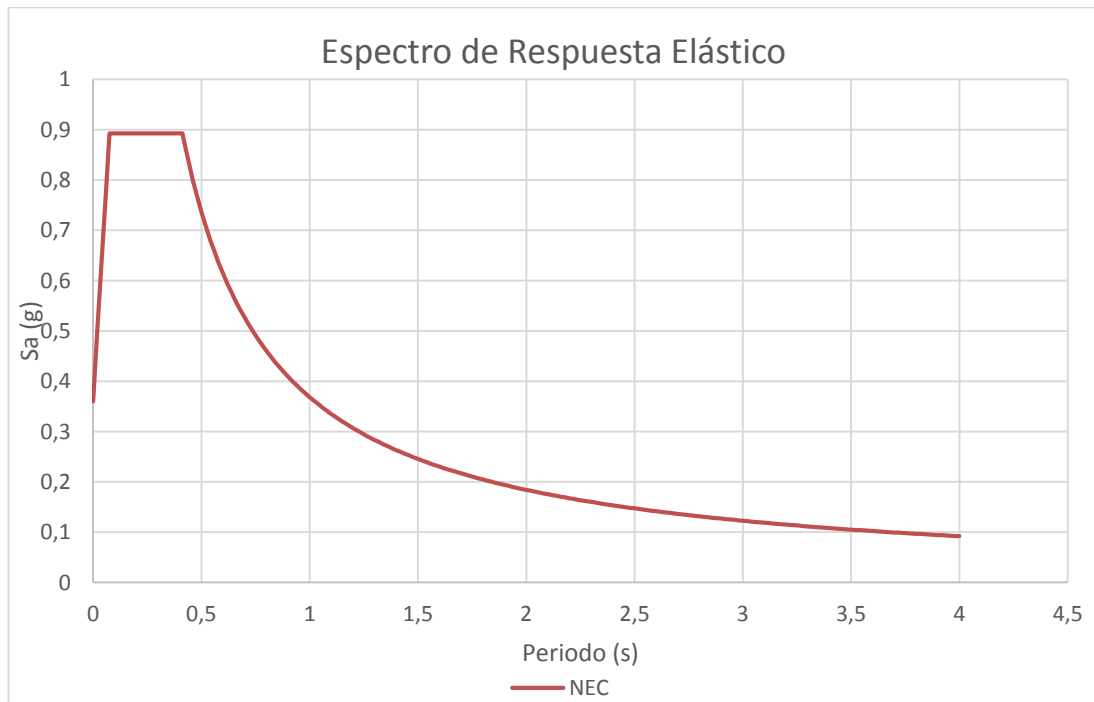


Figura 19 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo A, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 24 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo B, en Zona V

z	0.4
Fa	1
Fd	1
Fs	0.75
n	2.48
Tc	0.4125
TL	2.4
To	0.075
R	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

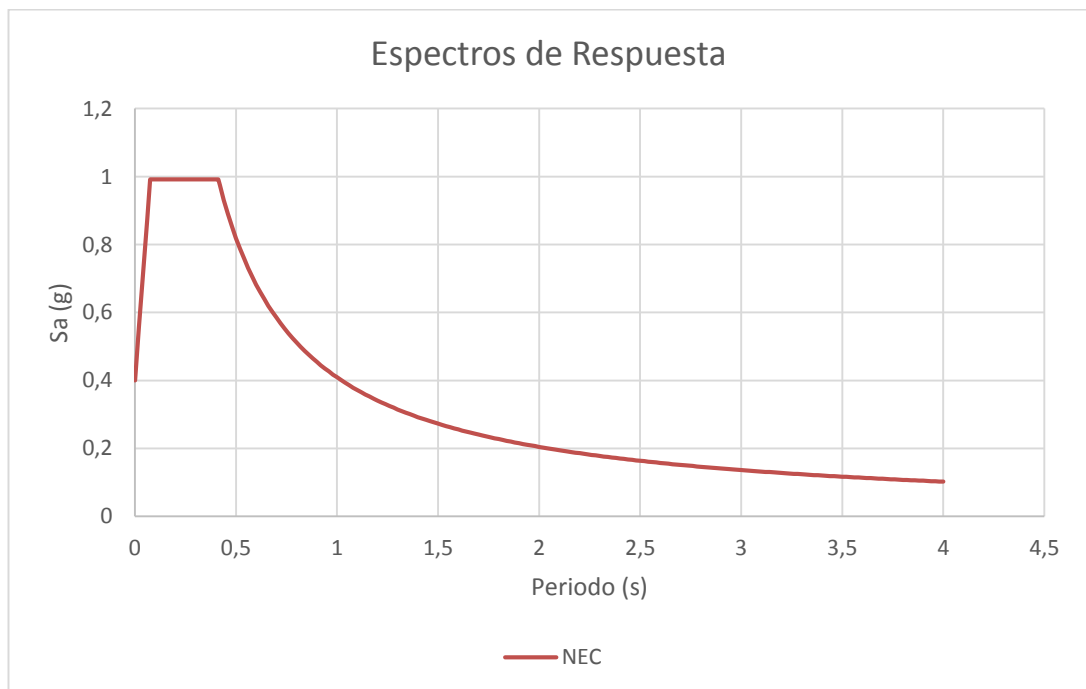


Figura 20 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo B, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 25 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo C, en Zona V

z	0.4
Fa	1.2
Fd	1.11
Fs	1.11
n	2.48
Tc	0.5647125
To	0.102675
R	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

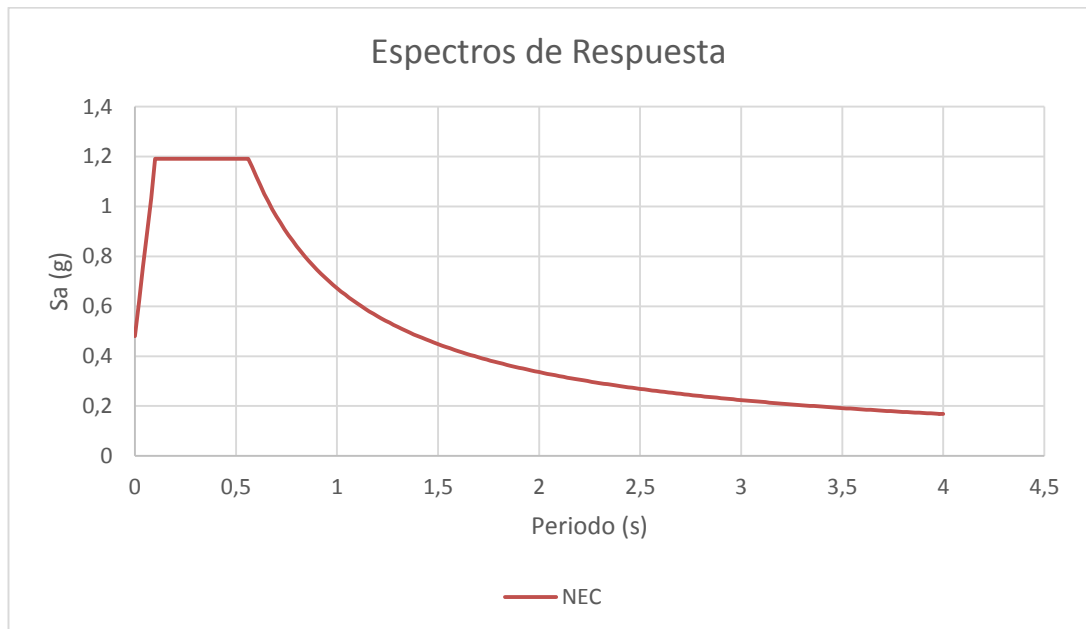


Figura 21 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo C, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 26 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo D, en Zona V

z	0.4
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
n	2.48
Tc	0.698133333
To	0.126933333
R	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

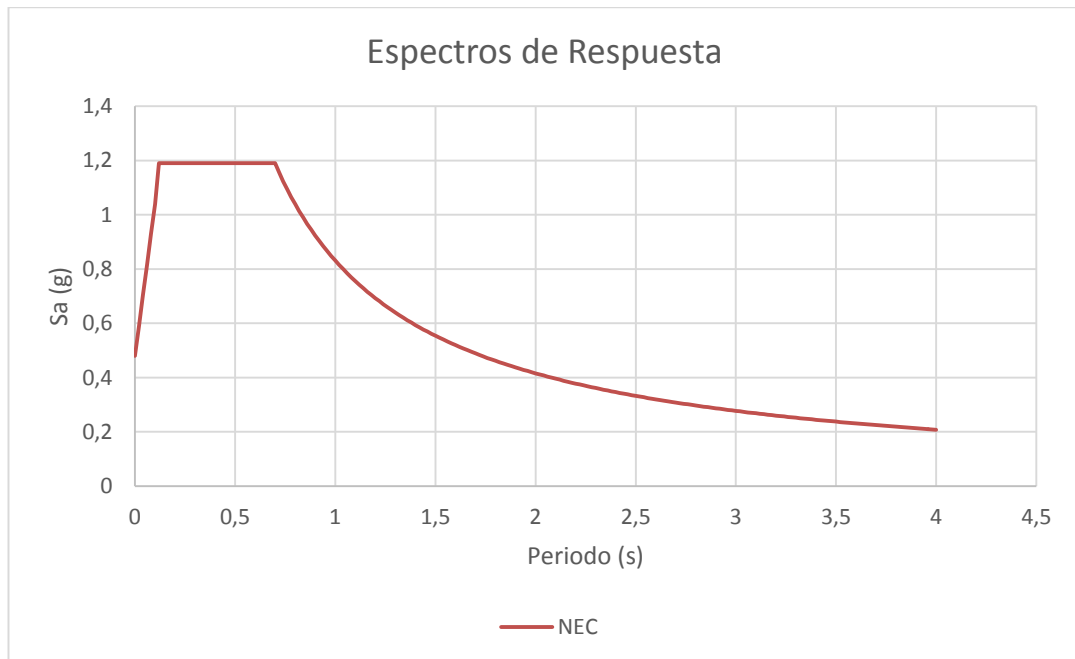


Figura 22 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo D, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 27 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del NEC SE DS en suelo Tipo E, en Zona V

z	0.4
Fa	1
Fd	1.6
Fs	1.9
n	2.48
Tc	1.672
To	0.304
R	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

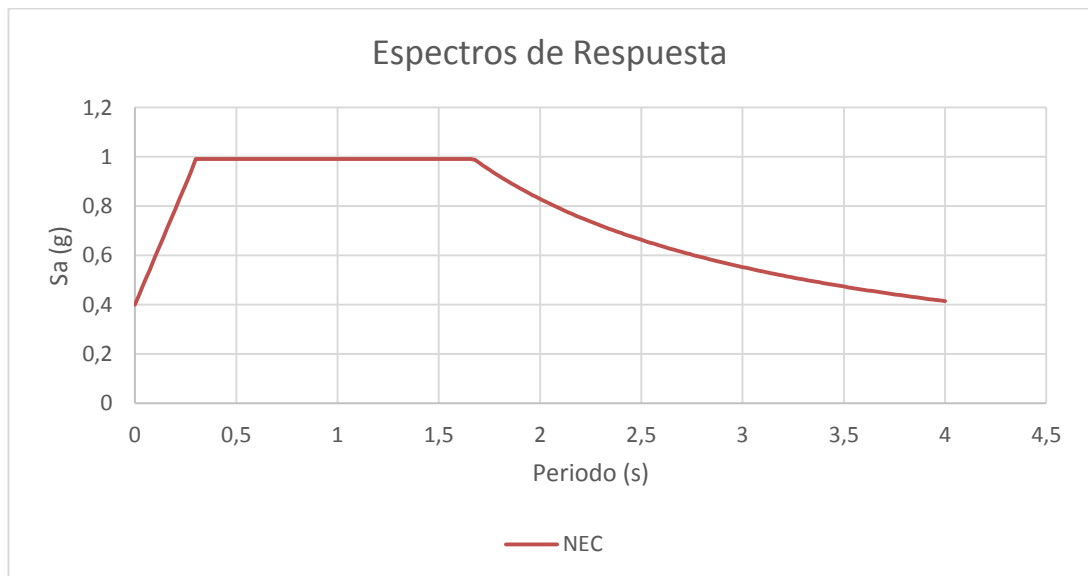


Figura 23 Espectro de Respuesta Elástico NEC SE DS en suelo Tipo E, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.2 ASCE/SEI-7-10

Para graficar el espectro de respuesta del ASCE 7-10 se determinará el T_0 , T_s , T_L mediante las siguientes formulas:

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

Ecuación 0-24

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

Ecuación 0-25

T_L : Periodo largo de transición (s), en la norma se encuentran determinados en las figuras 22-12 hasta la figura 22-16.

La aceleración espectral, se determina según las siguientes fórmulas:

Cuando el Periodo T (Periodo fundamenta de la estructura), es menor que T_0 , S_a se calcula como:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Ecuación 0-26

Cuando T es mayor o igual a T_0 y menor o igual que T_s :

$$S_a = S_{DS}$$

Ecuación 0-27

Cuando T es mayor que T_s y menor o igual a T_L entonces:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Ecuación 0-28

Cuando T es mayor que T_L entonces:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Ecuación 0-29

Obteniéndose un gráfico de la siguiente forma:

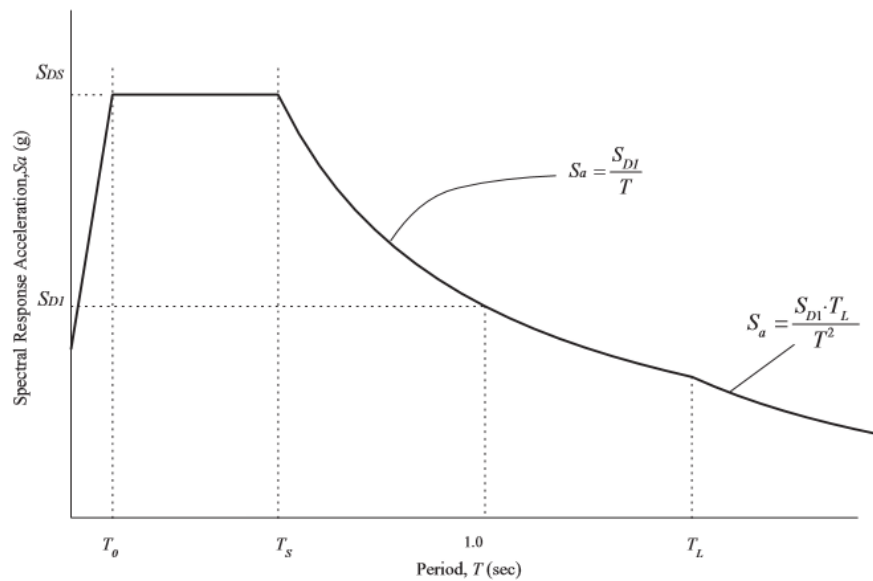


Figura 24 Espectro de diseño de respuesta

Fuente: ASCE/SEI 7-10, 2010, " Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers, USA, capítulo 11, página 66.

Se graficarán los diferentes espectros con la norma norteamericana ASCE 7-10, para los suelos A, B, C, D y E definido en el NEC SE DS y para los coeficientes Ss yS1 de Quito definidos en los mapas de la USGS, que corresponde a la zona V (0.4 g) del NEC SE DS.

Tabla 28 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo A

Fa	0.8
Fv	0.8
Ss	2.04
S1	0.82
SMS	1.632
SM1	0.656
SDS	1.088
SD1	0.43733333
To	0.08039216
Ts	0.40196078
TL	4

Fuente: María Cristina Noriega Vega

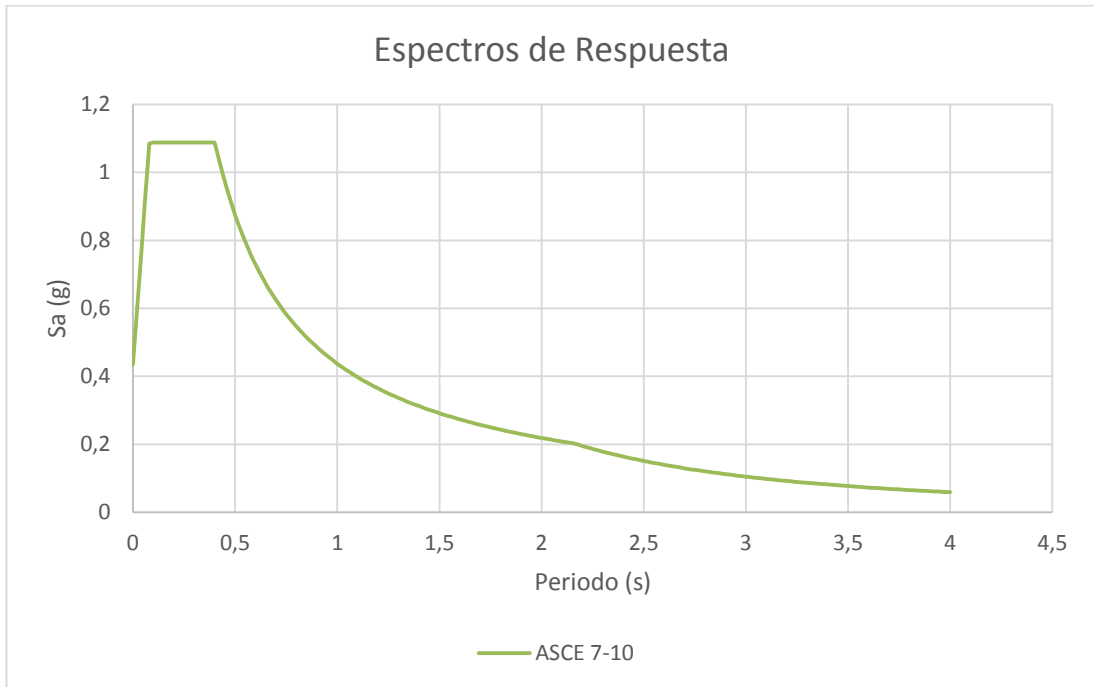


Figura 25 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo A

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 29 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo B

Suelo	B
Fa	1
Fv	1
Ss	2.04
S1	0.82
SMS	2.04
SM1	0.82
SDS	1.36
SD1	0.54666667
To	0.08039216
Ts	0.40196078

Fuente: María Cristina Noriega Vega

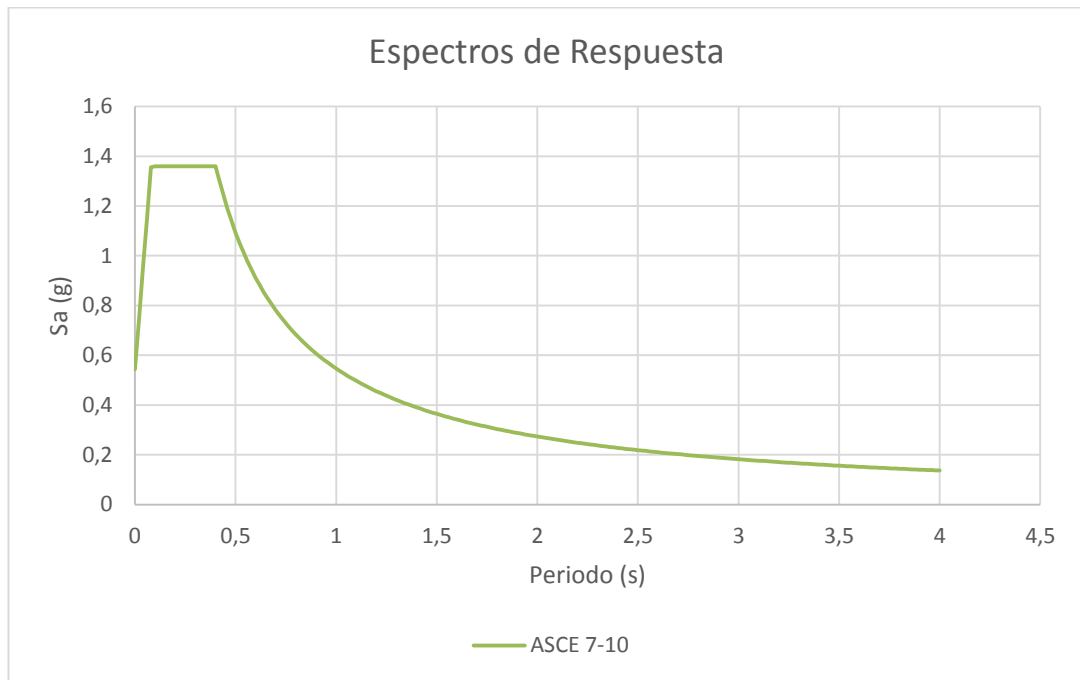


Figura 26 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo B

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 30 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo C

Suelo	C
Fa	1
Fv	1.3
Ss	2.04
S1	0.82
SMS	2.04
SM1	1.066
SDS	1.36
SD1	0.71066667
To	0.1045098
Ts	0.52254902

Fuente: María Cristina Noriega Vega

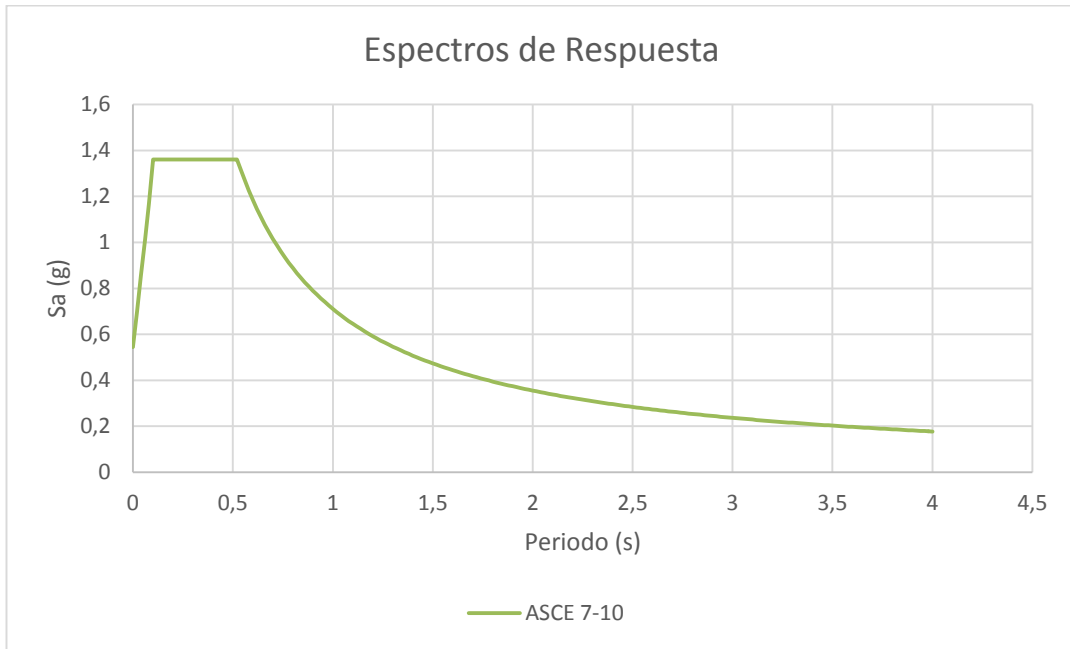


Figura 27 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 31 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo D

Suelo	D
Fa	1
Fv	1.5
Ss	2.04
S1	0.82
SMS	2.04
SM1	1.23
SDS	1.36
SD1	0.82
To	0.12058824
Ts	0.60294118
TL	2.16

Fuente: María Cristina Noriega Vega

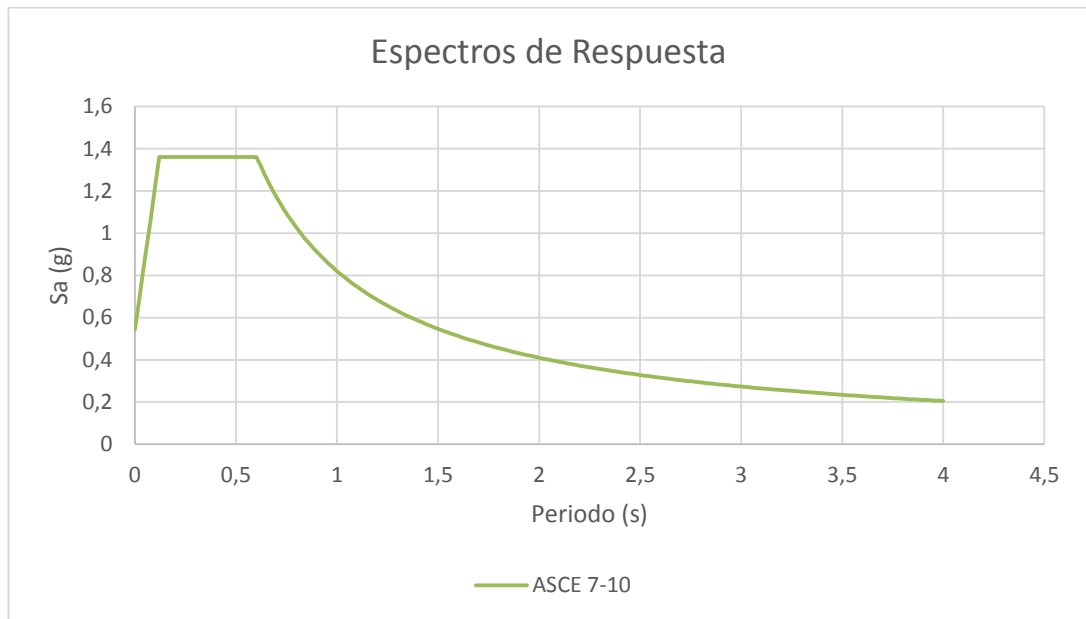


Figura 28 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 32 Tabla de coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del ASCE 7-10 en suelo Tipo E

Suelo	E
Fa	0.9
Fv	2.4
Ss	2.04
S1	0.82
SMS	1.836
SM1	1.968
SDS	1.224
SD1	1.312
To	0.21437908
Ts	1.07189542
TL	2.16

Fuente: María Cristina Noriega Vega



Figura 29 Espectro de Respuesta Elástico ASCE 7-10 en suelo Tipo E

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.3 EUROCODIGO 8

El espectro elástico del Eurocódigo se define con los siguientes parámetros y factores:

$S_e(T)$ es el espectro elástico de respuestas

T es el periodo de vibración de un sistema de un grado de libertad.

a_g es la aceleración de diseño del suelo tipo A, definida en 2.1.4.3

T_B es el límite inferior del período de la rama de la aceleración espectral constante (meseta de aceleración constante del espectro), ver Tabla 11 Valores de los parámetros

S , T_B , T_C , T_D que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2. Tabla 11

Valores de los parámetros S , T_B , T_C , T_D que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2.

TC es el límite inferior del período de la rama de la aceleración espectral constante (meseta de aceleración constante del espectro), ver Tabla 11 Valores de los parámetros S, TB, TC, TD que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2.

TD es el valor que define el comienzo del rango de la respuesta constante de desplazamientos del espectro, ver Tabla 11 Valores de los parámetros S, TB, TC, TD que definen el espectro elástico de respuesta tipo 1 y tipo 2.

S es el factor de suelo

η es el factor de corrección del amortiguamiento, con la referencia de $\eta=1$ para un amortiguamiento viscoso del 5%

Para $0 \leq T \leq T_B$

$$S_e(T) = a_g * S * \left[1 + \frac{T}{T_B} * (\eta * 2.5 - 1) \right]$$

Ecuación 0-30

Para $T_B \leq T \leq T_C$

$$S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5$$

Ecuación 0-31

Para $T_B \leq T \leq T_C$

$$S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

Ecuación 0-32

Para $T_D \leq T \leq 4s$

$$S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Ecuación 0-33

Con estas gráficas el espectro elástico de respuestas obtiene la forma:

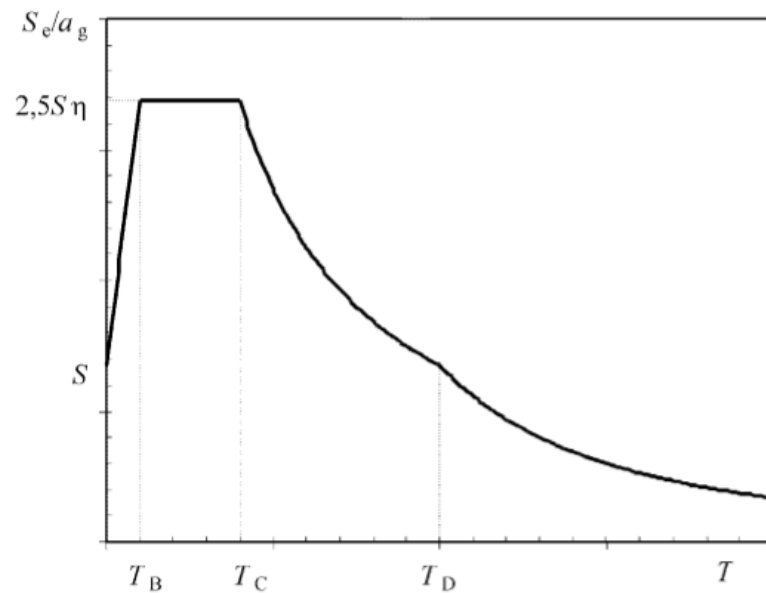


Figura 30 Espectro elástico de respuestas Eurocódigo 8

Fuente: Eurocode-8, 2004, "Design of structures for earthquake resistance, Part 1", EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, capítulo 3, página 38.

Tabla 33 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo A

Sismo	Tipo 1
$ag=(\gamma I * agR)$	0.4
γI	1
TB	0.15
TC	0.4
TD	2
S	1
η	1
Amortiguamiento	5%

Fuente: María Cristina Noriega Vega

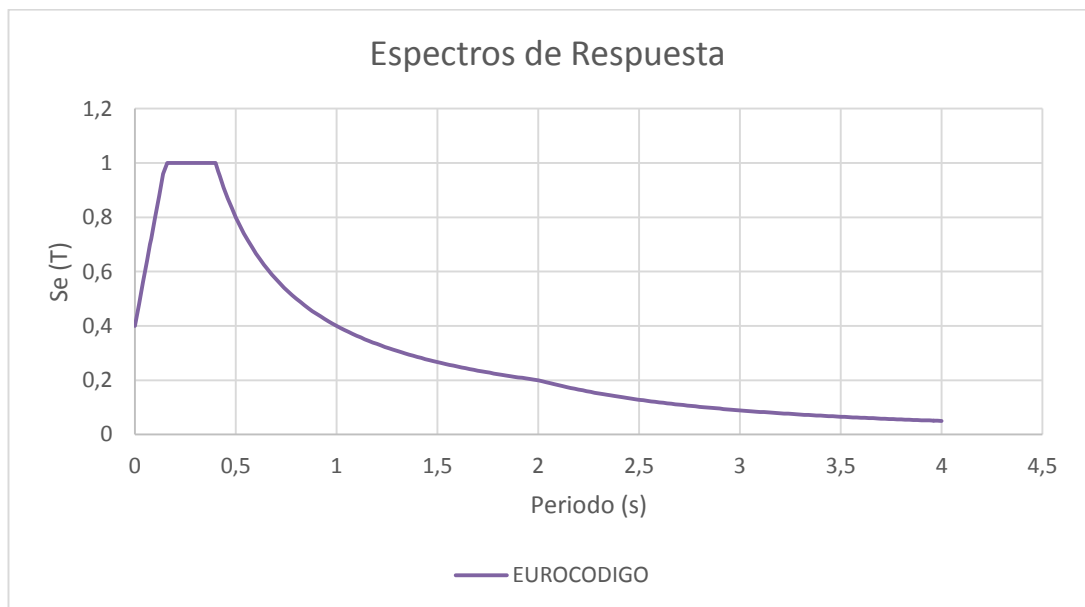


Figura 31 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo A

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 34 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo B

Suelo	B
Sismo	Tipo 1
$ag=(\gamma I * agR)$	0.4
γI	1
TB	0.15
TC	0.5
TD	2
S	1.2
η	1
Amortiguamiento	5%

Fuente: María Cristina Noriega Vega

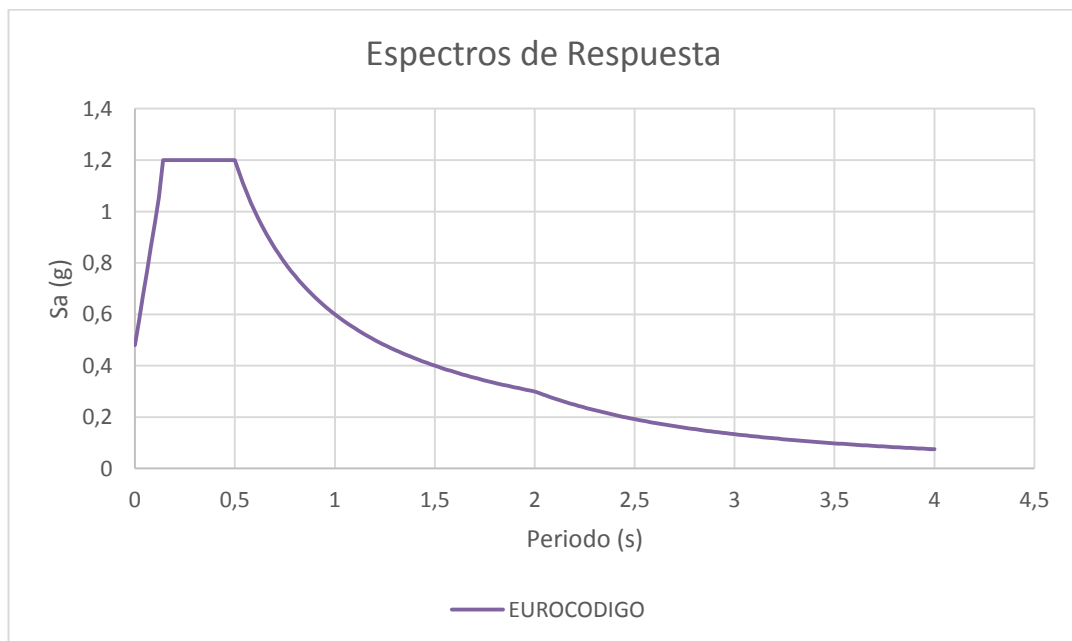


Figura 32 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo B

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 35 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo C

Suelo	C
Sismo	Tipo 1
$ag=(\gamma I * agR)$	0.4
γI	1
TB	0.2
TC	0.6
TD	2
S	1.15
η	1
Amortiguamiento	5%

Fuente: María Cristina Noriega Vega

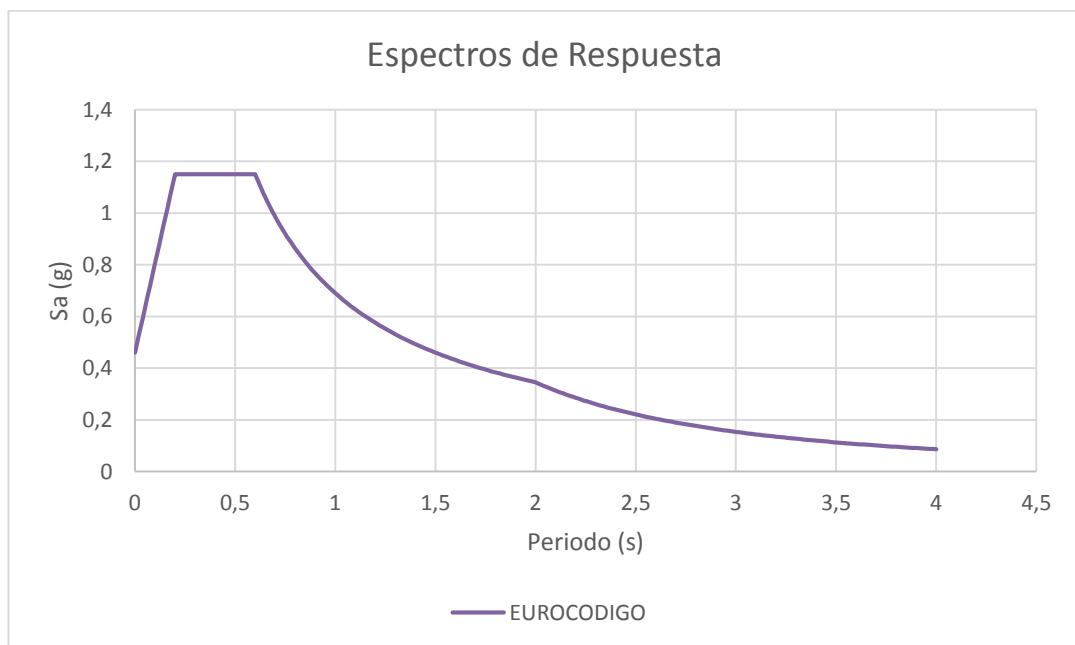


Figura 33 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 36 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo D

Suelo	D
Sismo	Tipo 1
$ag=(\gamma I * agR)$	0.4
γI	1
TB	0.2
TC	0.8
TD	2
S	1.35
η	1
Amortiguamiento	5%

Fuente: María Cristina Noriega Vega

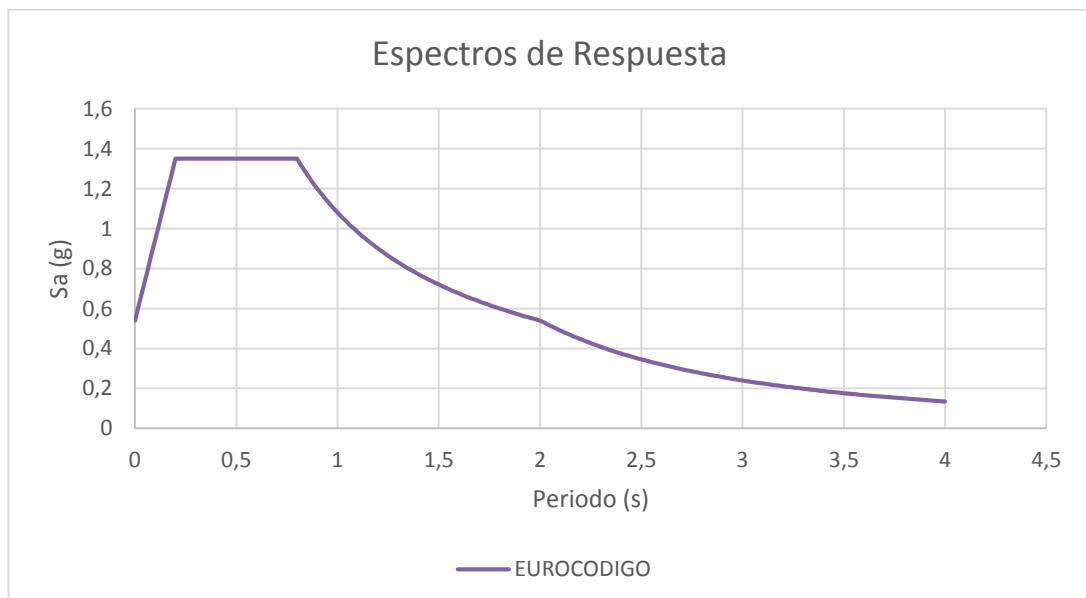


Figura 34 Espectro de Respuesta Elástico Eurocódigo 8-1 en suelo Tipo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.4 NORMA PERUANA E.030 - DISEÑO SISMO RESISTENTE

En la norma Peruana E.030 el espectro de respuestas es inelástico, por lo que se añaden los factores de uso y de reducción sísmica que dependen de la estructura, para obtener el espectro del suelo en roca se les asignará los valores descritos a continuación.

U es el factor de uso, para edificaciones comunes $U = 1$

R_0 es el coeficiente básico de reducción, se utilizará el mayor ya que se considerará el espectro en el suelo no en la estructura entonces $R_0 = 8$

R Coeficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas, es el producto R_0 por I_a (irregularidad en planta) y por I_p (Irregularidad en elevación, para el espectro se utilizará $I_a = 1$ y $I_p = 1$, quedando un $R = 8$

La aceleración espectral del espectro inelástico de la norma Peruana E.030 con actualización DS-003-2016 responde a la siguiente ecuación:

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

Ecuación 0-34

Los parámetros Z, C, S están ya descritos en 1.4.3.4, 1.4.4.4

Tabla 37 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo So

Tipo de suelo	So
Zona	4
Z	0.4
S (Factor de suelo)	0.8
Tp (s)	0.3
TL (s)	3
U (Factor de Uso)	1
Ro	8
Ia	1
Ip	1
R	8
g (Gravedad)	9.81

Fuente: María Cristina Noriega Vega

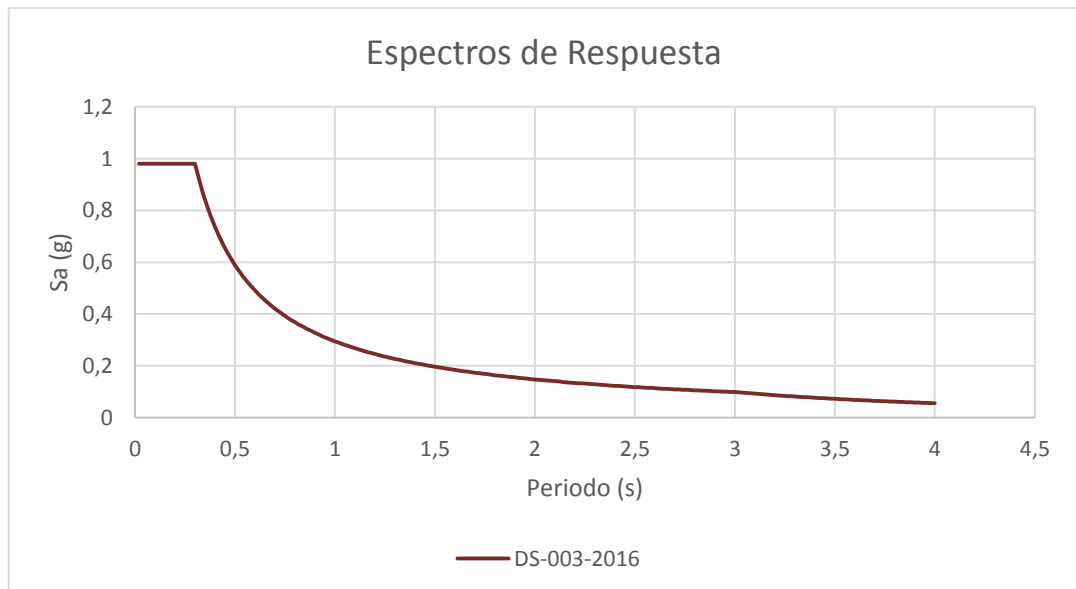


Figura 35 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo So

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 38 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S1

Tipo de suelo	S1
Zona	4
Z	0.4
S (Factor de suelo)	1
Tp (s)	0.4
TL (s)	2.5
U (Factor de Uso)	1
Ro	8
Ia	1
Ip	1
R	8
g	9.81

Fuente: María Cristina Noriega Vega

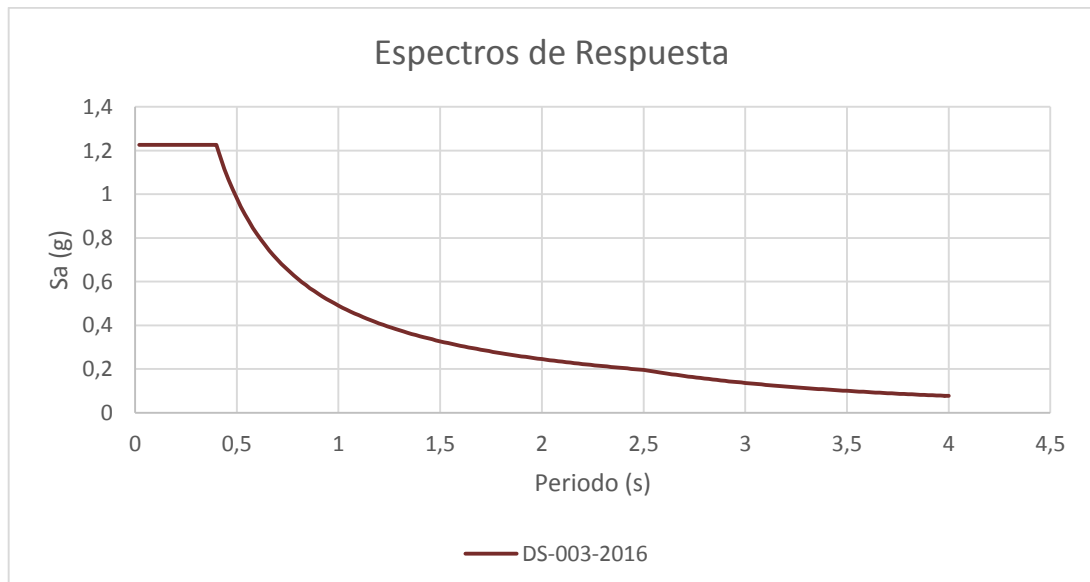


Figura 36 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 39 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S2

Tipo de suelo	S2
Zona	4
Z	0.4
S (Factor de suelo)	1.05
Tp (s)	0.6
TL (s)	2
U (Factor de Uso)	1
Ro	8
Ia	1
Ip	1
R	8
g	9.81

Fuente: María Cristina Noriega Vega



Figura 37 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S2

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 40 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos del E.030 en suelo Tipo S3

Tipo de suelo	S3
Zona	4
Z	0.4
S (Factor de suelo)	1.1
Tp (s)	1
TL (s)	1.6
U (Factor de Uso)	1
Ro	8
Ia	1
Ip	1
R	8
g	9.81

Fuente: María Cristina Noriega Vega

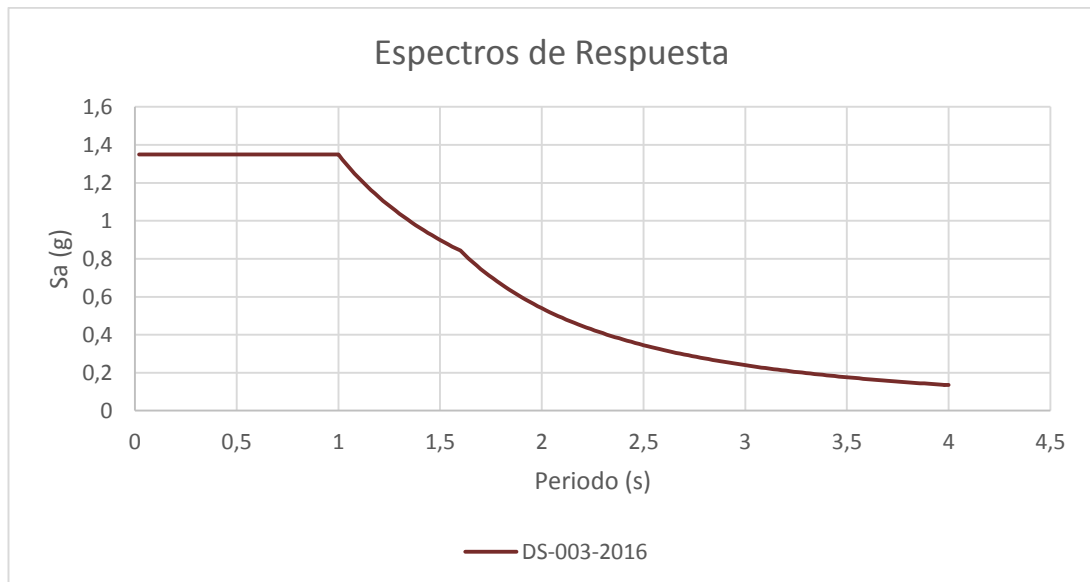


Figura 38 Espectro de Respuesta Elástico E.030 en suelo Tipo S3

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.5 NCH 433, OF. 1996, MOD. 2009

Para graficar el espectro de diseño de la norma chilena NCH 433, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$S_a = \frac{SA_0\alpha}{\left(\frac{R^*}{I}\right)}$$

Ecuación 0-35

Donde los parámetros S, y α están definidos en 1.4.4.5, y A0 está definido en 1.4.3.5.

Para el coeficiente I, se utilizará $I = 1$, que pertenece a un edificio categoría C (edificios destinados a la habitación privada o al uso público), de manera que este coeficiente depende de la estructura, se escoge el valor de uno para obtener un espectro de respuestas a nivel del suelo.

El factor de reducción R^* obedece la siguiente fórmula:

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

Ecuación 0-36

Donde:

T^* es el periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en dirección del análisis, en este caso será igual a cero ya que el espectro de respuestas es a nivel del suelo.

R_0 es el valor para la estructura, en este caso se ha tomado el de la más rígida $R_0 = 11$.

Tabla 41 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo A, en Zona V

Ao (g)	0.4
S	0.9
To	0.15
T'	0.2
n	1
p	2
I	1
Ro	11
R*	1
T*	0

Fuente: María Cristina Noriega Vega

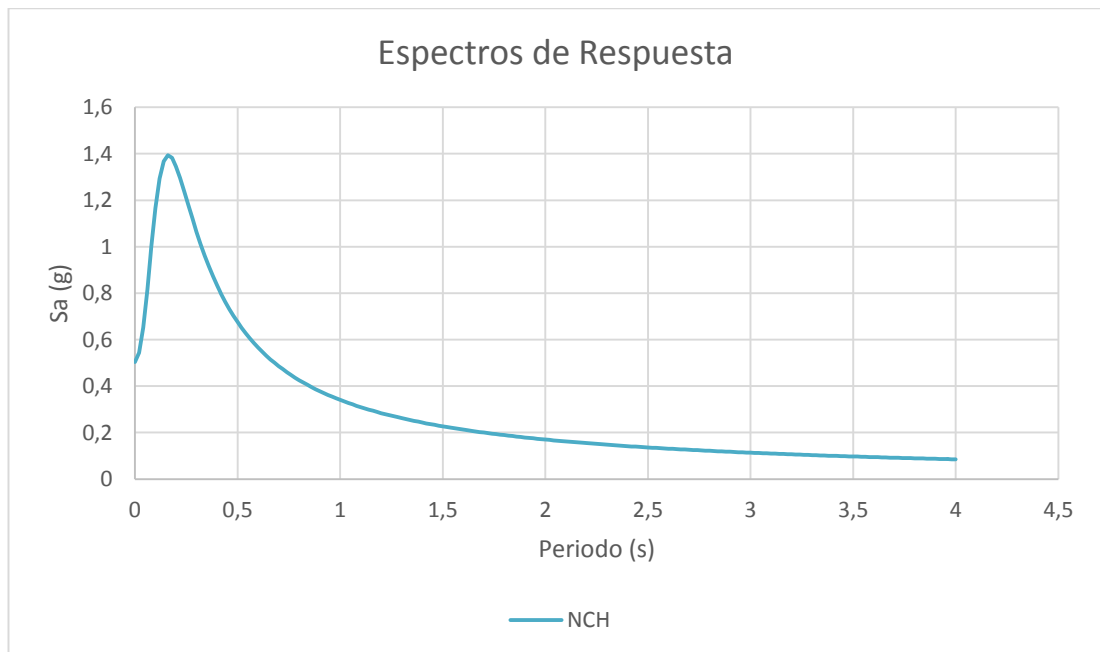


Figura 39 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo A, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 42 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo B

Suelo	B
Ao (g)	0.4
S	1
To	0.3
T´	0.35
n	1.33
p	1.5
I	1
Ro	11
R*	1
T*	0

Fuente: María Cristina Noriega Vega

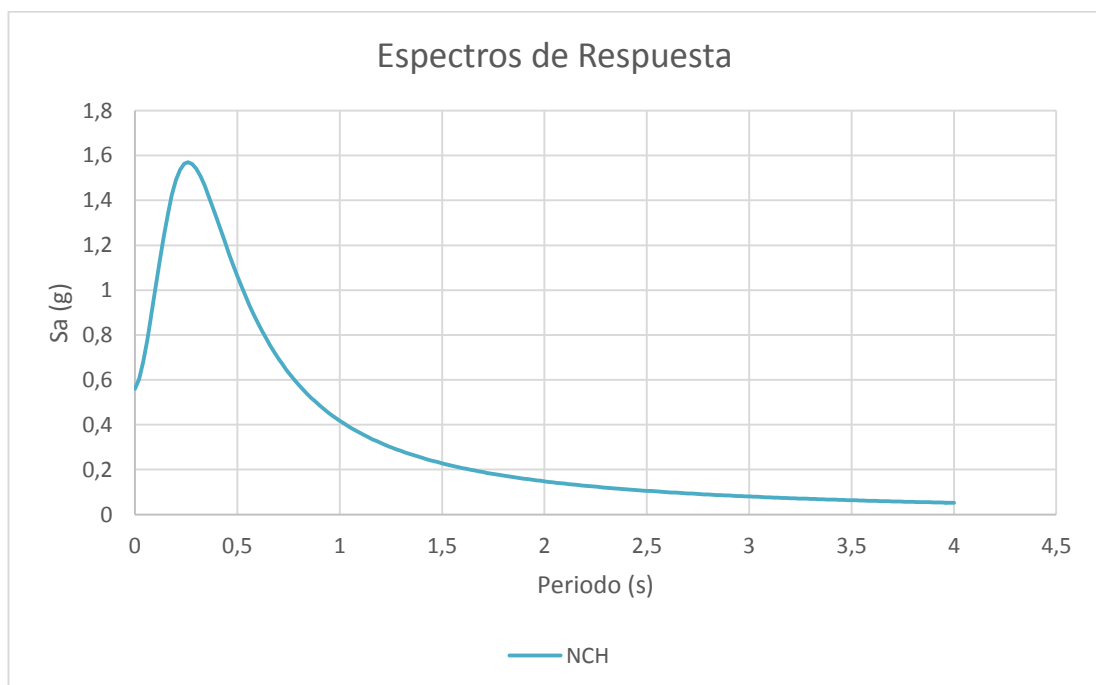


Figura 40 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo B

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 43 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo C

Suelo	C
Ao (g)	0.4
S	1.05
To	0.4
T'	0.45
n	1.4
p	1.6
I	1
Ro	11
R*	1
T*	0

Fuente: María Cristina Noriega Vega

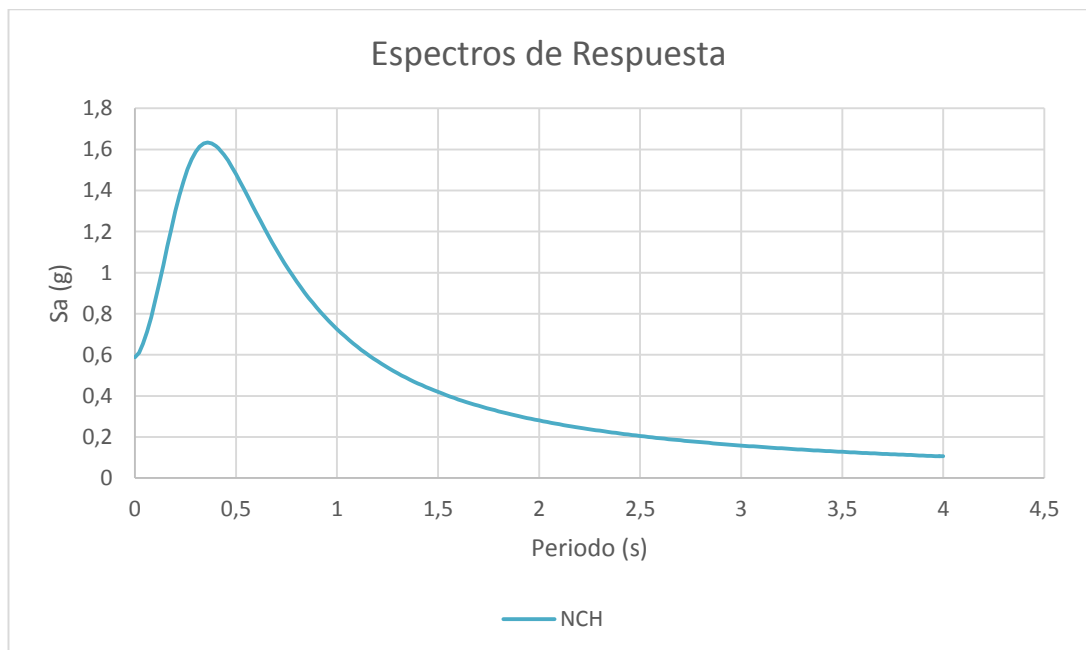


Figura 41 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 44 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo D

Suelo	D
Ao (g)	0.4
S	1.2
To	0.75
T´	0.85
n	1.8
p	1
I	1
Ro	11
R*	1
T*	0

Fuente: María Cristina Noriega Vega

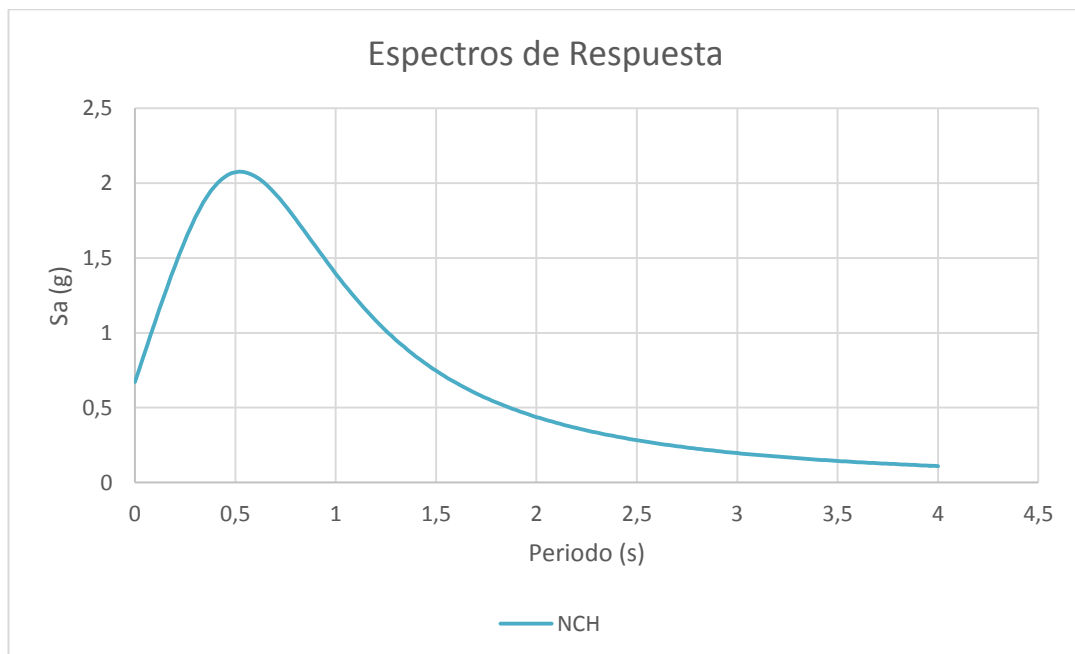


Figura 42 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 45 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo E

Suelo	E
Ao (g)	0.4
S	1.3
To	1.2
T'	1.35
n	1.8
p	1
I	1
Ro	11
R*	1
T*	0

Fuente: María Cristina Noriega Vega

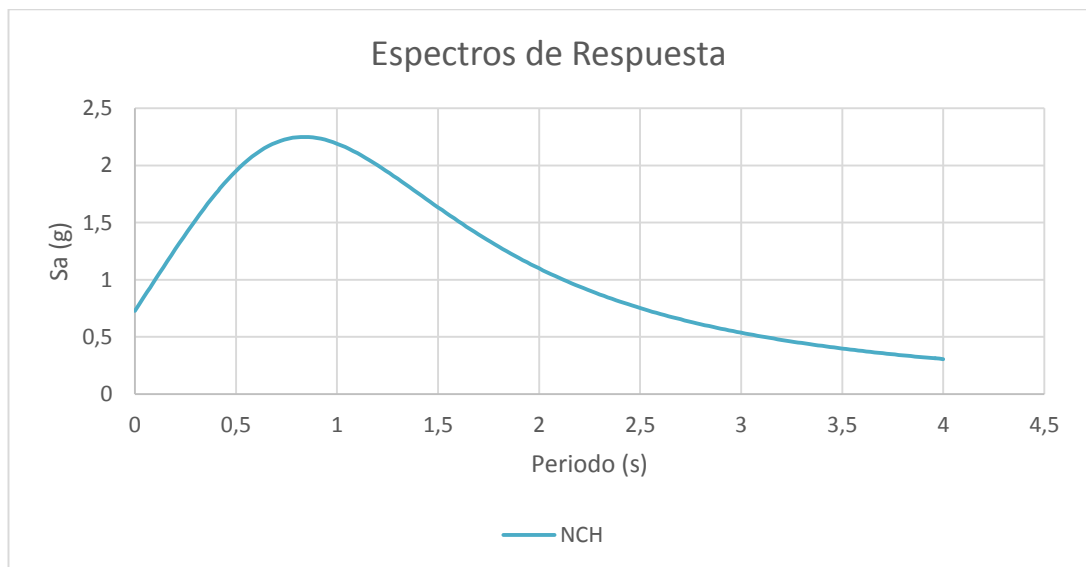


Figura 43 Espectro de Respuesta NCh 433, Of. 1996, mod. 2009 en suelo Tipo E

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.6 NSR-10-Decreto 20, mod. 2010

Para obtener el espectro elástico es necesario en primer lugar obtener los periodos de vibración T_0 , T_C , T_L con las siguientes fórmulas:

$$T_0 = 0.1 \frac{A_V F_V}{A_a F_a}$$

Ecuación 0-37

$$T_C = 0.48 \frac{A_V F_V}{A_a F_a}$$

Ecuación 0-38

$$T_L = 2.4 F_V$$

Ecuación 0-39

El espectro elástico de aceleraciones de la norma colombiana, está expresado como una fracción de la gravedad, diseñado con un coeficiente de amortiguamiento del 5% del crítico.

Para Aceleraciones espectrales con periodos menores que T_0 se define S_a mediante la siguiente ecuación:

$$S_a = 2.5 A_a F_a I \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Ecuación 0-40

Para periodos menores de Tc y Mayores de T0

$$S_a = 2.5 * A_a F_a I$$

Ecuación 0-41

Para periodos mayores a Tc y menores a TL

$$S_a = \frac{1.2 A_v F_v I}{T}$$

Ecuación 0-42

Para periodos mayores a TL

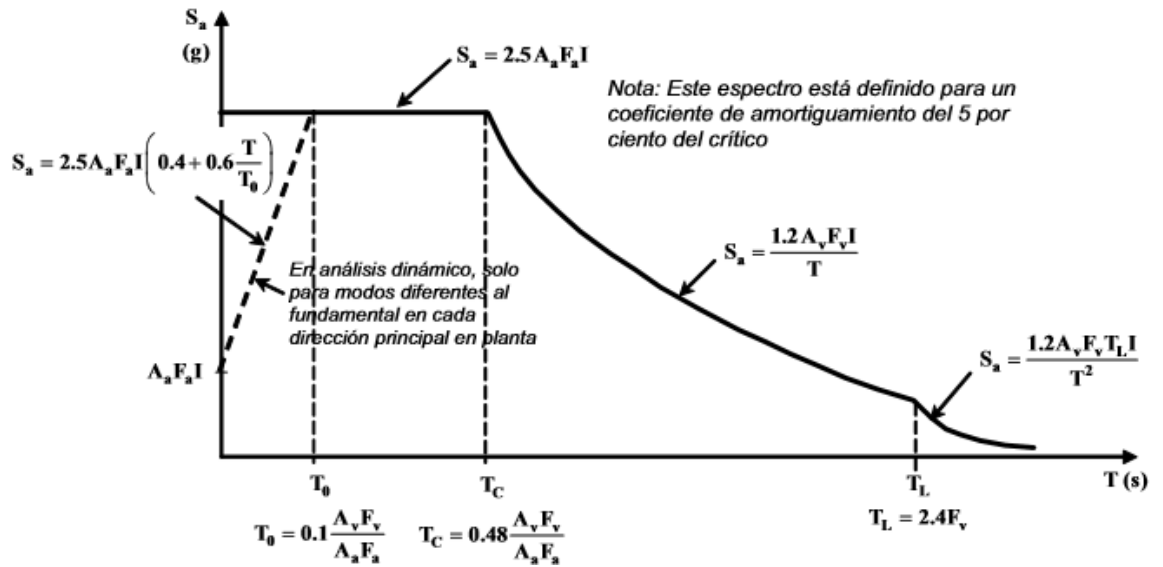
$$S_a = \frac{1.2 A_v F_v T_L I}{T^2}$$

Ecuación 0-43

Para realizar el espectro de diseño de la norma colombiana se requiere del factor I de importancia del uso de la edificación, en este caso se utilizara I = 1 (Estructura de ocupación normal).

El espectro de diseño queda de la siguiente forma:

Figura 44 Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g norma NSR-10



Fuente: NORMA COLOMBIANA NSR-10, 2010, " Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente ", 1ra Edición, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, Colombia, capítulo A.2, página A-27.

Tabla 46 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo A

Aa	0.4
Av	0.4
Fa	0.8
Fv	0.8
I	1
TC	0.48
TL	1.92
To	0.1

Fuente: María Cristina Noriega Vega



Figura 45 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo A

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 47 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo B, en Zona V

Suelo	B
Aa	0.4
Av	0.4
Fa	1
Fv	1
I	1
TC	0.48
TL	2.4
To	0.1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

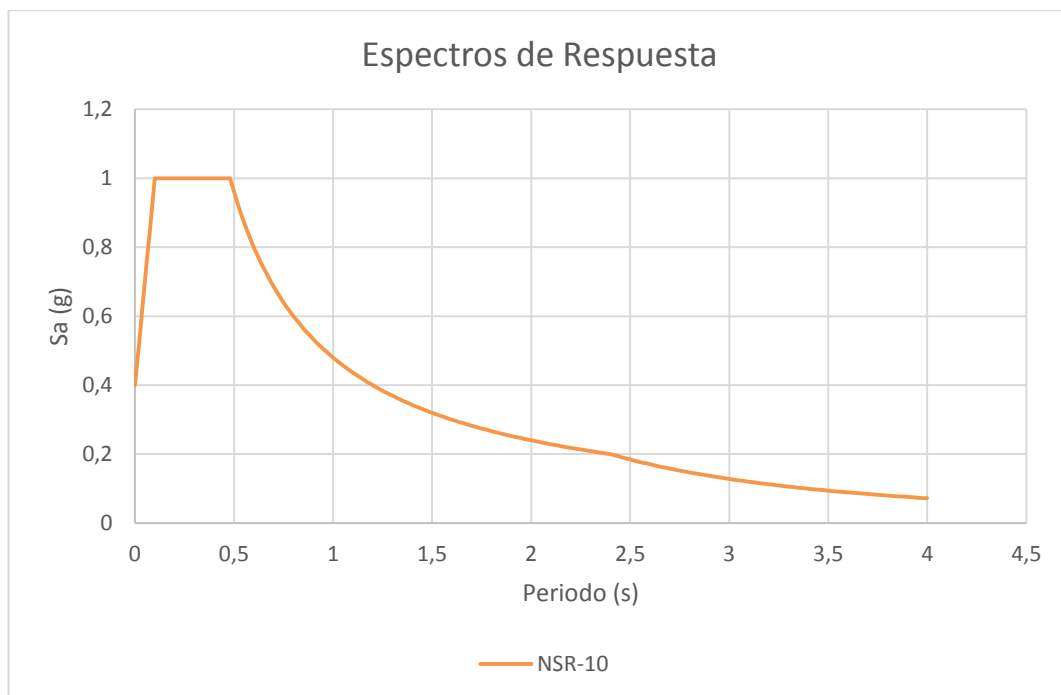


Figura 46 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo B, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 48 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo C

Suelo	C
Aa	0.4
Av	0.4
Fa	1
Fv	1.4
I	1
TC	0.672
TL	3.36
To	0.14

Fuente: María Cristina Noriega Vega

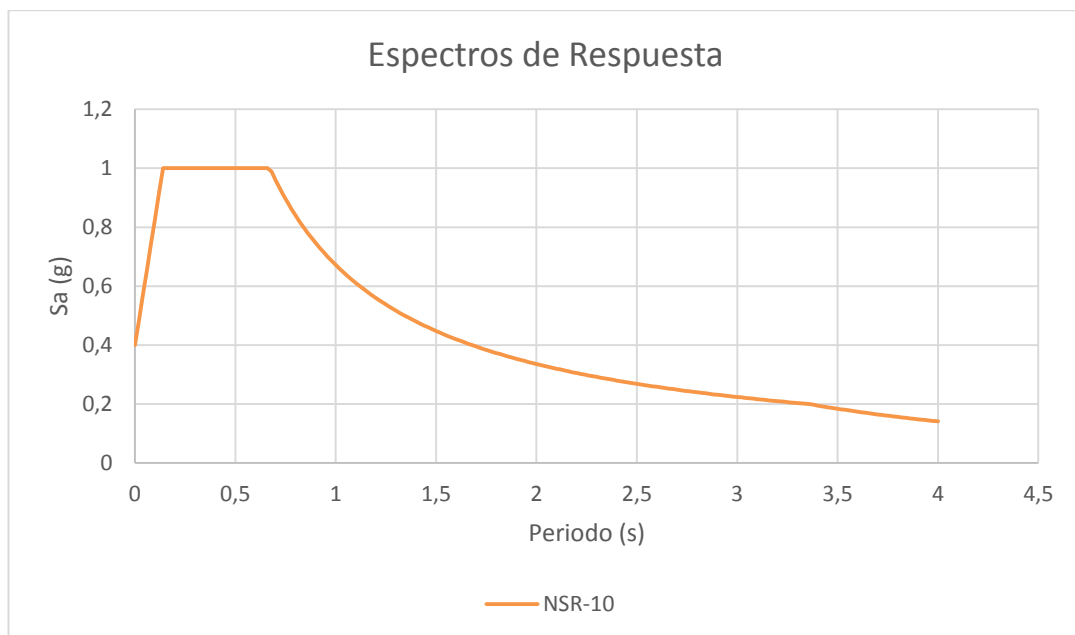


Figura 47 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 49 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo D

Suelo	D
Aa	0.4
Av	0.4
Fa	1.1
Fv	1.6
I	1
TC	0.69818182
TL	3.84
To	0.14545455

Fuente: María Cristina Noriega Vega

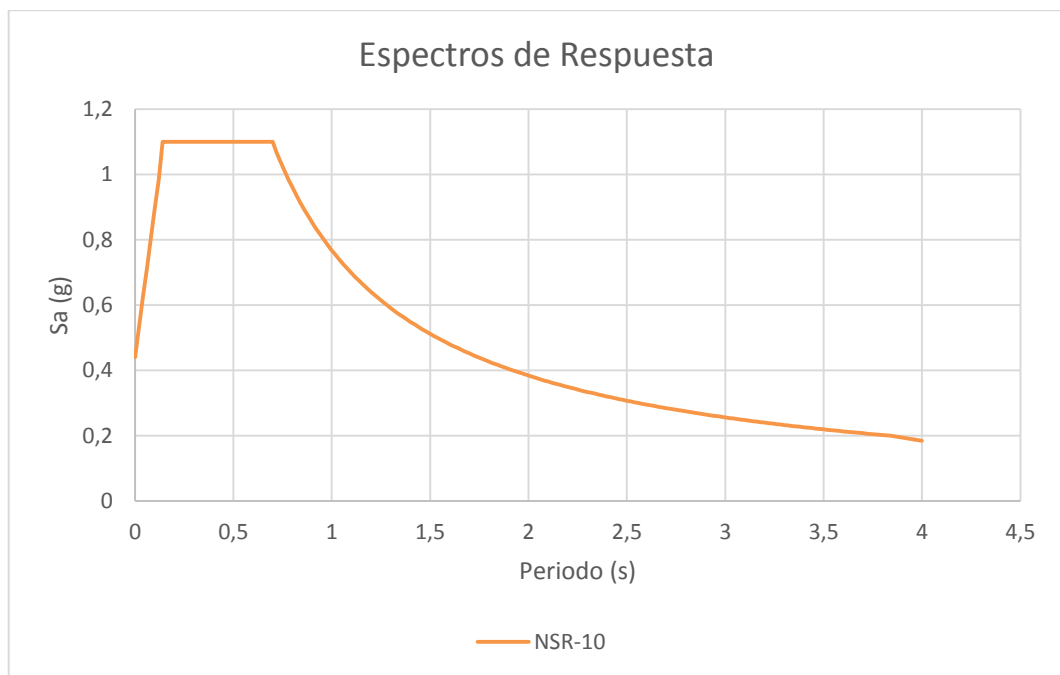


Figura 48 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 50 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NSR-10 en suelo Tipo E

Suelo	E
Aa	0.4
Av	0.4
Fa	0.9
Fv	2.4
I	1
TC	1.28
TL	5.76
To	0.26666667

Fuente: María Cristina Noriega Vega

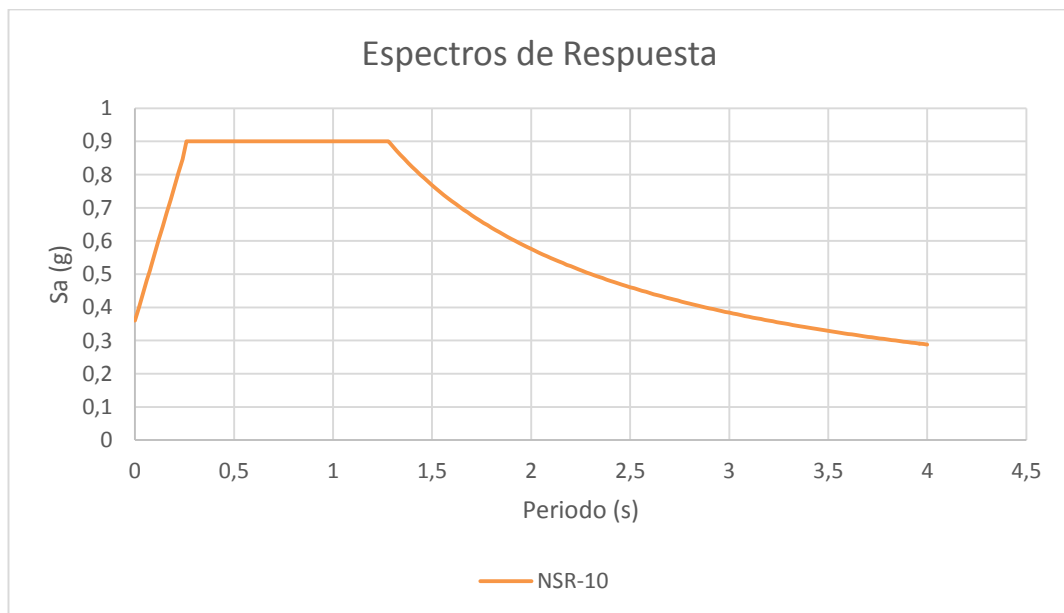


Figura 49 Espectro de Respuesta NSR-10 en suelo Tipo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.5.2.7 NZS1170.5 (2004) Norma de Nueva Zelanda

Para la norma NZS1170.5 de Nueva Zelanda, se tiene un factor de forma espectral Ch (T) que depende del tipo de suelo, y que posteriormente se multiplicará por los factores R, N (T, D) y Z, descritos en 1.4.3.7 y 1.4.4.7, para realizar el espectro de respuestas.

Tabla 51 Factor de forma Espectral Ch (T), norma NZS1170.5

Periodo, T (segundos)	Factor de forma Espectral, Ch(T) (g)			
	Clase de Sitio de subsuelo			
	A Roca dura y B Roca	C Suelos Superficiales	D Suelos profundos o suelos blandos	E Suelos muy blandos
0.0	1.89 (1.00) ¹	2.36 (1.33) ¹	3.00 (1.12) ¹	
0.1	1.89 (2.35) ¹	2.36 (2.93) ¹	3.00	
0.2	1.89 (2.35) ¹	2.36 (2.93) ¹	3.00	
0.3	1.89 (2.35) ¹	2.36 (2.93) ¹	3.00	
0.4	1.89	2.36	3.00	
0.5	1.60	2.00	3.00	
0.6	1.40	1.74	2.84	3.00
0.7	1.24	1.55	2.53	3.00
0.8	1.12	1.41	2.29	3.00
0.9	1.03	1.29	2.09	3.00
1.0	0.95	1.19	1.93	3.00
1.5	0.70	0.88	1.43	2.21
2.0	0.53	0.66	1.07	1.66
2.5	0.42	0.53	0.86	1.33
3.0	0.35	0.44	0.71	1.11
3.5	0.26	0.32	0.52	0.81
4.0	0.20	0.25	0.40	0.62
4.5	0.16	0.20	0.32	0.49

Nota: ¹ Los valores en paréntesis corresponden a valores espectrales para el espectro modal de respuestas y para métodos numéricos de integración de tiempo historia, para valores C(T) requeridos para carga vertical, y para valores de Ch(0) requeridos para evaluar partes en la cláusula 8.2

Fuente: Norma de Nueva Zelanda NZS1170.5, 2004, " Structural Design Actions- Part 5: Earthquake actions ", Technical Committee BD-006-04-11, Wellington, capítulo 3, página 11. Traducido por María Cristina Noriega Vega

Tabla 52 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo A, en Zona V

Probabilidad de excedencia 1/500	
Z	0.4
R	1
N(T,D)	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

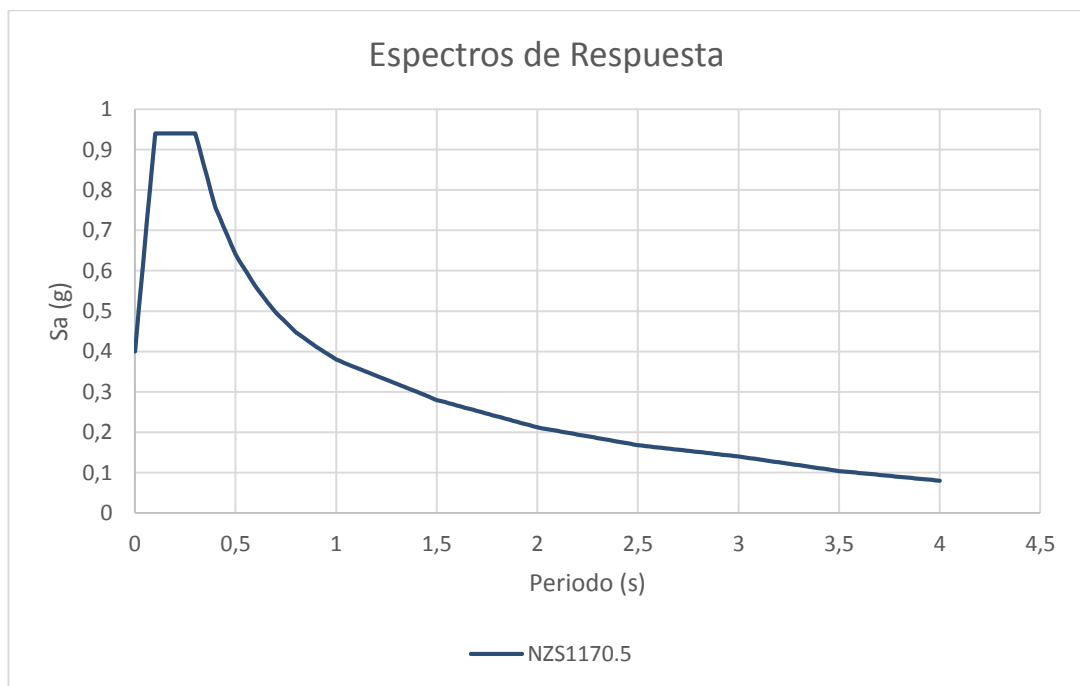


Figura 50 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo A, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 53 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo B, en Zona V

Probabilidad de excedencia 1/500	
Suelo	B
Z	0.4
R	1
N(T,D)	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

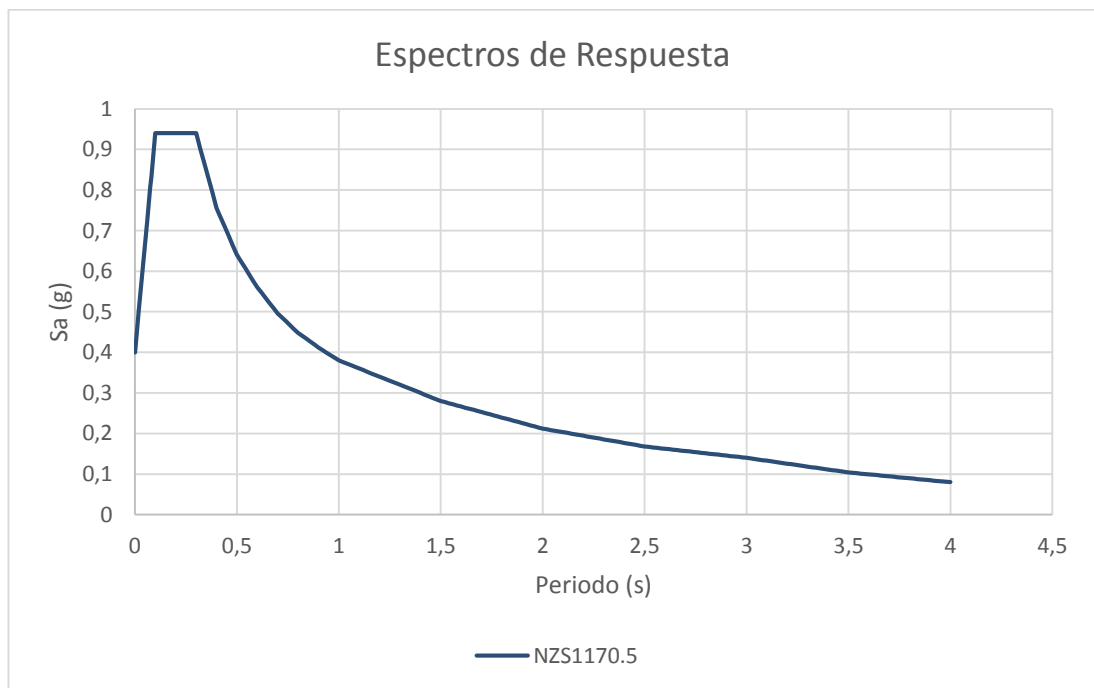


Figura 51 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo B, en Zona V

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 54 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo C

Probabilidad de excedencia 1/500	
Suelo	C
Z	0.4
R	1
N(T,D)	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

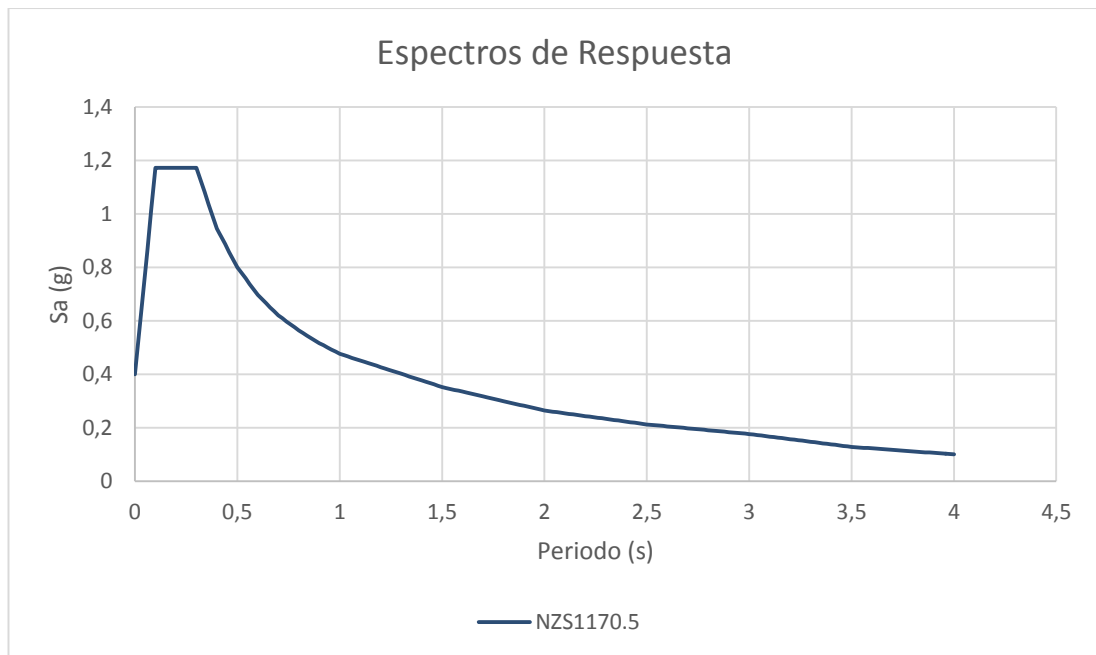


Figura 52 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Tabla 55 Coeficientes y factores calculados para graficar espectro de Respuesta Elásticos de la NZS1170.5-2004 en suelo Tipo E

Probabilidad de excedencia 1/500	
Suelo	E
Z	0.4
R	1
N(T,D)	1

Fuente: María Cristina Noriega Vega

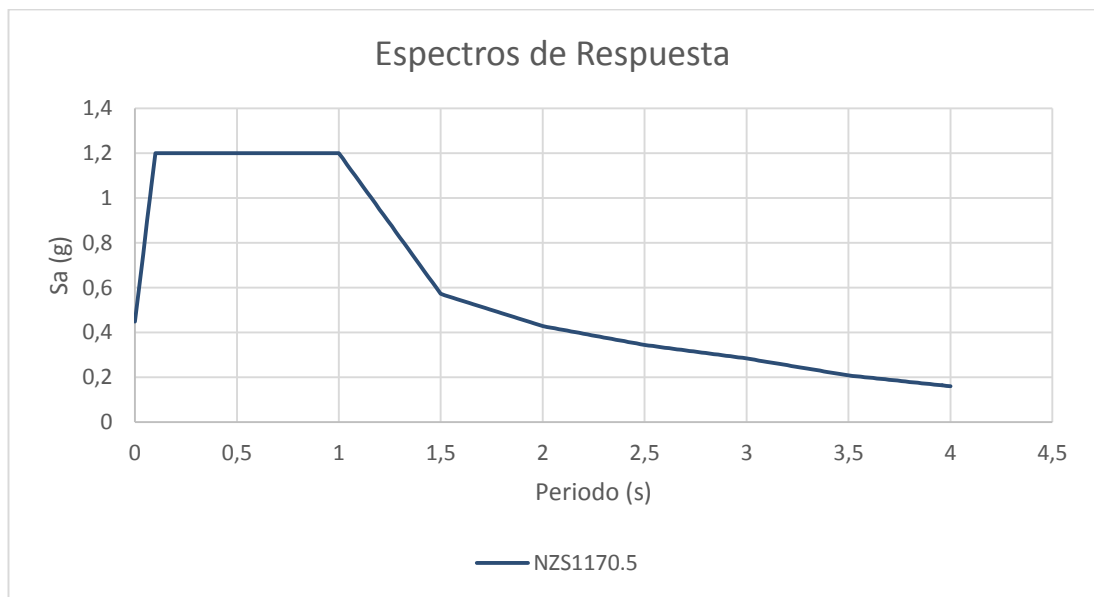


Figura 53 Espectro de Respuesta NZs1170.5-2004 en suelo Tipo E

Fuente: María Cristina Noriega Vega

CAPÍTULO III

1.6 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA

Los espectros de respuesta de las normas obtenidos en el capítulo 2 se compararán para los suelos A, B, C, D y E, y para la zona V (0.4 g) de la norma NEC NS DS, para esta comparación se ha elaborado una tabla en la cual se han descrito en niveles similares los diferentes tipos de suelo de las normas a compararse en base a la velocidad de onda de corte V_s de los diferentes estratos.

Tabla 56 Comparación de los tipos suelos de las diferentes normas

NEC SE DS		ASCE 7		EUROCÓDIGO 8		E.030		NCH433		NSR 10		NZS 1170.5	
Perfi l	V_s	Perfi l	V(s)	Perfil	V(s) 30 m/s	Perfil	V_s	Perfil	V_s 30 m/s	Perfil	V_s	Perfi l	V_s 30 (m/s)
A	$V_s \geq 1500$ m/s	A	>5000ft/s (1524m/s)	A	>800	S_0	>1500 m/s	A	≥ 900	A	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s	A	>1500
B	1500 m/s $>V_s \geq 360$ m/s	B	2500 a 5000 ft/s (762 a 1524 m/s)			S_1	500 m/s a 1500 m/s	B	≥ 500	B	1500 m/s $> \bar{V}_s \geq 760$ m/s	B	>360
C	760 m/s $>V_s \geq 360$ m/s	C	1200 a 2500 ft/s (365.76 a 762 m/s)			B	360-800	C	≥ 350	C	760 m/s $> \bar{V}_s \geq 360$ m/s		
D	360 m/s $>V_s \geq 180$ m/s	D	600 a 1200 ft/s (182.88 a 365.76 m/s)	C	180-360	S_2	800 m/s a 500 m/s	D	≥ 180	D	360 m/s $> \bar{V}_s \geq 180$ m/s	C y D	360-150
E	$V_s < 180$ m/s	E	<600 ft/s (182,88 m/s)	D	<180	S_3	<180 m/s	E	<180	E	180 m/s $> \bar{V}_s$	E	<150

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Los espectros de respuesta de las diferentes normas serán comparados a su vez con espectros de respuesta obtenidos de acelerogramas de sismos que se han tomado en la zona V, en la roca madre, los acelerogramas fueron dados por el departamento de sismología del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), y fueron procesados por el software libre para ingeniería sísmica PRISM (Programa para análisis de respuesta sísmica de sistemas SDOF).

1.6.1 Programa para Ingeniería sísmica PRISM

PRISM es un programa de análisis de respuesta sísmica para sistemas de un grado de libertad (SDOF), este procesa y filtra datos de sismos, calcula respuestas en la historia de estructuras con distintos modelos de histéresis, y genera espectros de respuesta elásticos e inelásticos, permite escalar al PGA (aceleración pico del suelo), cortar o corregir con la línea de base los datos de los sismos antes de la integración en el tiempo, los datos numéricos pueden ser fácilmente recopilados (Seong-Hoon Jeong, Kwang-Ho Lee, Won-Seok Jang, 2016).

Para los espectros de respuesta el programa utiliza el método de integración de Newmark, sus parámetros pueden ser modificados dentro del programa, permite de obtener hasta cinco diferentes valores de amortiguamiento viscoso.

PRISM ha sido desarrollado para brindar a profesionales, investigadores y estudiantes una herramienta para investigar de una forma sencilla las respuestas sísmicas de las estructuras, el programa permite su libre distribución de su forma original y su licencia

expira cada año el 31 de Diciembre, después se puede volver a descargar libremente su nueva versión en la dirección web <http://sem.inha.ac.kr/prism/index.htm>.

Para su funcionamiento se requiere de Windows® XP/Vista/7/8 en adelante.

1.6.1.1 Pasos para obtener los espectros de respuesta en base a acelerogramas de sismos locales

Se inicia identificando los datos del sismo, el programa puede procesar dos tipos, el primer formato tiene una columna para el tiempo y la segunda columna para la aceleración, el segundo formato utiliza el formato NGDC (Centro Nacional Geográfico de Datos del NOAA) o NGA (Siguiete Generación del Modelp de Atenuación) formato de los acelerogramas brindados por el IGEPN (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional)

Units of Raw Data File

g cm/sec²
 mm/sec² m/sec²
 in/sec² ft/sec²

Data Setting

NGDC/NGA Format

First Line to read: First Line to read:
 Max. Line to read: Time Step:
 Time Step: (auto detect) Num. of data each line:

Delimiters

default delimiters ([space],[tab],[,],[.],[/],[:],[.],[.],[.]) use custom delimiter

Raw File Data

1	Archivo de aceleración parte de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) Ecuador
2	Aceleración cm/s ²
3	Fecha del evento UTM (aammdd): 2010 8 12
4	Hora del registro UTM (hhmmss): 11 54 30.00
5	Estación: BELLA
6	Componente: 1
7	Tasa de muestreo: 5.000000e+01
8	-0.0049 0.0164 0.0014 0.0114 -0.0080 -0.0049
9	0.0246 0.0208 0.0033 -0.0155 0.0083 0.0189
10	-0.0105 0.0120 -0.0055 -0.0036 0.0164 -0.0105
11	0.0089 0.0064 -0.0024 0.0227 0.0102 -0.0130
12	-0.0011 0.0064 0.0064 0.0039 0.0008 -0.0011
13	-0.0049 0.0152 0.0208 0.0102 -0.0043 -0.0005
14	0.0039 -0.0068 0.0095 0.0145 -0.0068 -0.0011
15	0.0145 0.0127 0.0039 0.0039 0.0058 -0.0011

Line number

Figura 54 Ingreso de datos NGDC en el programa PRISM

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.2 Espectros de Respuesta de los sismos obtenidos mediante el IGEPN

El Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional brindo datos de aceleraciones de cuatro sismos significativos con una magnitud M en escala de Richter mayor a 5, con las características descritas en la siguiente tabla.

Tabla 57 Lista de Sismos IGEPN

EVENTO							ESTACIÓN			
Año	Me s	Dí a	Magnitu d	Latitu d	Longitu d	Profundidad (Km)	Códig o	Latitud	Longitu d	Tasa de muestreo (Hz)
2010	8	12	7.2	-1.42	-77.52	238	BELL	- 0.18240	- 78.46180	50
2013	2	9	7	1.15	-77.37	137	EPN	- 0.21199	- 78.49165	100
							CIRC	- 0.19630	- 78.48755	100
2014	8	12	5.1	-0.05	-78.42	5	EPN	- 0.21199	- 78.49165	100
							IRD	- 0.19710	- 78.48100	100
2015	4	28	5.8	-2.14	-79.86	70	EPN	- 0.21199	- 78.49165	100

Fuente: Departamento de Sismología, 2016, IGEPN.

1.6.3 Extracción de datos con el programa PRISM de los Sismos del IGEPN

Los siguientes sismos están escalados al $PGA = 0.4$ g, pertenecientes a la zona V del NEC-NS-DS, el amortiguamiento utilizado es del 5% del amortiguamiento crítico, las unidades están expresadas en gravedad (g) y segundos (s).

1.6.3.1 Sismo 12 de agosto del 2010

Estación BELL E

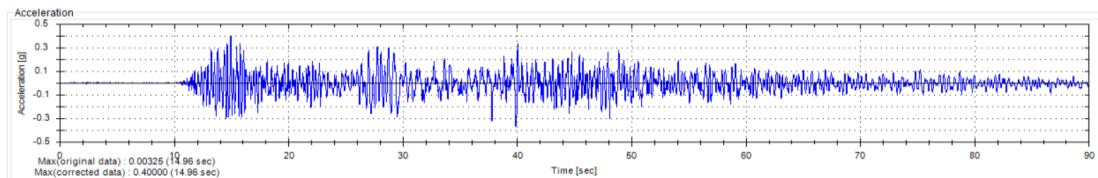


Figura 55 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

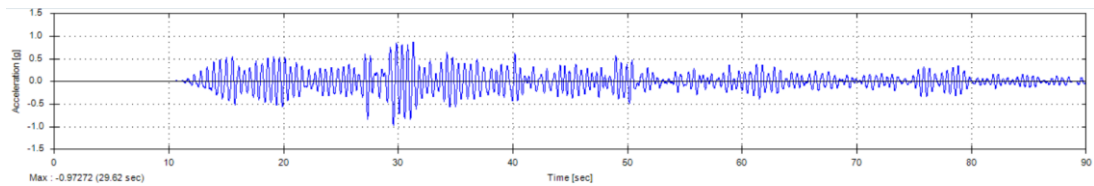


Figura 56 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

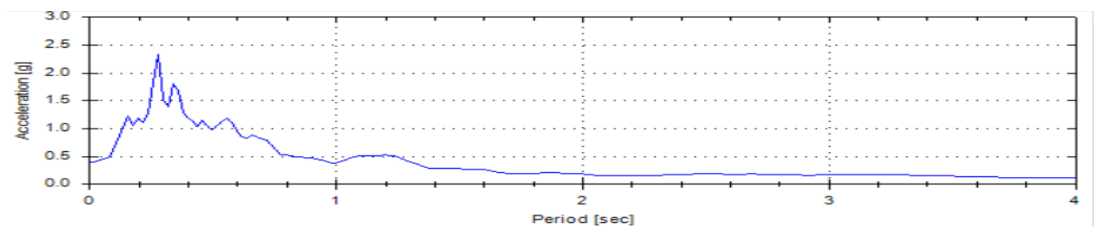


Figura 57 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

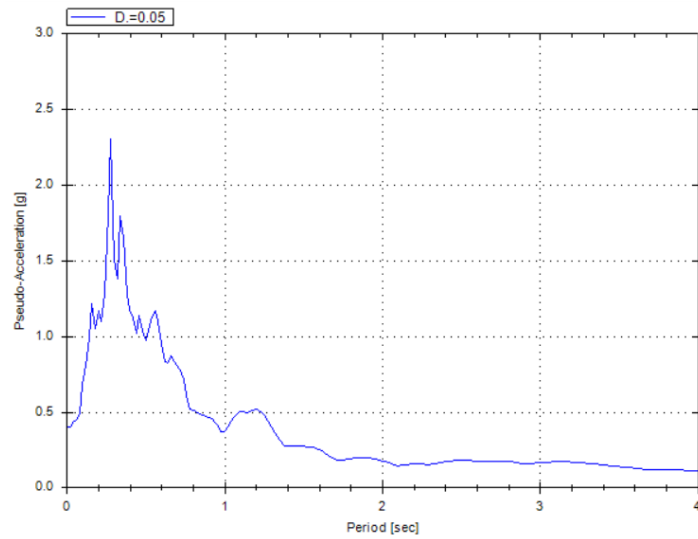


Figura 58 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación BELL N

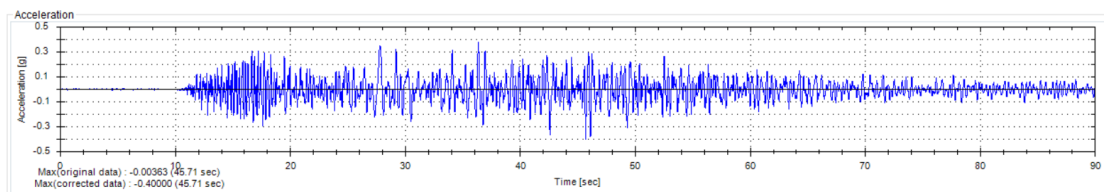


Figura 59 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

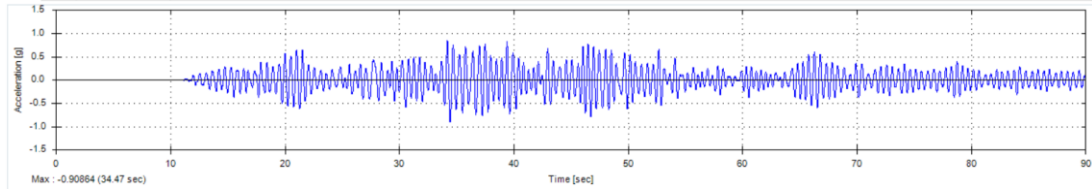


Figura 60 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

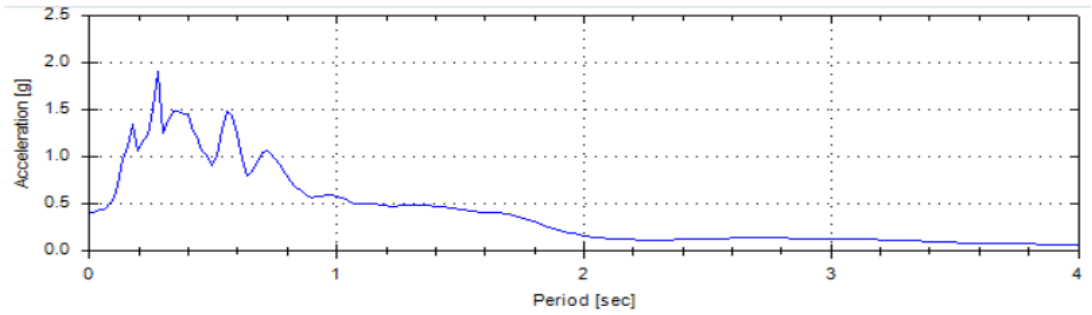


Figura 61 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

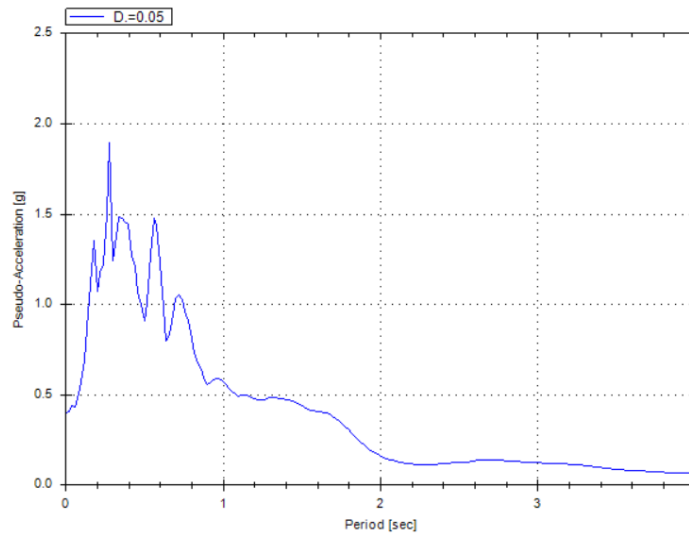


Figura 62 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.3.2 Sismo 9 de Febrero del 2013

Estación EPN E

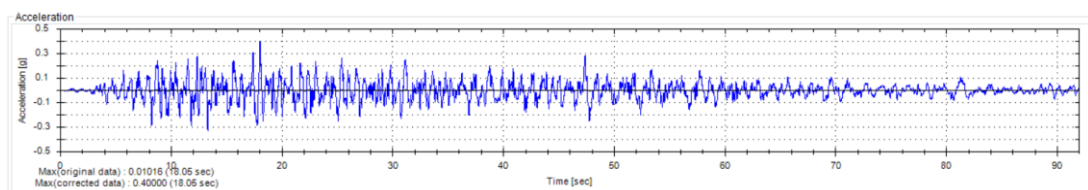


Figura 63 Acelerograma en PRISM sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

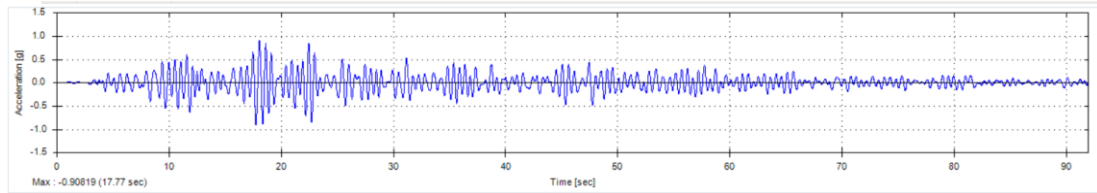


Figura 64 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

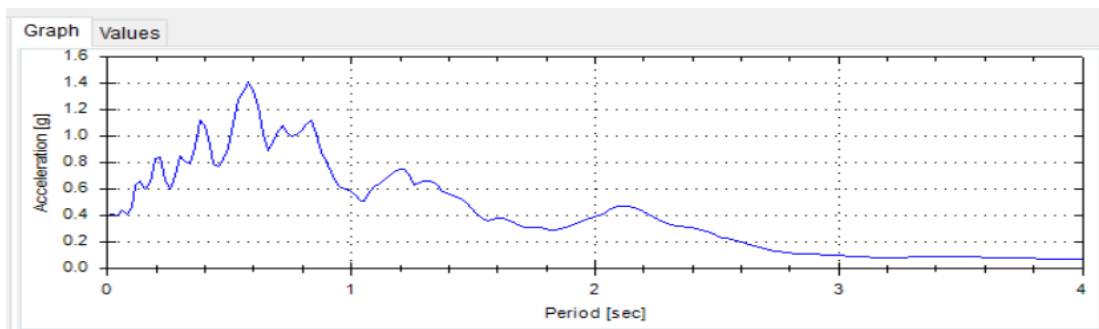


Figura 65 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

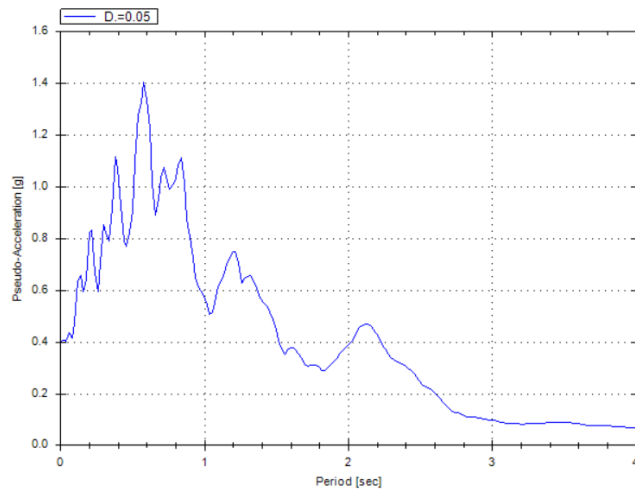


Figura 66 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación EPN N

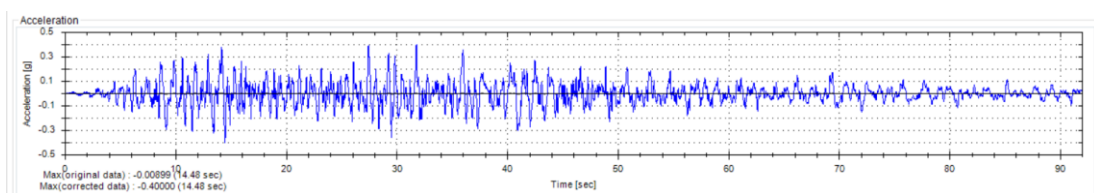


Figura 67 Acelerograma en PRISM sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

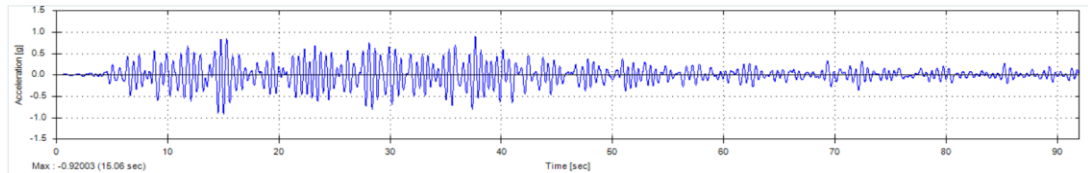


Figura 68 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

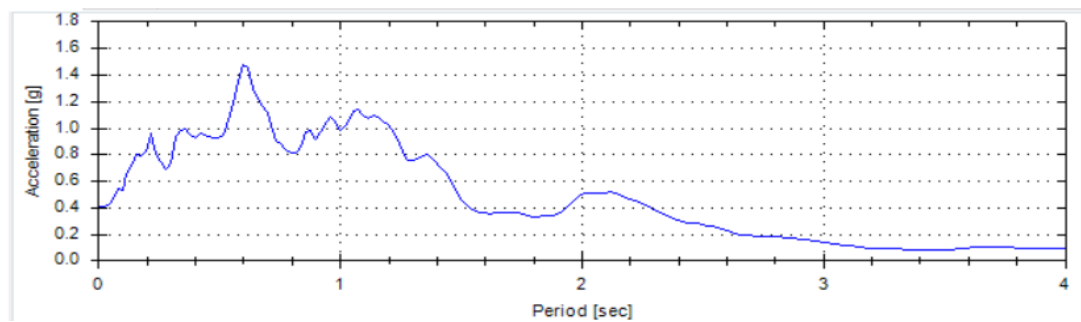


Figura 69 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

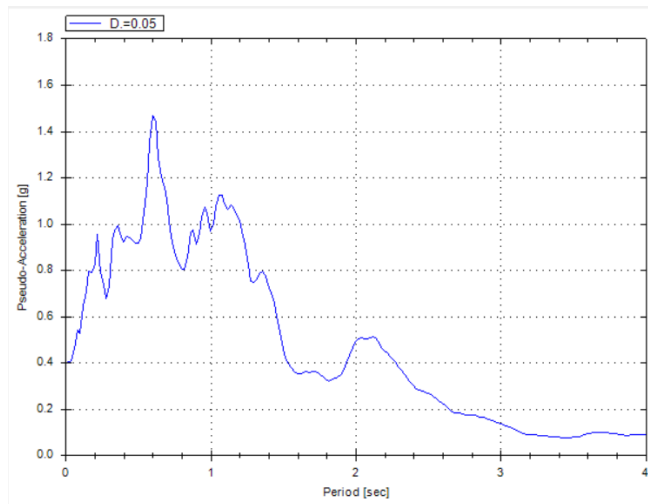


Figura 70 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Sismo 12 de Agosto del 2014

Estación EPN E

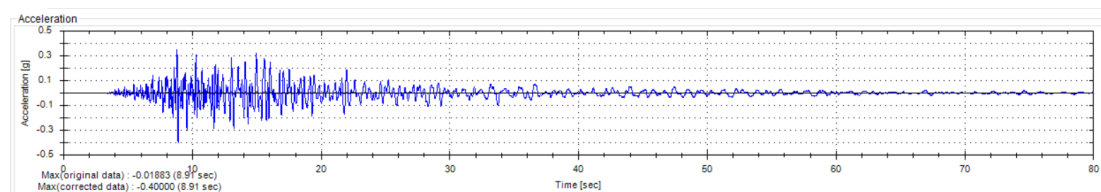


Figura 71 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

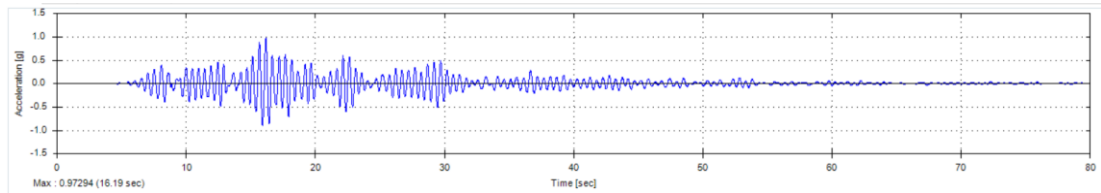


Figura 72 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

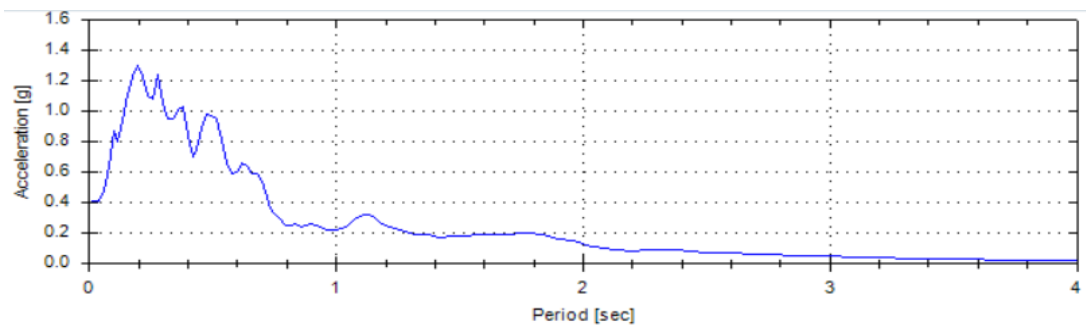


Figura 73 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

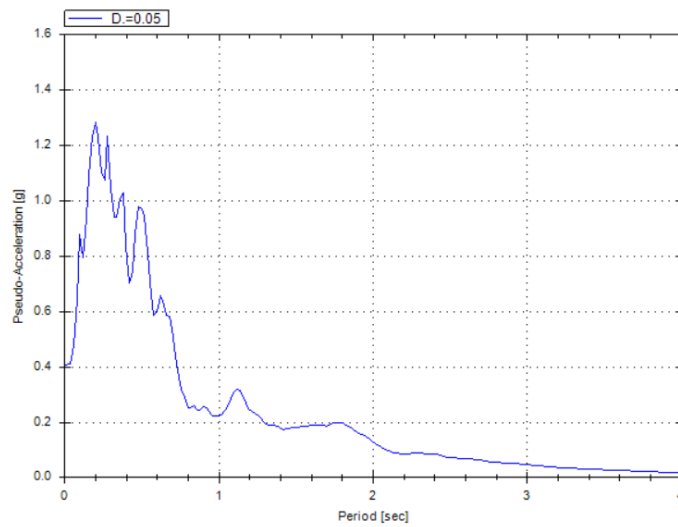


Figura 74 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación EPN N

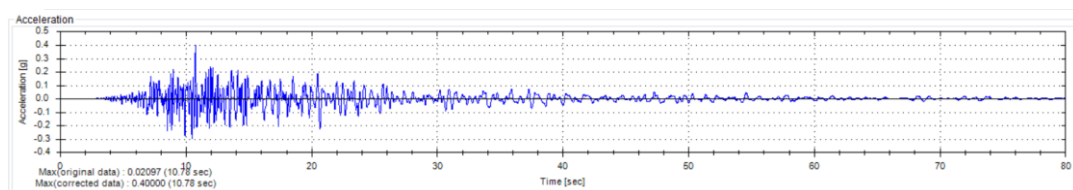


Figura 75 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

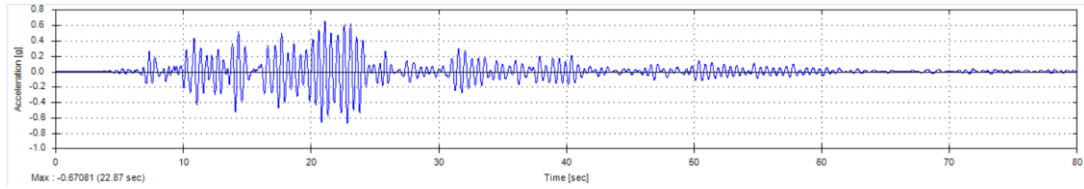


Figura 76 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

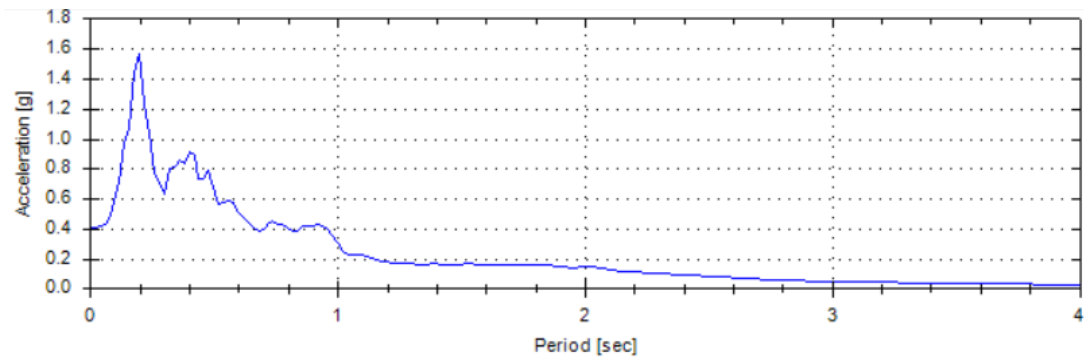


Figura 77 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

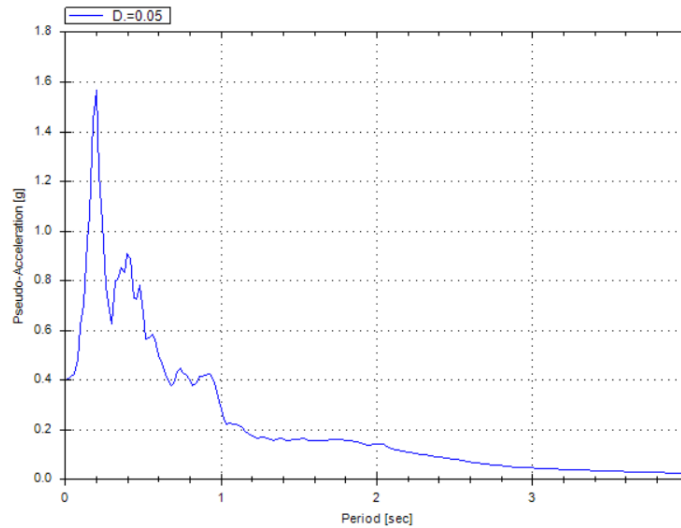


Figura 78 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación IRD E

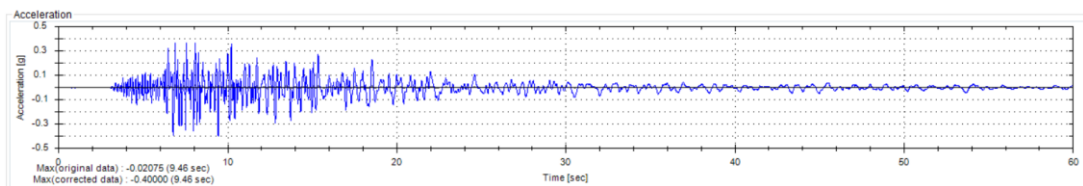


Figura 79 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

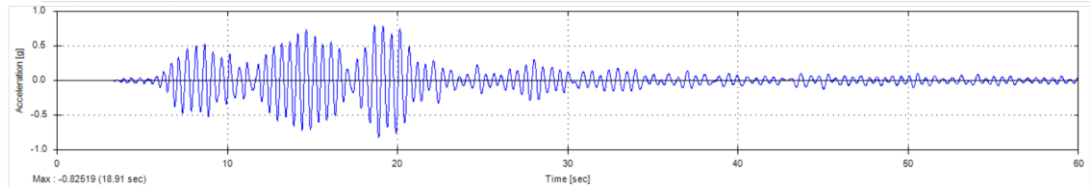


Figura 80 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

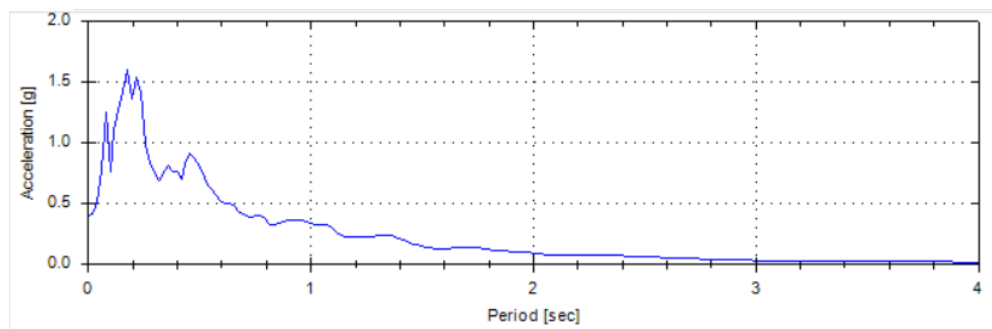


Figura 81 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

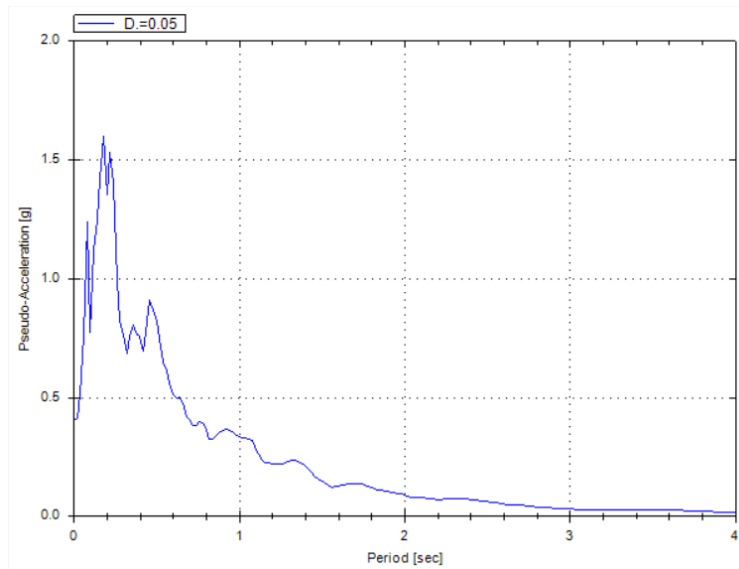


Figura 82 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación IRD N

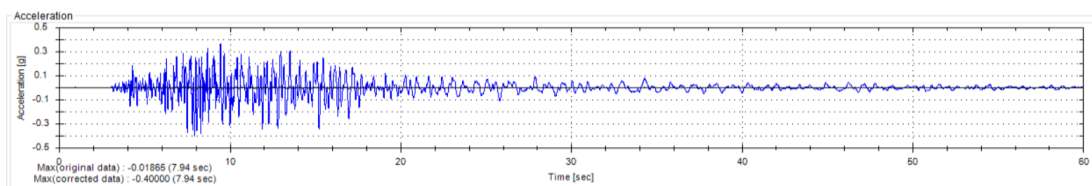


Figura 83 Acelerograma en PRISM sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

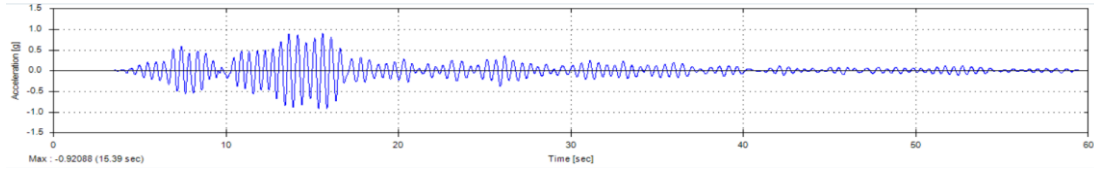


Figura 84 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

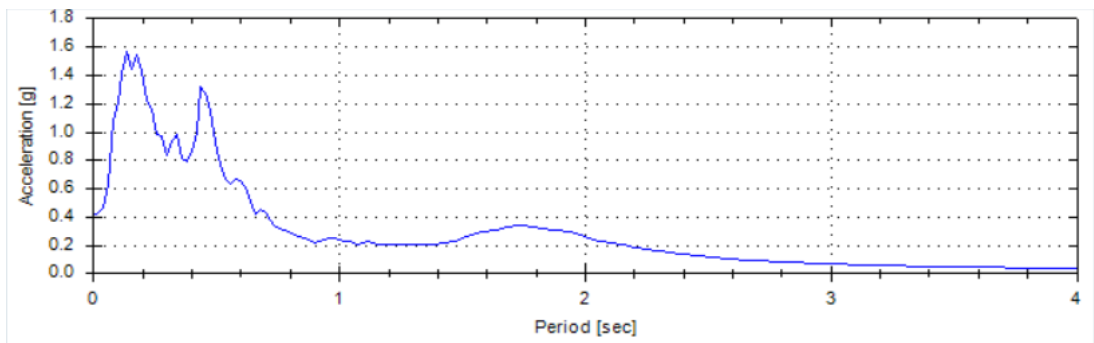


Figura 85 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

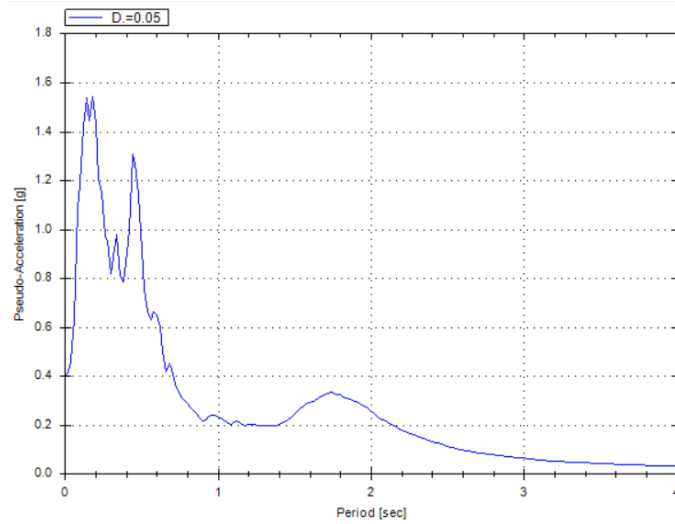


Figura 86 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.3.3 Sismo 28 Abril del 2015

Estación EPN E

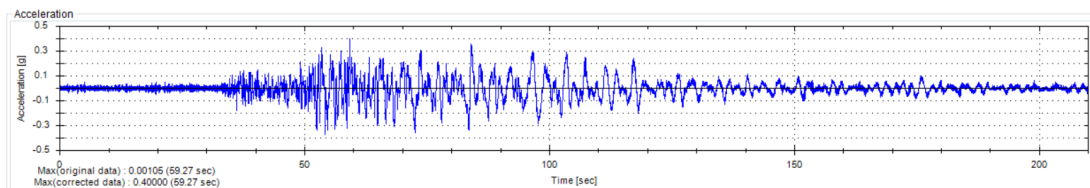


Figura 87 Acelerograma en PRISM sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

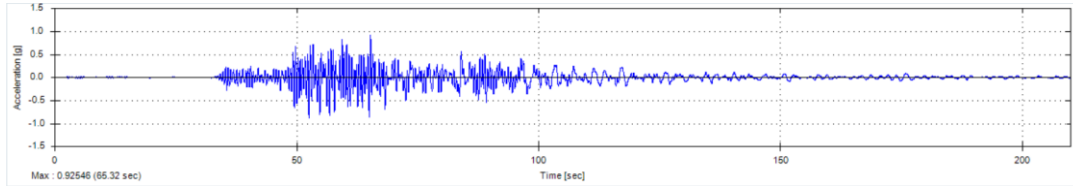


Figura 88 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

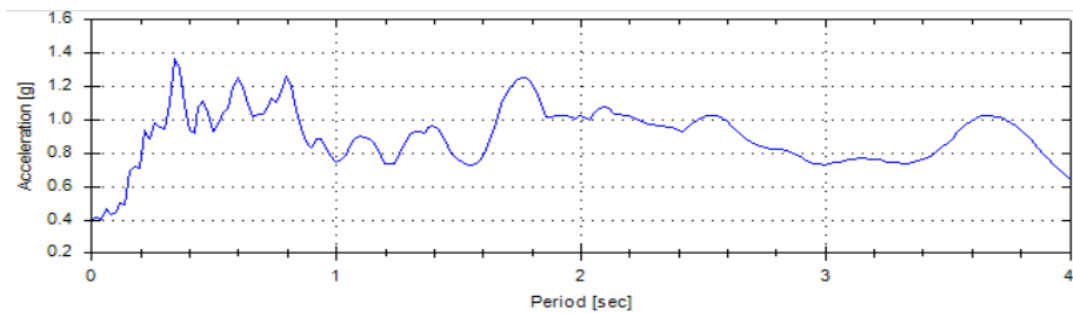


Figura 89 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

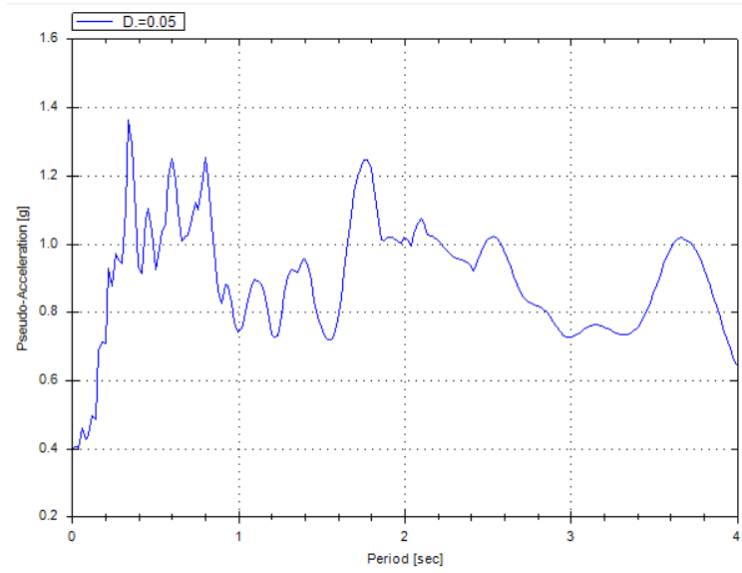


Figura 90 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Estación EPN N

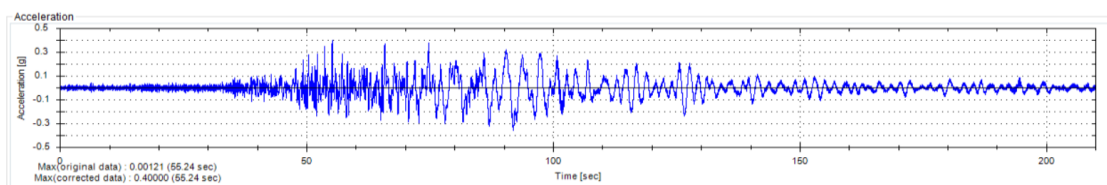


Figura 91 Acelerograma en PRISM sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

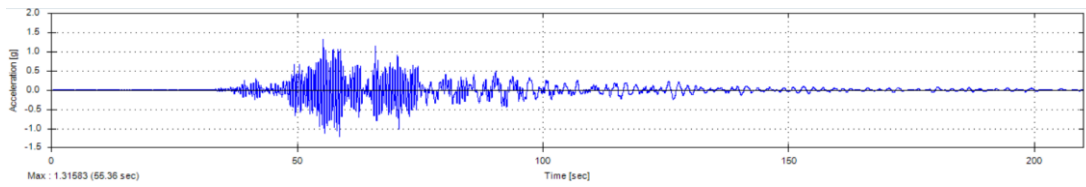


Figura 92 Respuesta tiempo-historia elástico lineal sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

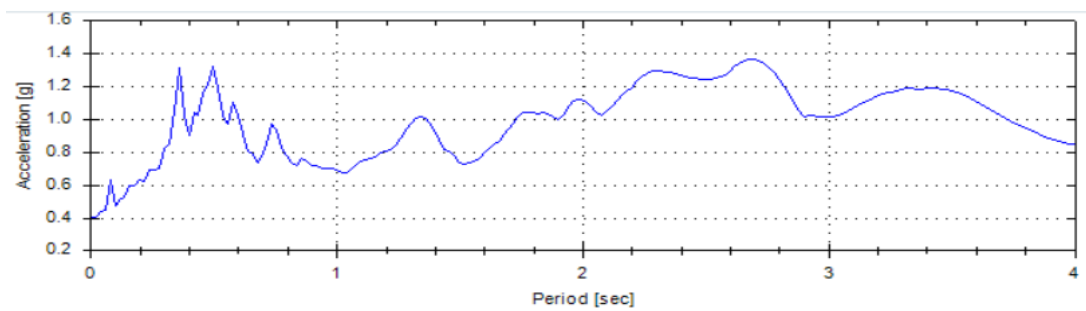


Figura 93 Espectro de Respuesta elástico Aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

Amortiguamiento viscoso 5%

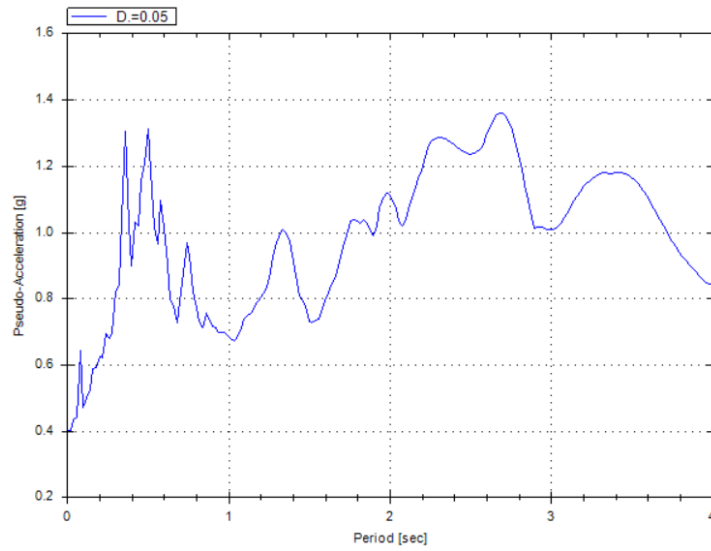


Figura 94 Espectro de Respuesta elástico Pseudo-aceleración vs Periodo sismo del 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.4 Sismo 16 Abril del 2016

El sismo del 16 de abril 2016 con epicentro en Pedernales, de magnitud 7.8 con un profundidad de 19.2km, es el resultado del movimiento de las placas tectónicas de Nazca debajo de la Placa Continental, fue un sismo devastador para el Ecuador muchas estructuras colapsaron por lo que este sismo entra dentro del rango de un sismos de magnitudes muy altas, cercano geológicamente al origen de los sismos ocurridos, el 14 mayo 1942 con una magnitud de 7.8, el sismo del 19 enero de 1958 de magnitud 7.8 y el sismo ocurrido el 12 diciembre de 1979 de magnitud 8.1.

En la siguiente figura se muestran la distribución de intensidades del sismo ocurrido a las 18:58 en tiempo local el 16 de abril 2016 con epicentro en las coordenadas:

Latitud 0.352

Longitud -79.926

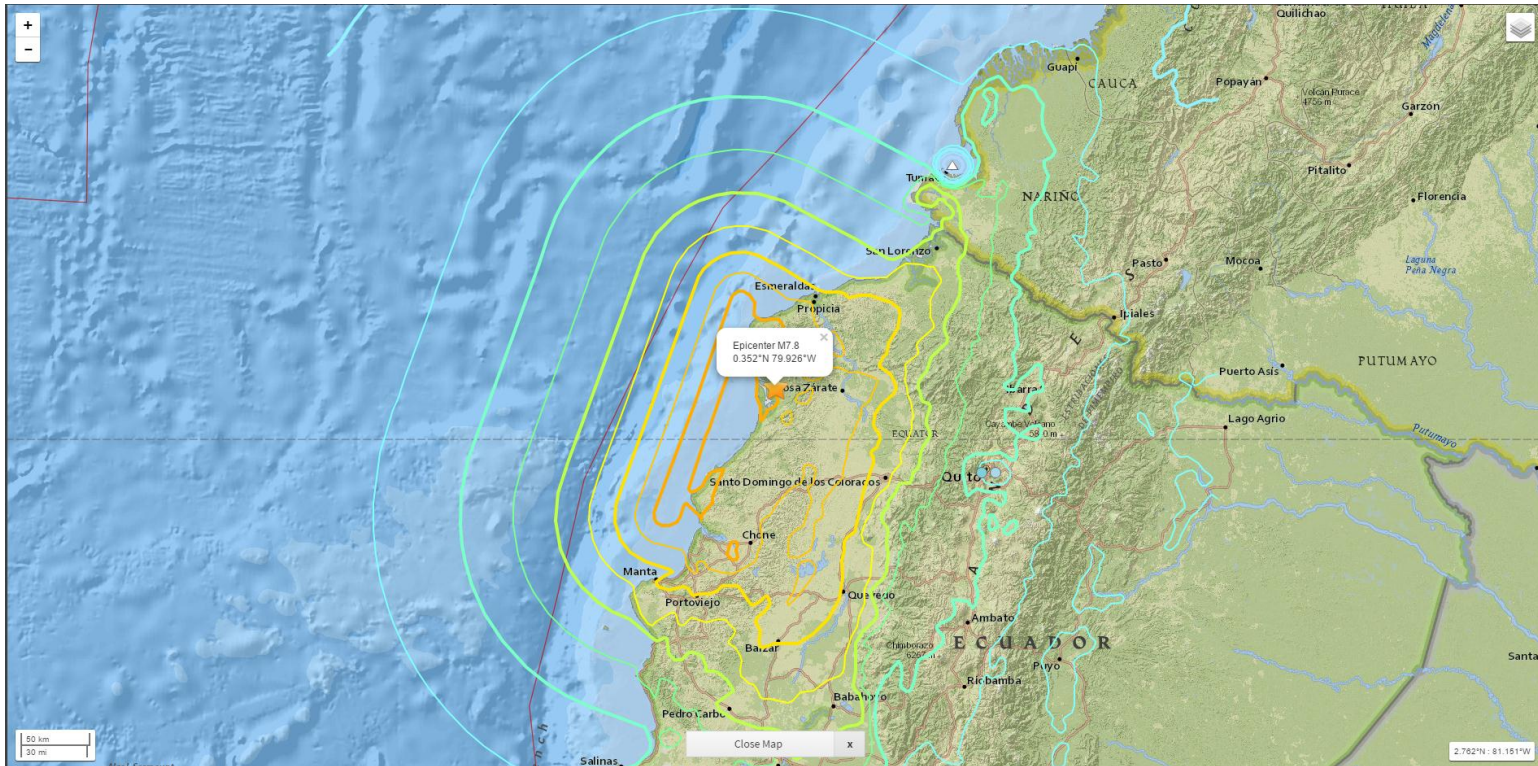


Figura 95 Distribución de Intensidades USGS sismo 16 04 2016

Fuente: USGS

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#map?ShakeMapStations=true&shakemapSource=us&shakemapCode=us20005j32>

En el siguiente gráfico obtenido de la página web de la USGS se puede observar en porcentaje de g, las aceleraciones máximas del suelo PGA del sismo del 16 de abril del 2016 con el epicentro en Pedernales, de magnitud 7.8 a 19.2 km de profundidad, en la zona del epicentro VIII se puede observar que llega a 0.4 g, aceleraciones ya consideradas como destructivas para las estructuras.

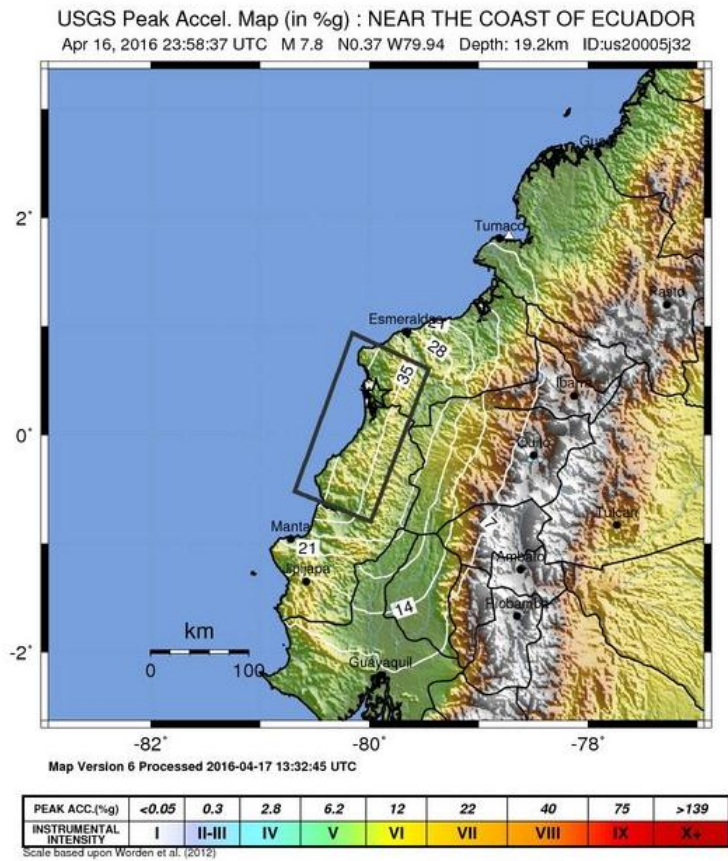


Figura 96 PGA del sismo 16 de abril del 2016 USGS

Fuente USGS: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>

El IGEPN ha brindado en su informe N18 las aceleraciones del sismo procesadas, obtenidas de varias estaciones y la mayor aceleración alcanzó 1.40 g en la estación APED ubicada en pedernales, seguidas de la estación AMNT de manta cuya aceleración llegó a 0.5241 g y la estación de APO1 de Portoviejo que llegó a 0.38 g.

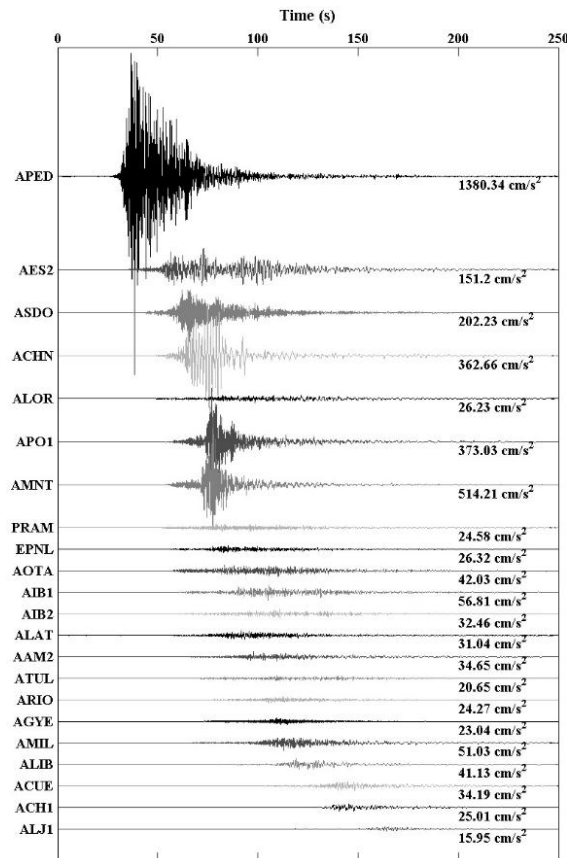


Figura 97 Acelerograma del sismo del 16 de abril del 2016 IGEPN

Fuente: IGEPN <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>

El USGS publicó el 17 de abril del 2016 las máximas aceleraciones espectrales PSA (Peak spectral acceleration) del sismo del 16 de abril del 2016 a los periodos de 0.3 s, 1 s y 3 s.

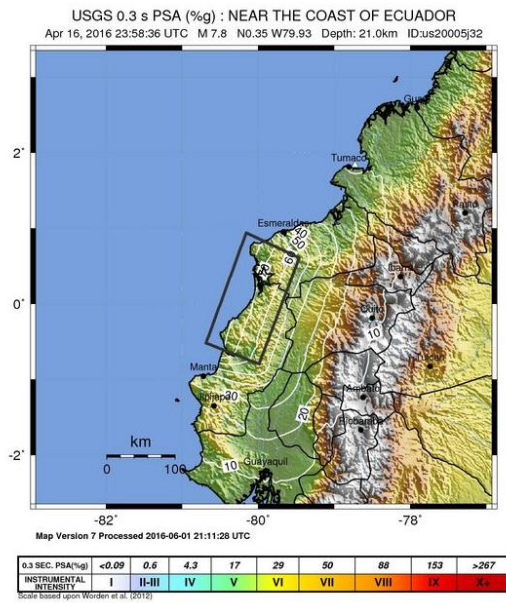


Figura 98 PSA a los 0.3 s sismo 16 04 2016 de la USGS

Fuente: USGS <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>

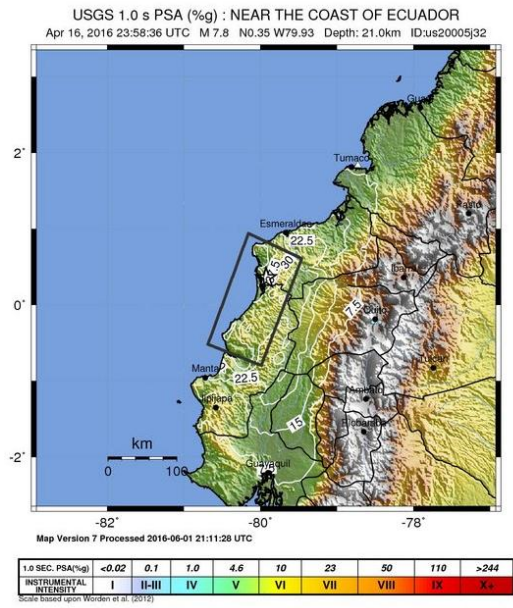


Figura 99 PSA al 1 s sismo 16 04 2016 de la USGS

Fuente: USGS <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>

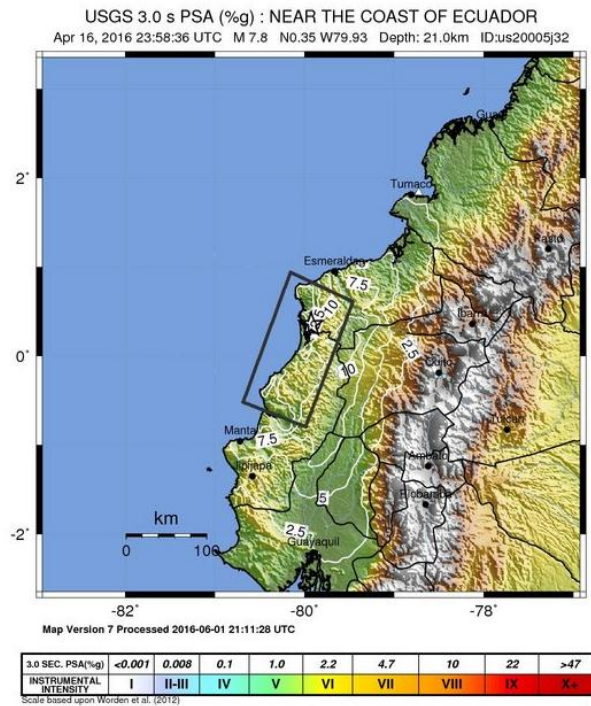


Figura 100 PSA a los 3 s sismo 16 04 2016 de la USGS

Fuente: USGS <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>

1.6.5 Comparación de los Espectros de Respuesta de las diferentes normas

Se comparará los espectros de las normas según los tipos de suelos, como está indicado en la Tabla 56 Comparación de los tipos suelos de las diferentes normas, además se comparará con los espectros elásticos de respuesta obtenidos con el programa PRISM de los sismos con los datos del IGEPN.

Las normas a compararse son:

ASCE/SEI-7-10

Euro código 8. Diseño de Estructuras Sismo resistentes

Norma E.030. Diseño Sismo resistente de Perú con su actualización DS-003-2016

NCH433.Of1996. Norma Chilena de la Construcción

NEC SE DS Norma Ecuatoriana de la construcción

NSR-10. (2010). Norma Sismo Resistente de Colombia

NZS 1170.5 Norma de Nueva Zelanda

1.6.5.1 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA EN SUELO A

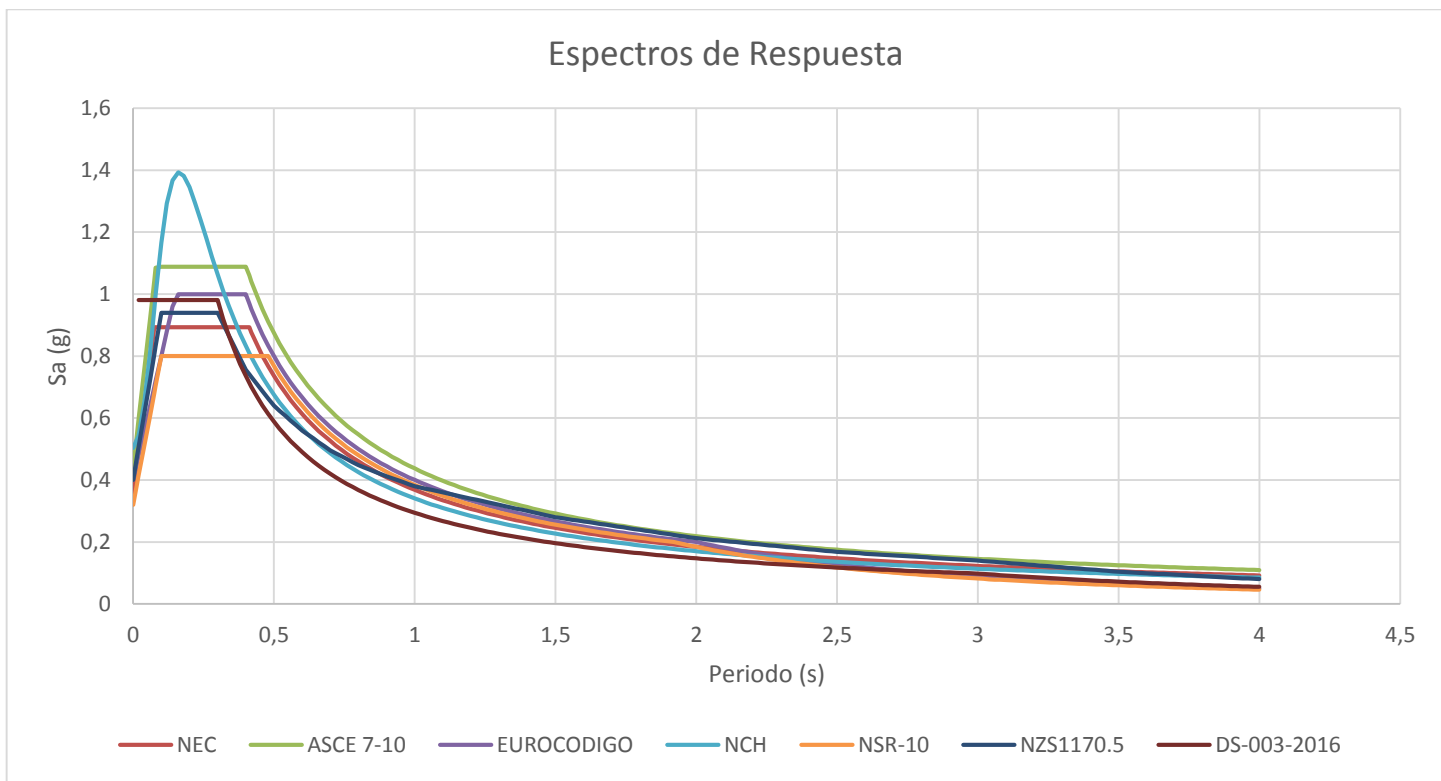


Figura 101 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo A

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.5.2 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA EN SUELO B ROCA MADRE, Y COMPARACIÓN CON LOS SISMOS OBTENIDOS

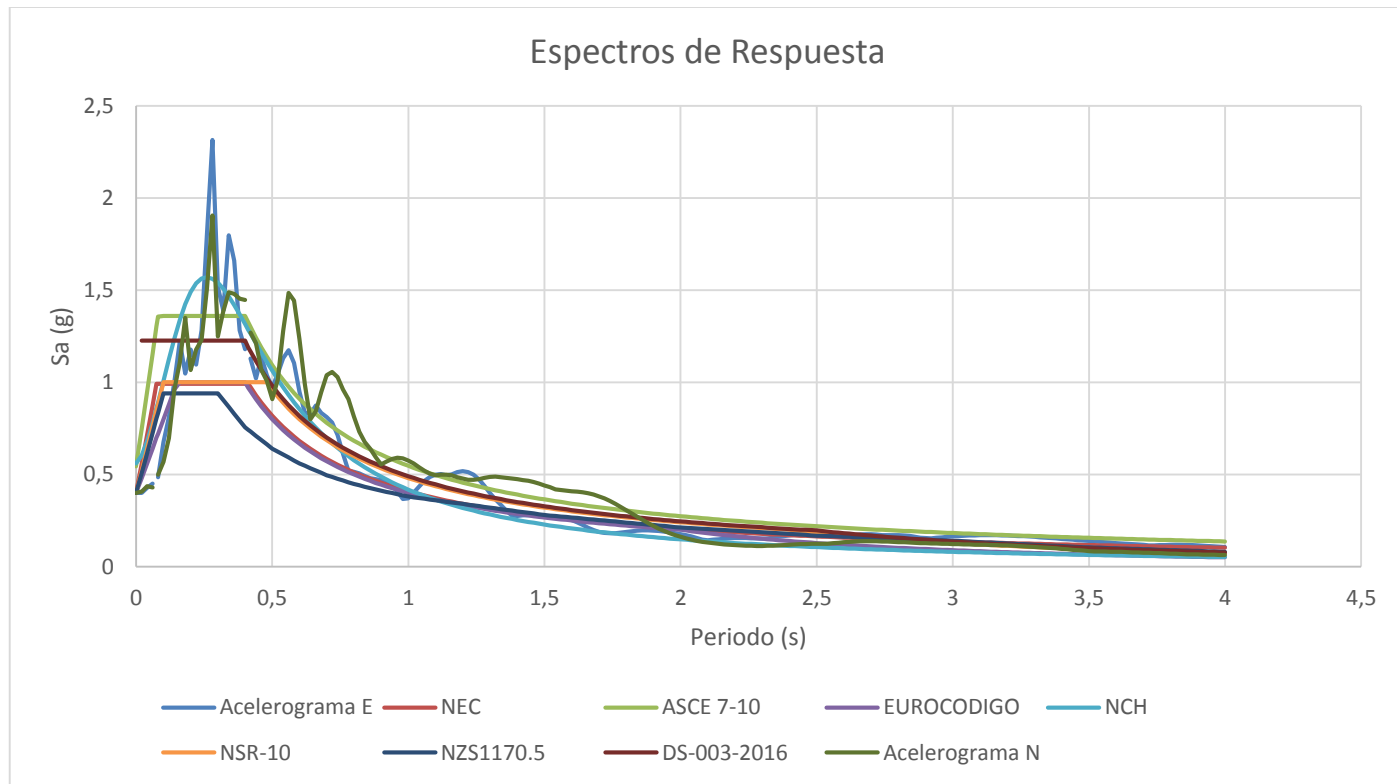


Figura 102 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 12 08 2010

Fuente: María Cristina Noriega Vega

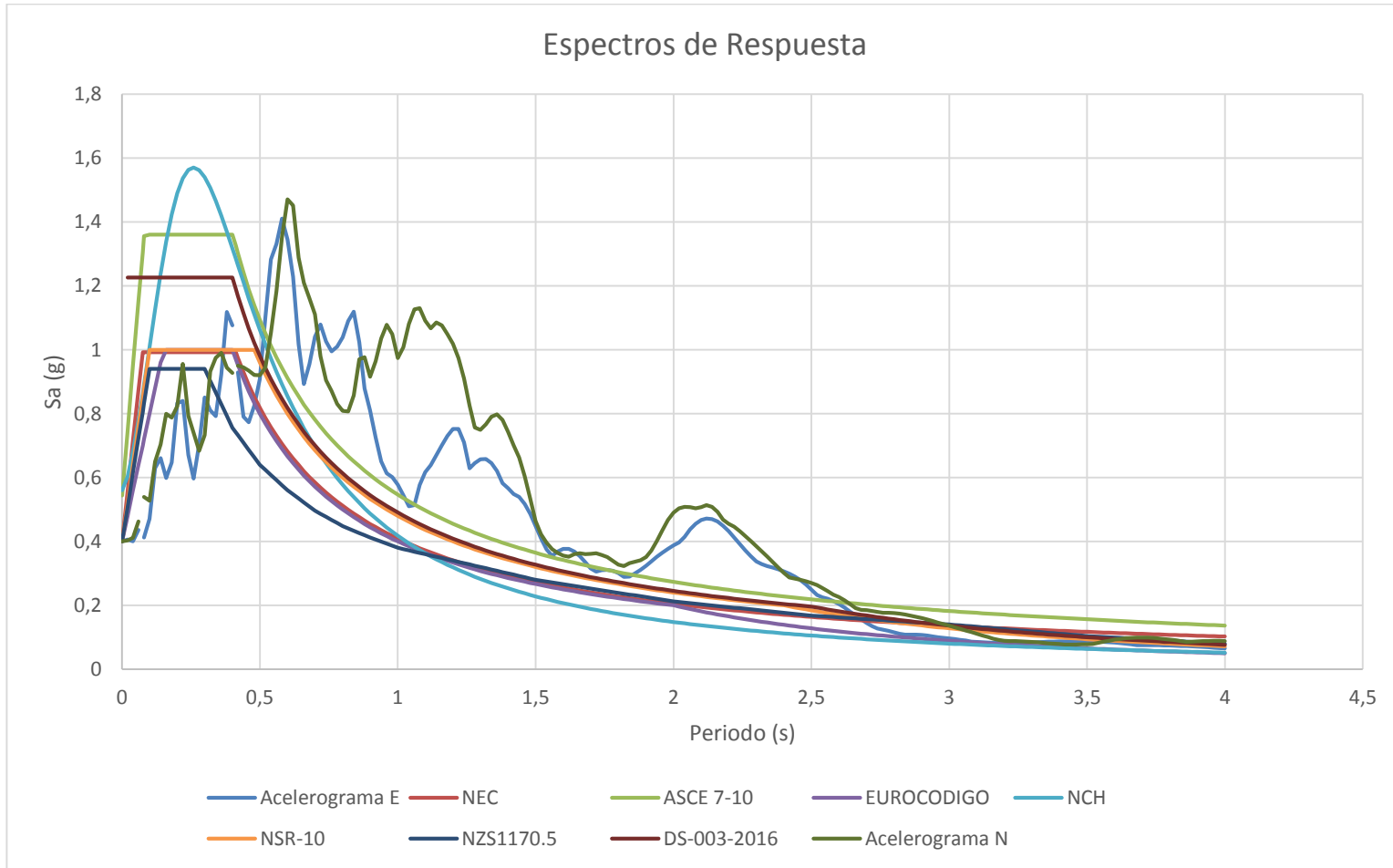


Figura 103 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 09 02 2013

Fuente: María Cristina Noriega Vega

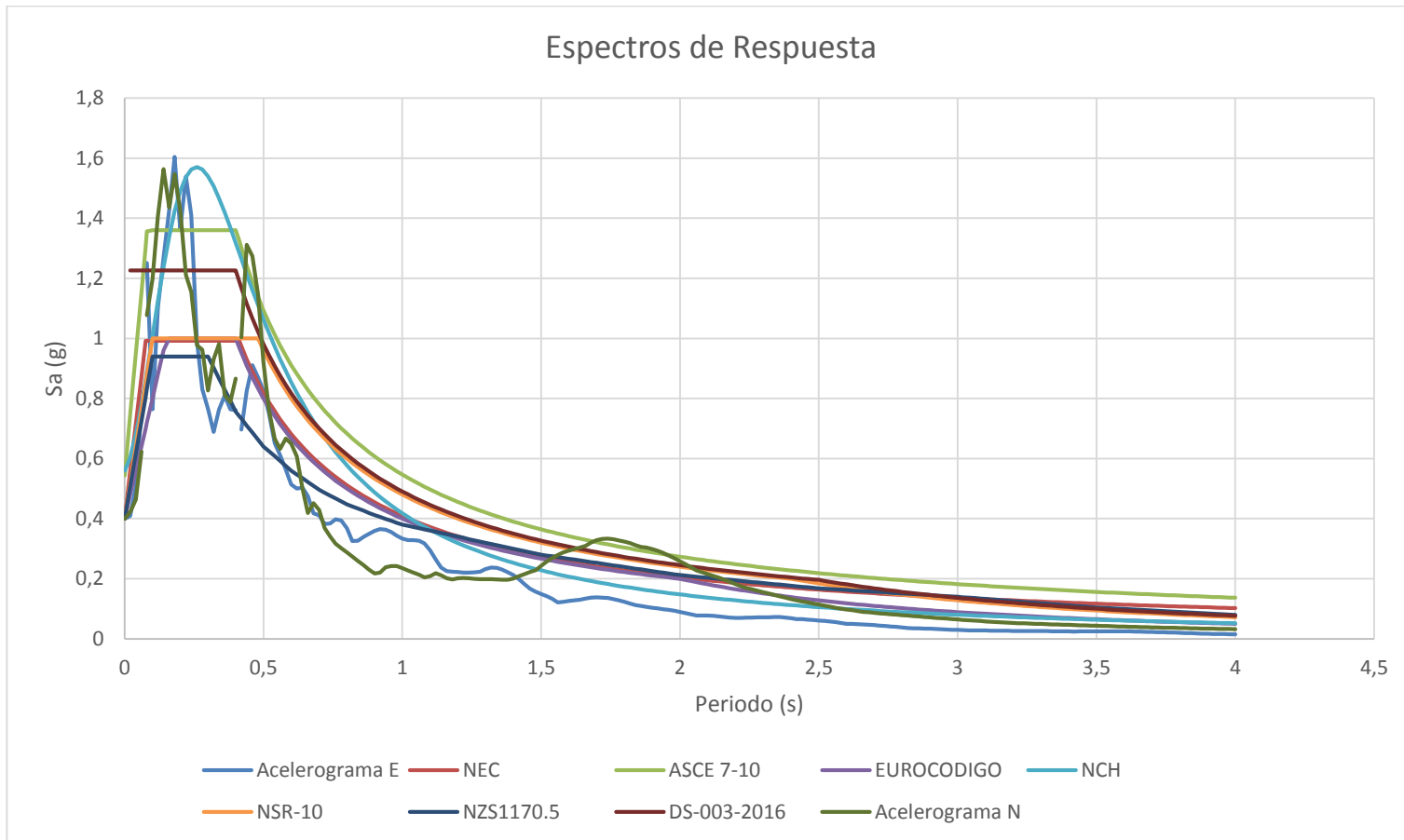


Figura 104 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 12 08 2014

Fuente: María Cristina Noriega Vega



Figura 105 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B Sismo 28 04 2015

Fuente: María Cristina Noriega Vega

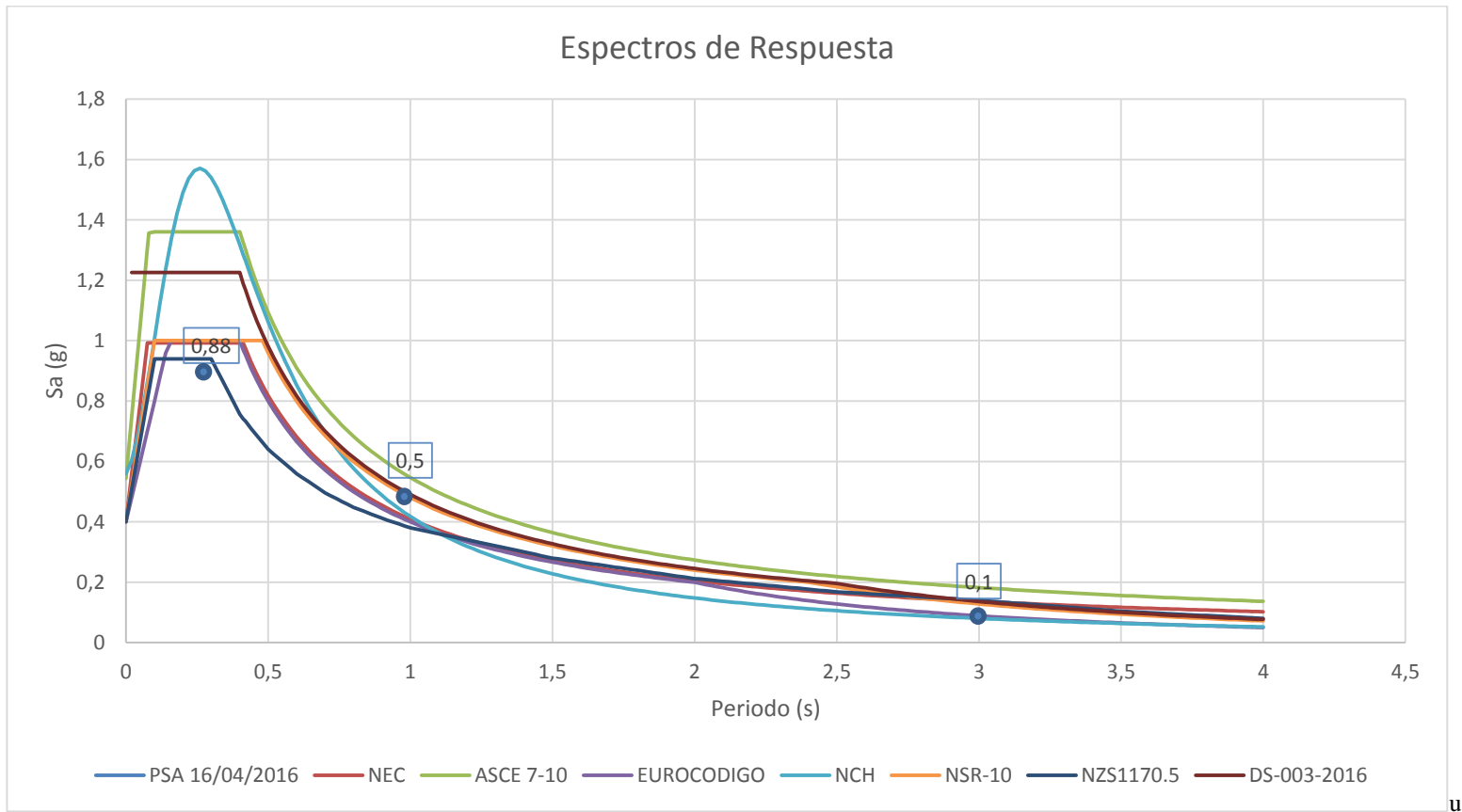


Figura 106 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo B con el Sismo del 16 04 2016, PSA a 0.3 s, a 1 s y a 3s de la USGS

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.5.3 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA EN SUELO C

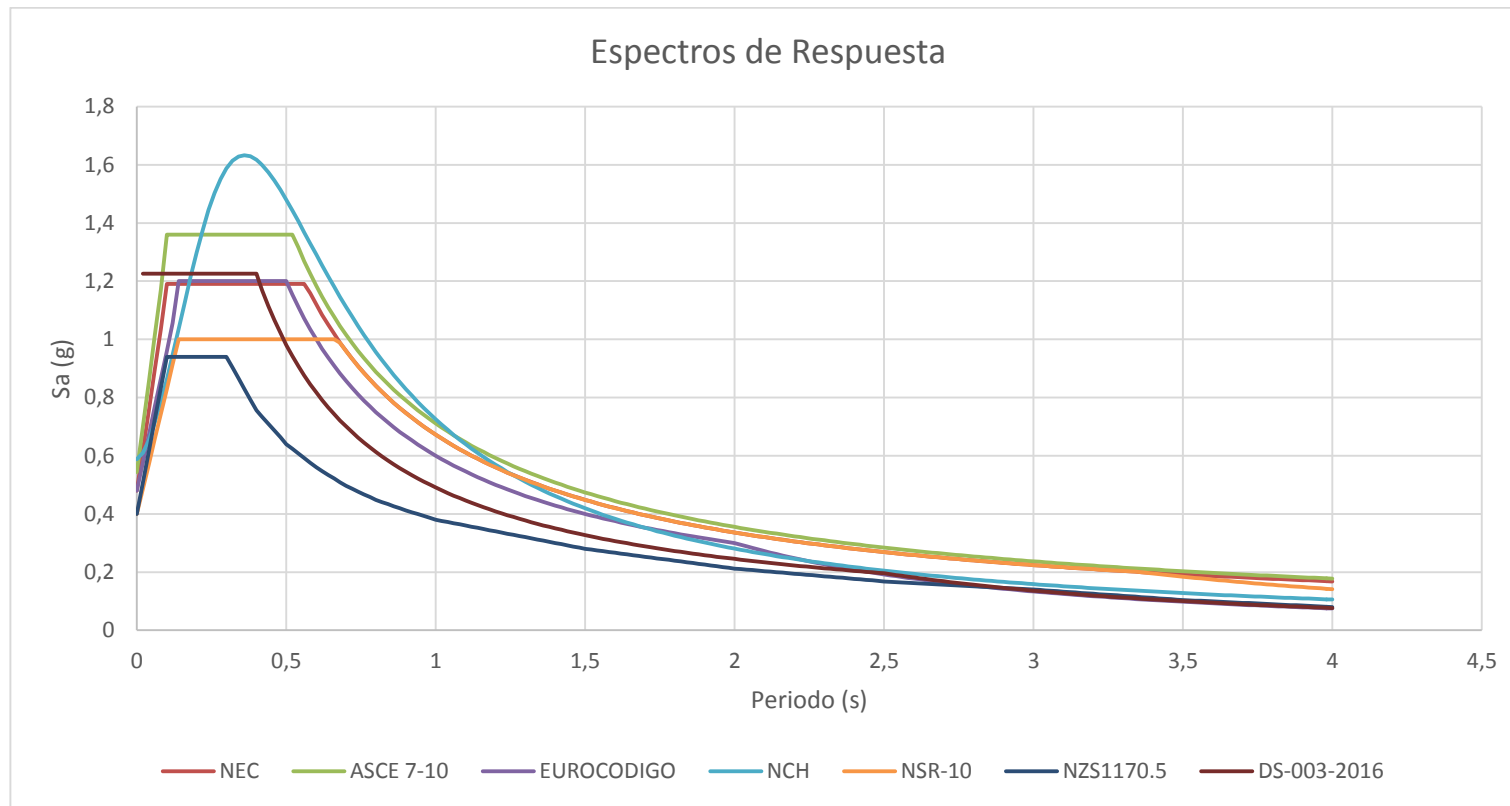


Figura 107 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo C

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.5.4 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA EN SUELO D

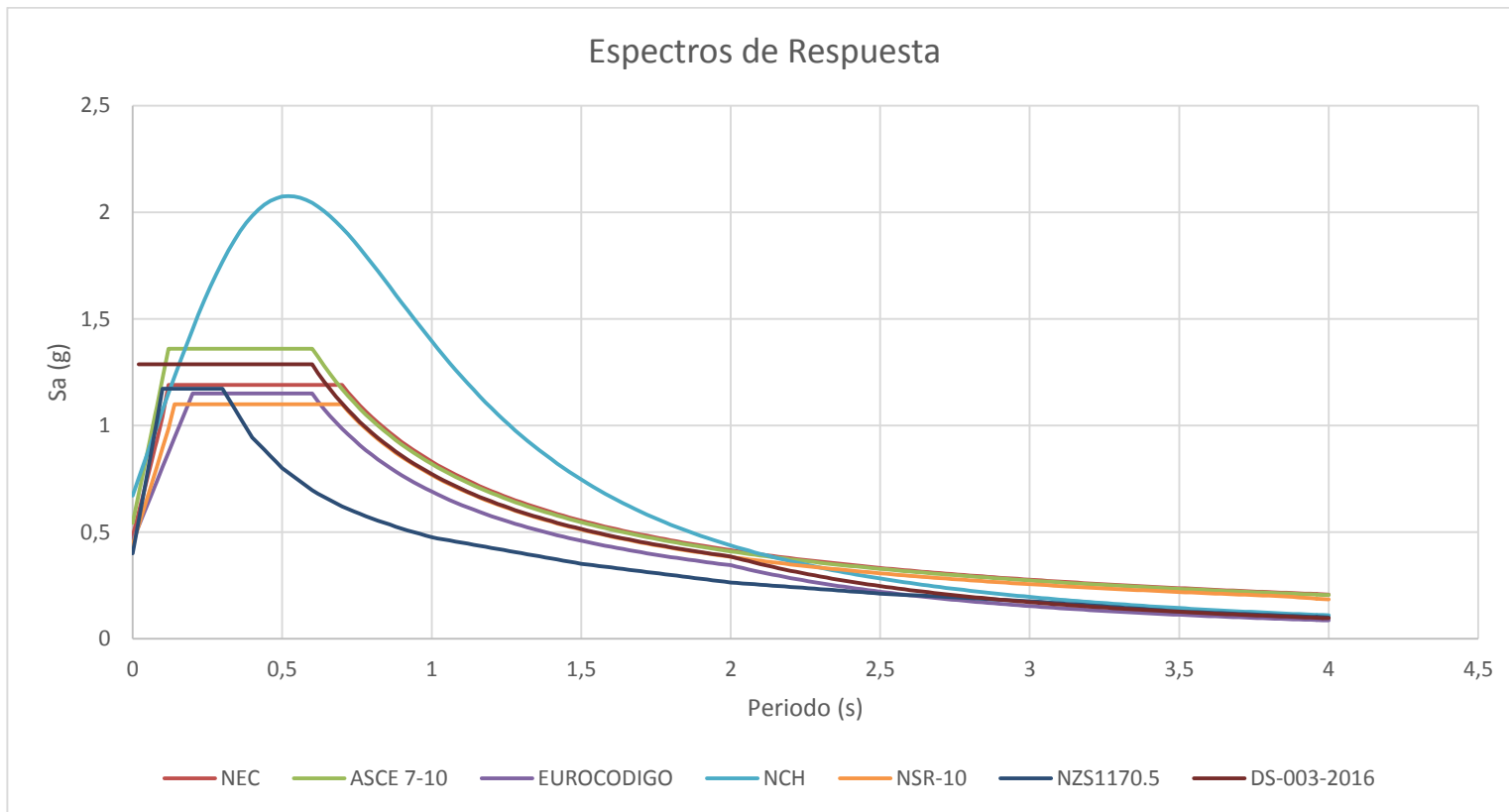


Figura 108 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo D

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.6.5.5 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA EN SUELO E

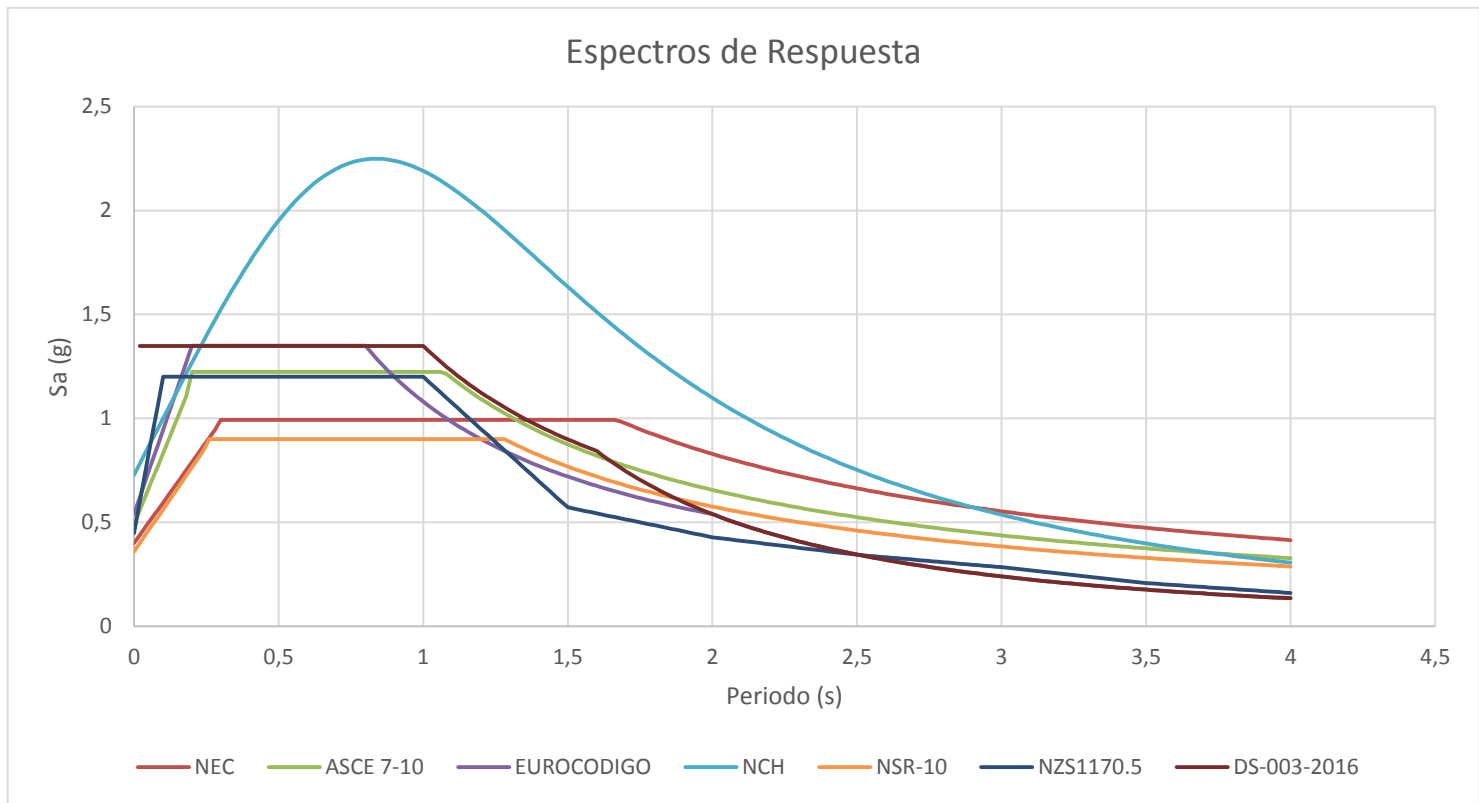


Figura 109 Comparación de Espectros de Respuestas en Suelo E

Fuente: María Cristina Noriega Vega

1.7 Resultados obtenidos

A continuación se describirá los resultados obtenidos en la comparación con cada suelo, con las diferentes normas y se incluirá la comparación con los espectros de Respuesta de los sismos obtenidos con el programa de ingeniería sísmica PRISM con los datos del IGEPN.

1.7.1.1 Comparación de las diferentes normas en Suelo A

En la comparación de la norma NEC SE DS, con las otras normas internacionales para el suelo tipo A del NEC SE DS con los suelos de las otras normas con características similares, se obtuvo que la norma chilena NCH 433, es aquella que abarca las mayores aceleraciones espectrales en los periodos cortos desde 0.1 s hasta 0.3 s, el ASCE 7-10 es la que tiene las mayores aceleraciones espectrales desde el periodo 0.08 s hasta 1.4 s y podría decirse que abarca incluso las aceleraciones espectrales máximas las demás normas excepto la NCH 433 de Chile, la siguiente norma en tener aceleraciones máximas es el Eurocódigo 8 desde 0.14 s hasta 1 s, después siguen las siguientes normas de orden mayor a menor en aceleraciones espectrales, la norma de Perú E.030 con actualización DS-033-2016, la norma NZS1170.5 de Nueva Zelanda, la norma NEC SE DS y la más baja la norma colombiana NSR-10.

Las normas concentran sus mayores aceleraciones espectrales entre los periodos de 0.14 s y 0.28 s, es necesario recalcar que las normas latinoamericanas utilizan para la forma del espectro, a parte del tipo de suelo, la aceleración pico del suelo PGA como uno de los factores principales para la forma del espectro, el Eurocódigo 8 utiliza dos tipos de espectro dependiendo del riesgo sísmico que podría existir en el sitio de análisis, el ASCE 7 utiliza tres parámetros, el tipo de suelo y aceleraciones PGA en periodo corto 0.2 s y a un 1 s, y TD para la zona gobernada por el desplazamiento.

1.7.1.2 Comparación de las diferentes normas en Suelo B

Para el espectro de respuestas elástico con el suelo tipo B y la zona V del NEC SE DS comparado con las diferentes normas internacionales con suelos de características similares, la norma chilena NCH 433 alcanza las mayores aceleraciones espectrales, similar a la norma ASCE 7-10 hasta el periodo 0.44 s donde la norma norteamericana ASCE 7 – 10 tiene las aceleraciones espectrales más altas abarcando a las demás normas, otra de las normas que tiene aceleraciones espectrales mayores para este tipo de suelo es la norma peruana E.030 con su actualización DS-003-2016, similar a la norma chilena y al ASCE 7-10, las normas NSR-10 de Colombia, el Eurocódigo 8 el cual mantiene su espectro en el suelo A y suelo B, y el NEC SE DS llegan a 1 g, con el tipo de suelo B en la zona de la meseta del espectro donde las aceleraciones se mantienen constantes,

finalmente la norma NZS1140.5 de Nueva Zelanda es la norma cuyas aceleraciones espectrales en este tipo de suelo comparado con las diferentes normas es la menor.

El sismo del 12 de agosto de 2010 fue un sismo con magnitud 7.2 pero a gran profundidad 238 km, por lo que al llegar a la superficie se atenuó, el epicentro se encontraba a 173 km de la estación situada en Quito, en el espectro de respuesta claramente se puede observar que las mayores aceleraciones ocurren en periodos de 0.28 s y 0.72 s, al estar escalado al PGA de 0.4 de la zona V del NEC SE DS,, las normas logran cubrir en su mayor parte las aceleraciones máximas, la norma que logra tener una mayor cobertura de las aceleraciones máximas de este sismo es el ASCE 7 -10, seguidas del NCH 433 y la norma peruana E.030.

Las normas NSR10, El Eurocódigo 8, el NEC SE DS, la NZS 1170.5 de Nueva Zelanda no cubren las aceleraciones máximas del espectro del sismo del 12 de agosto del 2010, principalmente en la zona de periodos menores a 1 segundo.

Para el sismo del 09 de Febrero del 2013 de magnitud 7, a 137 km de profundidad y a una distancia de 220 km de la estación al epicentro, este sismo al ser de gran profundidad llegó a atenuarse, el sismo está escalado a un PGA de 0.4 s perteneciente a la zona V de la NEC SE DS, las normas logran cubrir hasta el periodo de 0.6 s, como se mencionó anteriormente este sismo ha sido atenuado por la gran distancia del epicentro a la estación, además de su profundidad este presenta la forma típica de espectro donde se han

desplazado los valores de máximas aceleraciones a los periodos largos, típico de un sismo lejano a la estación de registro.

Los diferentes espectros de las normas comparadas, cubren con éxito las máximas aceleraciones del espectro escalado al PGA 0.4 g perteneciente a la zona V de la NEC SE DS para un suelo tipo B, del sismo el 12 de agosto del 2014 el cual tuvo magnitud de 5.1, a 5 km de profundidad y a 20 km de la estación al epicentro, este sismo al estar más cercano al epicentro tiene la forma común de espectro con aceleraciones máximas en los periodos cortos, especialmente las normas NCH 433 de Chile, la norma ASCE 7-10, y la norma peruana E.030 logran cubrir incluso en su mayoría sus aceleraciones máximas en los periodos cortos.

El sismo del 28 de abril del 2015 de magnitud 5.8, fue un sismo profundo de 70km, y es el sismo más alejado de los cuatro sismos de estudio al encontrarse a una distancia de 263 km del epicentro a la estación, por lo que la atenuación se vuelve importante a esta distancia y muestra la forma típica de espectro de respuestas proveniente de sismos lejanos cuyas máximas aceleraciones se desplazan a los periodos largos, el sismo está escalado al PGA de 0.4 g, las normas logran cubrir sus aceleraciones máximas hasta un periodo de 0.54 s.

Para el terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016 a las 18:58 TL, de magnitud 7.8 con una profundidad de 19.2 km de profundidad con epicentro en Pedernales, la USGS nos ha brindado las aceleraciones espectrales pico en la roca madre, suelo B en la NEC SE DS y

ASCE 7-10 a los 0.3 s con un 88% de g, al 1 s con un 50% y a los 3 s con 10%, en las zonas cercanas al epicentro, al comparar estas aceleraciones con las diferentes normas todas abarcan la aceleración de 0.88 de g a 0.3 s y también 0.1 g a 3 s, las normas ASCE 7-10, E.030, y el NEC SE DS cubren la aceleración al 1 s de 0.5 de g mientras que las otras normas están por debajo de esta aceleración espectral.

1.7.1.3 Comparación de las diferentes normas en Suelo C

En la comparación de las diferentes normas para el suelo C, y la zona V 0.4 g, definidas en el NEC SE DS, se puede observar que las normas ASCE 7-10 y la norma NCH 433 de Chile son similares y las que tienen mayores aceleraciones en los periodos menores a 1.1 s, las normas E.030 de Perú que mantiene el mismo espectro para el suelo B y C, el Eurocódigo 8, La NEC SE DS llegan a sus máximas aceleraciones espectrales, en la zona de la meseta, en periodos cortos entre 1.17 g y 1.22 g, la norma colombiana en este tipo de suelo se mantiene debajo de las demás normas manteniendo al aceleración máxima del suelo B, pero incrementa su meseta de aceleraciones máximas de 0.14 s a 0.67 s, la norma de Nueva Zelanda mantiene su espectro de respuestas para el suelo B y suelo C, siendo este el espectro más bajo en comparación con las otras normas.

1.7.1.4 Comparación de las diferentes normas en Suelo D

Para el suelo tipo D del NEC SE DS, la comparación de las normas en zona V de 0.4 g, la norma NCH 433 de Chile alcanza los valores más altos de aceleraciones cubriendo por completo las normas desde 0.18 s hasta 0.14 s, después las normas de manera descendente en valores de aceleraciones espectrales máximas comenzando con el ASCE 7-10, la E.030., la NEC SE DS, la NZS 1170.5, El Eurocódigo y la NSR10 de Colombia toman rangos no muy separados además de que sus mesetas tampoco varían mucho estas se encuentran en el rango de 0.1 a 0.68, excepto la meseta de la NZS1170.5 que es visiblemente más corta de 0.1 s a 0.3 s.

1.7.1.5 Comparación de las diferentes normas en Suelo E

En el suelo E, zona V 0.4 g, la comparación de las normas muestra que la norma chilena NCH433 se dispara alcanzado valores mayores a 2 g para este tipo de suelo, después están las normas E.030. de Perú y el Eurocódigo 8 con aceleraciones de 1.34 g, siguiéndoles el ASCE 7-10 y la NZS1170.5 de nueva Zelanda con aceleraciones de 1.2 g, después el NEC SE DS con 0.99 g y finalmente el NSR 10 con 0.9 de g de aceleraciones máximas, claramente las mesetas son más extensas para este tipo de suelo, alcanzando 1.67 s con la NEC NS DS y la menos extensa 1.34 s con el Eurocódigo 8.

CAPÍTULO IV

1.8 CONCLUSIONES

Las normas ASCE 7-10 de Estados Unidos y la NCH433 de Chile son muy similares en cuanto a espectros de respuesta elásticos en los suelos A, B, C, en la comparación son aquellos que alcanzan mayores a aceleraciones espectrales ajustándose de una manera más conservadora a sismos probables, la norma ASCE 7-10 tiene mayores aceleraciones espectrales en general para periodos largos.

En general los espectros de respuesta elástica que gobiernan son el ASCE 7-10, el NCH433, El Eurocódigo y la norma peruana E030, mientras que las normas que se mantienen de medianas a bajas en la comparación son el NZS 1170.5, el NEC SE DS y la norma colombiana NSR 10.

La forma del espectro de respuesta de sismos depende de la magnitud y el lugar de donde se haya registrado el evento, un registro lejano al epicentro presenta características donde sus aceleraciones máximas se desplazan hacia los periodos más grandes, mientras un sismo registrado cerca del epicentro presenta un espectro donde sus máximas aceleraciones prevalecen en los periodos cortos, es importante señalar que a grandes distancias la atenuación es muy significativa.

Los sismos cercanos al lugar de estudio afectan mayormente a construcciones de periodos cortos, es decir a construcciones bajas, mientras que los sismos alejados tienden a afectar más a construcciones altas de largo periodo, debido a la forma característica de sus espectros, de igual manera pueden amplificarse por efectos de sitio es decir si un sismo lejano llega a un lugar donde el suelo no tiene buenas características las aceleraciones se amplifican.

Los espectros de respuesta de las diferentes normas son una idealización de varios espectros de sismos, cuya forma es suavizada resultado de un promedio de espectros de respuestas de sismos, en los periodos cortos con una función ascendente, después se tiene la meseta de aceleraciones y finalmente una o dos funciones descendentes en los periodos largos, los espectros de respuesta normados tienen áreas conservadoras.

Debido a que no se ha obtenido registros de sismos significativos, se han escalado los espectros de respuesta de sismos de magnitudes bajas o lejanos del epicentro registrados en Quito, a las aceleraciones pico de la zona PGA 0.4 g, determinando así que el sismo del 12 de agosto del 2014 de magnitud 5, es aquel que mejor se ajusta a la realidad, dejando una clara comparación con las diferentes normas internacionales y la NEC SE DS, las normas NCH 433, el ASCE 7-10, y la norma peruana E.030 son aquellas que logran abarcar de mejor manera las aceleraciones espectrales de este sismo en la comparación del tipo de suelo B.

La diferencia entre las normas NEC SE DS y las normas latinoamericanas en comparación con el Eurocódigo 8 y ASCE 7-10 se deben en gran parte ante la diferencia geológica, sísmica propia de cada zona, la distancia del lugar de estudio a una falla activa, los registros sísmicos de cada país, caso en el cual se debe tener en cuenta que la red de registros sísmicos del Ecuador por parte del IGEPN existen desde el año 2011, por lo que hasta el 16 de abril del 2016 no había información de aceleraciones de sismos de magnitudes grandes reales en el sitio con los cuales se haya podido estudiar un espectro de respuesta mucho más acertado para la zona.

El 16 de Abril del 2016 ocurrió un terremoto con epicentro cercano a la ciudad de Pedernales cuyos registros pudieron ser de gran ayuda para el presente trabajo de investigación, ya que es un sismo de una magnitud significativa para la zona de estudio y para la comparación de las diferentes normas con un espectro de respuestas no modificado del sismo, sin embargo los datos no pudieron ser compartidos por políticas del IGEPN.

Para las aceleraciones espectrales brindadas por la –USGS en los periodos 0.3 s, 1 s y 3 s de 88% de g, 50% de g y 10% de g para la zona VIII delimitada igualmente por la USGS en el mapa de intensidades del sismo del 16 de abril del 2016, no logran cubrir todas las normas el periodo largo de 1 s determinando que este sismo puede ser significativo para estructuras de largos periodos calculados con estas normas.

1.9 RECOMENDACIONES

Es preferible que los sismos tomados para estimar los espectros de respuesta elásticos de las normas, sean registrados en distancias cortas del lugar de estudio de manera que los espectros mantengan una forma donde las máximas aceleraciones se encuentren en los periodos cortos, ciertamente la distancia influye de igual manera en la atenuación de un sismo por lo que se ajusta más a la realidad un registro sísmico cercano.

Si se desea realizar un cálculo sismoresistente más conservador se recomienda utilizar los espectros de respuesta elástica de las normas NCH433 de Chile, el ASCE 7-10 de Estados Unidos la cual incluso nos brinda las máximas aceleraciones espectrales S_s y S_1 para 0.2 s y 1 s para una gran parte del mundo, la E.030 de Perú y el Eurocódigo 8.

1.10 BIBLIOGRAFIA

- Aratirí, M. (diciembre de 2010). *Análisis de Peligro Sísmico - Proyecto Valentines*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de aratiri: <https://www.aratiri.com.uy/docs/estudio-de-impacto-ambiental-y-social/Tomo%20III%20Anexos/Anexo%20H-ELB%20Geo/H.3%20Análisis%20de%20peligro%20sísmico.pdf>
- Arcelor Mittal. (2004). Long Carbon Europe Sections and Merchant Bars. *Earthquake Resistant Steel Structures*. Luxemburgo.
- Arias, A. (1999). *Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado el 26 de 01 de 2016, de Salud en Desastres y Emergencias Complejas: <http://www.col.ops-oms.org/desastres/docs/pereira/06espectro.htm>
- ASCE. (2015). *ASCE Library*. Recuperado el 2015, de <http://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784412916>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (Enero de 2010). NSR-10. *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE*. BogotáD.C., Colombia.
- CEN (Comité Europeo de Normalización). (2004). Eurocode 8 BRITISH STANDARD. *Design of structures for earthquake resistance*. Brussels. Recuperado el 2015, de <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>
- Chiapas, C. d. (2012). *Centro de investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático Chiapas*. Recuperado el 09 de 07 de 2015, de Centro de investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático Chiapas: <http://www.cmvs.chiapas.gob.mx/sisvol>
- Comité ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción. (Diciembre de 2014). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC. NEC NS DS PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*. Quito.

- Dávila, I. D. (23 de 05 de 2012). *www.vivienda.gob.pe*. Recuperado el 10 de 09 de 2015, de <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2012/TOTAL/8.%20Evoluci%C3%B3n%20de%20las%20Normas%20S%C3%ADsmicas%20Peruanas%20y%20el%20Dise%C3%B1o%20Sismo%20Resistente.pdf>
- Edward J. Tarbuck, F. K. (2013). *Ciencias de la Tierra 8 Edición – Una Introducción a la Geología Física*.
- Falconí, D. I. (2008). *Análisis Sísmico de Edificios*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas.
- FALCONÍ, R. A. (2003). *ANÁLISIS SÍSMICO POR DESEMPEÑO*. QUITO: Cámara Ecuatoriana del Libro - Núcleo de Pichincha.
- Felipe Leyton, S. R. (2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Revista Geológica de Chile*.
- Fomento, M. d. (2015). *Ministerio de Fomento Gobierno de España*. Recuperado el 2015, de http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MARCAADOCE_EUROCODIGOS/EUROCOD/
- Francisco Crisafulli, E. V. (Mayo de 2002). *ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO*. Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo.
- Giner Caturla, J. J. (12 de 12 de 2011). *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*. Recuperado el 10 de 09 de 2015, de RUA: <http://hdl.handle.net/10045/19945>
- Guerrero, P. (23 de Enero de 2012). *La Guía*. Recuperado el 23 de 06 de 2015, de <http://geografia.laguia2000.com/general/zona-de-benioff>
- Hurtado Gómez, Jorge Eduardo. (Agosto de 2000). *INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE ESTRUCTURAS*. Manizales, Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

- ICG. (2014). *ICG*. Recuperado el 2015, de NORMA TÉCNICA E.030:
http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/documento_mapa/zonificacion/20080826-E%20030.pdf
- INN, I. N. (23 de 12 de 1996). NCH433. *Norma Chilena Oficial de la República*. Chile.
- INPRES. (2015). *Instituto Nacional de Prevención Sísmica*. Recuperado el 23 de 06 de 2015, de INPRES: <http://www.inpres.gov.ar/docentes/Deriva%20continental.pdf>
- INPRES. (18 de 06 de 2015). *Instituto Nacional de Prevención Sísmica*. Recuperado el 29 de 07 de 2015, de <http://www.inpres.gov.ar/docentes/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>
- Instituto Nacional de Normalización INN. (1996). Norma Chilena Oficial NCh.Of96. *Diseño sísmico de edificios*. Santiago, Chile.
- J.M. Ibáñez, E. (2000). *uclm*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de [http://www.uclm.es/profesoradO/egcardenas/SISMICIDAD_VOLCANICA\[1\].pdf](http://www.uclm.es/profesoradO/egcardenas/SISMICIDAD_VOLCANICA[1].pdf)
- Juan Carlos Garcés Pout. (1985). Análisis Dinámico de edificios considerando torisión en planta (tres grados de libertad por planta). *Tesis de Grado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Martinez, F. (19 de Febrero de 2013). *XFMA*. Recuperado el 29 de 01 de 2016, de ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES. ANALISIS MODAL ESPECTRAL: <https://xfma.wordpress.com/2013/02/19/estructuras-sismoresistentes-analisis-modal-espectral-capitulo-2/>
- MIDUVI. (19 de 08 de 2014). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Recuperado el 20 de 01 de 2016, de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (Diciembre de 2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC. *NEC-SE-DS PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*.

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). Norma Peruana E.030 DECRETO SUPREMO N° 003-2016-VIVIENDA. *Diseño Sismoresistente*. Perú.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (6 de 12 de 2011). Norma Técnica NCh 433. *DECRETO 61 2011*. Chile.
- Mónica Segovia, A. A. (s.f.). BREVE ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD Y DEL CAMPO DE ESFUERZOS EN EL ECUADOR. En A. A. Mónica Segovia. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional.
- Pelayo, F. (2009). *El origen de los Continentes y los Océanos*. Barcelona: Editorial Crítica, S. L.
- Pozo, D. I. (2015). *Institutoconstruir*. Recuperado el 2015, de <http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/SISMORESISTENTE/nte030-2003.pdf>
- Seong-Hoon Jeong, Kwang-Ho Lee, Won-Seok Jang. (2016). PRISM for Earthquake Engineering. *Program for seismic response analysis of SDOF systems User Manual 2.0.0*. South Korea: Earthquake Engineering Research Group INHA University.
- Technical Committee BO-006-04-11. (22 de Diciembre de 2004). NZS 1170.5 Supp 1:2004. *Structural Design Actions - Part 5: Earthquake actions*. Wellington, New Zealand: Standards New Zealand.
- Yepes, H. (15 de 08 de 2014). *IGEPN*. Recuperado el 30 de 07 de 2015, de <http://www.igepn.edu.ec/noticias/898-breve-rese%C3%B1a-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geol%C3%B3gica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>
- Zealand, S. N. (11 de Noviembre de 2015). *Standards New Zealand*. Recuperado el 2016 de 01 de 21, de <http://www.standards.co.nz/about-us/our-history/>