



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA FILOSOFÍA DE DISEÑO
SISMORESISTENTE ESTABLECIDA POR LA NEC 2015, EMPLEANDO
ESPECTROS DE DISEÑO CON DISTINTOS TIPOS DE SUELOS Y LAS
NORMAS DE OTROS PAÍSES CON ALTO RIESGO SISMICO”**

PROYECTO PRÁCTICO DEL EXÁMEN COMPLEXIVO
“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN”

AUTOR:

KEVIN STEVEN RIVERA BELTRÁN

TUTOR:

ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ. Ph.D.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2021

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMORESISTENTE ESTABLECIDA POR LA NEC 2015, EMPLEANDO ESPECTROS DE DISEÑO CON DISTINTOS TIPOS DE SUELOS Y LAS NORMAS DE OTROS PAÍSES CON ALTO RIESGO SISMICO”

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXÁMEN COMPLEXIVO
“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN”**

AUTOR:

KEVIN STEVEN RIVERA BELTRÁN

TUTOR:

ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ. Ph.D.

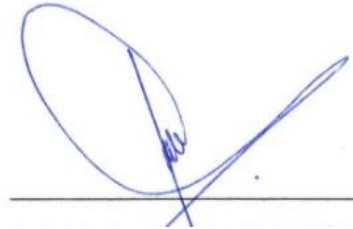
LA LIBERTAD, ECUADOR

2021

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



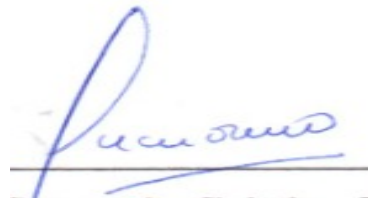
Ing. Jonny Raúl Carlos Villao Borbor, Ms.C
Director De La Carrera



Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez, Ph.D.
Docente Tutor



Ing. Vianna Andrea Pinoargote Rovello, Ms.C
Director Especialista



Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, Mg.
Secretaria del Tribunal

*Dedico este trabajo de investigación a mi familia y amigos que siempre estuvieron
conmigo animándome y ayudándome*

Santa Elena, 11 de febrero de 2022

CARTA DE ORIGINALIDAD

Ing. Jonny Raúl Carlos Villao Borbor. MS.c.

Director de la Carrera de Ingeniería Civil

Universidad Estatal Península de Santa Elena

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Ud. la tesina titulada “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMORESISTENTE ESTABLECIDA POR LA NEC 2015, EMPLEANDO ESPECTROS DE DISEÑO CON DISTINTOS TIPOS DE SUELOS Y LAS NORMAS DE OTROS PAÍSES CON ALTO RIESGO SÍSMICO”, para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El autor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

Autor: Rivera Beltrán Kevin Steven



Firma: _____

Nº de cédula: 2450730300

Correo: kevin.riverabeltran@upse.edu.ec – kevintivi97@outlook.com

Tutor: Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando. Ph.D.



Firma: _____

Nº de cédula: 0908377229

Correo: jargudo@upse.edu.ec

AGRADECIMIENTO

Agradecido eternamente a Dios por mantener a cada uno de los miembros de mi familia con vida y salud aun en estos tiempos de crisis global, además de brindarme la capacidad necesaria para entender las asignaturas brindadas por los docentes.

Agradecido con las personas que se mantuvieron conmigo desde que inició esta ilusión y que ahora se convierte en realidad, muchas gracias Sr. Franklin Rivera, mi padre del alma; muchas gracias Sra. Lilian Beltrán, mi madre, la mujer de mi vida, Michael Rivera, Joselyn Rivera, Franklin Rivera mis hermanos amados y a mi sobrinita Mikeila Salvador, la niña de mis ojos.

Gracias a aquellas personas que en el transcurso de esta travesía se convirtieron en mis verdaderos amigos y permanecieron conmigo hasta el final, Richard Suárez, Mercy Toala, Camilo Once y Michael Rodríguez. Gracias a las personas que por alguna razón he conocido y se han vuelto personas importantes, Vanessa Ricardo y Kerly Mendoza.

Muchas gracias a mi tutor, un gran docente y excelente persona Ing. Jaime Argudo Ph.D. por guiarme en esta etapa final. Gracias a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por hacer realidad esta meta tan anhelada y llenar de esperanzas a personas que al igual que yo desean salir adelante.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CARTA DE ORIGINALIDAD	iv
AGRADECIMIENTO	v
LISTA DE FIGURA	x
LISTA DE TABLAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.1 Formulación del Problema.	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivos Generales.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2. ESPECTRO DE DISEÑO	4
2.1. HISTORIA SÍSMICA EN ECUADOR.....	4
2.2. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-2015	5
2.2.1. Factor de Zona Z.....	5
2.2.2. Clasificación de los perfiles de suelo.....	6
2.2.3. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s	6
2.2.4. Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones.....	7
2.2.5. Coeficiente de Importancia “I” y Categorías de Edificación.	9
2.2.6. Sismo de Diseño con Probabilidad del 10%.	9
2.2.7. Límites Máximos Permitidos en las Derivas de los Pisos.	10

2.2.8.	Estructuras donde su Ocupación sean Especial y Esencial.	11
2.2.9.	Requisitos del Diseño Sismo Resistente.	11
2.2.10.	Método de Diseño.	11
2.2.11.	Metodología de Diseño Sísmico.	12
2.2.12.	Sistema Elástico Equivalente.....	12
2.2.13.	Ductilidad y Factor de Reducción de Resistencia Sísmica “R”	13
2.3.	NORMA TÉCNICA PERUANA NTP E.030.....	14
2.3.1.	Filosofía y Principios del Diseño Sismo resistente.	14
2.3.2.	Factor Z.	15
2.3.3.	Perfil de Suelo.	15
2.3.4.	Parámetros de Sitio, Factor “S” y Periodos “Tp” y “TL”	15
2.3.5.	Factor de Amplificación Sísmica “C”.	16
2.3.6.	Categoría de la Edificación y Factor de Uso “U”.....	16
2.3.7.	Coefficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas “Ro”.	16
2.3.8.	Irregularidades Ia, Ip y Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas R.	17
2.3.9.	Modelo de Análisis.	17
2.3.10.	Estimación de Peso Sísmico.	17
2.3.11.	Análisis Dinámico Modal Espectral.....	18
2.4.	CÓDIGO SÍSMICO PARA EDIFICIOS EN JAPÓN.....	20
2.4.1.	Rutas de Diseño Sísmico.....	20
2.4.2.	Tipo de suelo y periodo Tc.....	21
2.4.3.	Factor de Zonificación Z y Periodo T.....	22
2.5.	SOCIEDAD ESTADOUNIDENSE DE INGENIEROS CIVILES ASCE 7-16	23
2.5.1.	Clasificación de sitio.....	23
2.5.2.	Coeficientes de Sitio.	24
2.5.3.	Parámetros de Aceleración Espectral.	24

2.5.4.	Espectro de Respuesta de Diseño.....	24
2.6.	NORMA CHILENA DE DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS NCH433...	26
2.6.1.	Factor de Zona Ao.....	26
2.6.2.	Perfiles de Suelo.....	27
2.6.3.	Parámetros de Sitio, Factor S y Periodos To y T.....	27
2.6.4.	Factor de Amplificación Sísmica C.....	27
2.6.5.	Periodo de Vibración T*.....	28
2.6.6.	Categoría de la Edificación y Coeficiente I.....	29
2.6.7.	Sistemas Estructurales.....	29
2.6.8.	Coeficiente de Reducción Sísmica R (estático) y Ro (dinámico).....	29
2.6.9.	Regularidad Estructural.....	29
2.6.10.	Método de Análisis.....	30
2.6.11.	Estimación de la Masa Sísmica.....	30
2.6.12.	Análisis Estático.....	30
2.6.13.	Análisis Dinámico Modal Espectral.....	32
2.7.	EUROCÓDIGO 8: PROYECTO DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES.....	36
2.7.1.	Tipos de Terreno.....	36
2.7.2.	Espectro de Respuesta Horizontal.....	36
2.7.3.	Parámetros S, TB, TC y TD, Forma Espectral de Respuesta Elástica Horizontal.....	37
2.7.4.	Factor de Importancia γ_I para Edificios.....	38
2.7.5.	Factor de Reducción q.....	39
	CAPÍTULO III: DESARROLLO Y RESULTADOS.....	41
3.	RESULTADOS.....	41
3.1.	Espectros de Diseño Elásticos de las normas estudiadas respecto a distintos perfiles de suelo.....	41

3.2. Espectros de Diseño inelásticos de las normas estudiadas respecto a distintos perfiles de suelo.....	44
3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	47
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
4.1. CONCLUSIONES.....	51
4.2. RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS.....	56
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma NEC-2015	74
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma ASCE 7-16.....	76
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma NTP E.030	78
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Código Japones.....	79
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Eurocódigo Tipo 1.....	80
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Eurocódigo Tipo 2.....	82
Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma Nch 433.....	84

LISTA DE FIGURA

	Pág.
Figura 1: Espectro elástico de diseño	7
Figura 2: Linealización equivalente	13
Figura 3: Espectro de diseño-Aceleración espectral	19
Figura 4: Zonificación de Japón.....	22
Figura 5: Espectro de respuesta del Código Japones.....	23
Figura 6: Espectro de respuesta de diseño	25
Figura 7: Espectro de diseño	33
Figura 8: Forma espectral de respuesta horizontal.....	38
Figura 9: Factor de reducción q	40
Figura 10: Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo A	41
Figura 11: Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo B	42
Figura 12: Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo C	42
Figura 13: Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo D.....	43
Figura 14: Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo E	43
Figura 15: Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo A	44
Figura 16: Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo B	45
Figura 17: Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo C	45
Figura 18: Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo D	46
Figura 19: Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo E.....	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Valores del factor Z.....	6
Tabla 2: Prevención en el nivel de desempeño estructural	10
Tabla 3: Valores de la deriva máxima admisible	10
Tabla 4: Factor de Zonificación Z	15
Tabla 5: Tipo de suelo, descripción y periodo Tc	21
Tabla 6: Coeficientes T y Rt	23
Tabla 7: Factor de Zona Ao.....	26
Tabla 8: Valores de parámetros de espectro elástico de respuesta horizontal	37
Tabla 9: Factor de Importancia.....	38
Tabla 10: Factor Básico de Reducción q_0	39
Tabla 11: Valores de $\alpha_u \alpha_1$	40
Tabla 12: Resultados de las aceleraciones máximas de los distintos perfiles de suelo para el diseño espectral elástico.....	50
Tabla 13: Resultados de las aceleraciones máximas de los distintos perfiles de suelo para el diseño espectral inelástico.....	50
Tabla 14: Clasificación de los perfiles de suelos: Tipos A,B,C,D y E	56
Tabla 15: Perfil de suelo F	57
Tabla 16: Coeficiente de Amplificación de sitio Fa	57
Tabla 17: Coeficiente de Amplificación de sitio Fd.....	58
Tabla 18: Coeficiente del Comportamiento no Lineal de sitio Fs	58
Tabla 19: Coeficiente I, categoría y uso de la edificación	59

Tabla 20: Coeficiente R para estructuras dúctiles	59
Tabla 21: Coeficiente R para estructuras de ductilidad limitada.....	60
Tabla 22: Amenaza sísmica.....	61
Tabla 23: Nivel de desempeño estructural	61
Tabla 24: Perfiles de suelos.....	61
Tabla 25: Factor de suelo "S" según su zona sísmica.....	62
Tabla 26: Periodos de vibración de suelo Tp y TL.....	62
Tabla 27: Jerarquía de edificación y coeficiente U	63
Tabla 28: Coeficiente Ro	64
Tabla 29: Coeficiente de irregularidad en altura Ia	64
Tabla 30: Coeficiente de irregularidad en altura Ip	65
Tabla 31: Regularidad de las estructuras según su categoría	65
Tabla 32: Peso sísmico y su estimación por categoría.....	66
Tabla 33: Clasificación de sitio	66
Tabla 34: Coeficiente Fa	67
Tabla 35: Coeficiente Fv	67
Tabla 36: Perfiles de suelos.....	68
Tabla 37: Parámetros dependientes según el perfil de suelo.....	69
Tabla 38: Valores del Parámetro C máximos.....	69
Tabla 39: Coeficiente I a partir de su categoría de edificación	70
Tabla 40: Coeficiente de reducción sísmica R y Ro.....	71
Tabla 41: Tipos de terreno	72
Tabla 42: Capa de terreno y velocidad de propagación Vs.....	72
Tabla 43: Recomendaciones para la forma espectral de respuesta Tipo 1.....	73
Tabla 44: Recomendaciones para la forma espectral de respuesta Tipo 2.....	73

Tabla 45: Perfil de Suelo A	74
Tabla 46: Perfil de Suelo B	74
Tabla 47: Perfil de Suelo C	75
Tabla 48: Perfil de Suelo D	75
Tabla 49: Perfil de Suelo E	75
Tabla 50: Perfil de Suelo A	76
Tabla 51: Perfil de Suelo B	76
Tabla 52: Perfil de Suelo C	77
Tabla 53: Perfil de Suelo D	77
Tabla 54: Perfil de Suelo S0.....	78
Tabla 55: Perfil de Suelo S1	78
Tabla 56: Perfil de Suelo S2.....	78
Tabla 57: Perfil de Suelo S3.....	79
Tabla 58: Perfil de Suelo Tipo I	79
Tabla 59: Perfil de Suelo Tipo II.....	79
Tabla 60: Perfil de Suelo Tipo III.....	80
Tabla 61: Perfil de Suelo A	80
Tabla 62: Perfil de Suelo B	80
Tabla 63: Perfil de Suelo C	81
Tabla 64: Perfil de Suelo D	81
Tabla 65: Perfil de Suelo E	81
Tabla 66: Perfil de Suelo A	82
Tabla 67: Perfil de Suelo B	82
Tabla 68: Perfil de Suelo C	83
Tabla 69: Perfil de Suelo D	83

Tabla 70: Perfil de Suelo E	83
Tabla 71: Perfil de Suelo A	84
Tabla 72: Perfil de Suelo B	84
Tabla 73: Perfil de Suelo C	85
Tabla 74: Perfil de Suelo D	85
Tabla 75: Perfil de Suelo E	85

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA FILOSOFÍA DE DISEÑO
SISMORESISTENTE ESTABLECIDA POR LA NEC 2015,
EMPLEANDO ESPECTROS DE DISEÑO CON DISTINTOS TIPOS
DE SUELOS Y LAS NORMAS DE OTROS PAÍSES CON ALTO
RIESGO SISMICO”

Autor: Rivera Beltrán Kevin Steven

Tutor: Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando, Ph.D.

RESUMEN

Esta tesina tiene como objetivo comparar la Norma Ecuatoriana de Construcción 2015 con normas internacionales de países con alto riesgo sísmico, mediante las formas espectrales de los Sismos de Diseño y Servicio correspondientes a los sismos severos (raros) y frecuentes; respectivamente.

En el capítulo 2, se calculan y grafican las formas espectrales de los Sismos de Diseño y Servicio, definiéndose el significado y uso de cada parámetro y seleccionándose los parámetros de cada norma aplicables para cada tipo de perfil de suelo en cada una de las normas comparadas. Se obtuvieron de manera gráfica las formas espectrales para las normas sísmicas: Norma Ecuatoriana de Construcción 2015, Norma Chilena 433, Norma Estadounidense de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles 7-16, Norma Japonesa de Diseño Sísmico, Norma Técnica Peruana E.030; y, Norma Europea Eurocódigo 8.

En el capítulo 3, se realiza el análisis comparativo de las formas espectrales de los Sismos de Diseño y Servicio, gráficas también conocidas como Espectros Elásticos y Espectros Inelásticos de Diseño; respectivamente. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos de la comparación entre normas con las conclusiones y recomendaciones sobre la seguridad y desempeño sísmico comparativo para las estructuras diseñadas con dichas normas.

Palabras claves: Perfil de suelo, espectros de diseño elástico, espectro de diseño inelástico, normas.

“COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE EARTHQUAKE-
RESISTANT DESIGN PHILOSOPHY ESTABLISHED BY THE NEC
2015, USING DESIGN SPECTRUMS WITH DIFFERENT SOIL
TYPES, AND THE STANDARDS OF OTHER COUNTRIES WITH
HIGH SEISMIC RISK”

Author: Rivera Beltrán Kevin Steven

Tutor: Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando, Ph.D.

ABSTRACT

This Thesis aims to compare the Ecuadorian Construction Standard 2015 with international standards of countries with high seismic risk, through the spectral forms of Design and Service Earthquakes corresponding to severe (rare) and frequent earthquakes; respectively.

In chapter 2, the spectral forms of the Design and Service Simos are calculated and graphed, defining the meaning and use of each parameter and selecting the parameters of each applicable standard for each type of soil profile in each of the standards compared. . The spectral forms for the seismic standards were obtained graphically: Ecuadorian Construction Standard 2015, Chilean Standard 433, American Standard of the American Society of Civil Engineers 7-16, Japanese Seismic Design Standard, Peruvian Technical Standard E.030; and, European Standard Eurocode 8.

In Chapter 3, the comparative analysis of the spectral forms of the Design and Service Earthquakes is carried out, graphs also known as Elastic Spectra and Inelastic Design Spectra; respectively. Finally, the results obtained from the comparison between standards are presented with the conclusions and recommendations on safety and comparative seismic performance for structures designed with said standards.

Keywords: *Soil profile, elastic design spectrum, inelastic design spectrum, standard.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las normas de los países analizados están propensas a altas actividades sísmicas o movimientos de suelos ya sea por actividad volcánica, subducción en la placa de Nazca, además de fallas geológicas debido a que están ubicados en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”.

Ecuador al encontrarse en una zona sísmica con mayor actividad sísmica del planeta debido al proceso de subducción que tiene lugar frente a las costas del Cinturón de Fuego del Pacífico donde se han producido terremotos de grandes magnitudes e incluso posteriores tsunamis, por lo anterior, es muy propenso a sufrir grandes movimientos telúricos que pueden llegar a ocasionar grandes daños en sus estructuras e incluso ocasionar un sin número de pérdidas de vidas humanas en caso de que las estructuras no se diseñen con las respectivas normativas.

Según Quinde y Reinoso (2016), Falconí (2008) y Hibsich (1996) Ecuador es propenso a recibir grandes movimientos telúricos o sismicidad debido al proceso de subducción de la placa de Nazca. Se pueden producir sismos con profundidades focales incluso mayores a 200 Km, recalando que los sismos superficiales son los que causan más daños a las estructuras. Por lo tanto a Ecuador se lo cataloga como una zona de alto peligro sísmico.

Fortty Barberán (2019) asegura que es indispensable que el diseño de estructuras parta principalmente de un estudio de los espectros de diseño y los que concentran una gran complejidad de la respuesta dinámica en partes claves como las respuestas máximas en función de los períodos de las estructuras, los cuales son requeridos para el diseño sísmico. Además Montoya (2018) menciona la necesidad de verificar el adecuado comportamiento durante un terremoto o sismo en específico para que la estructura sufra el menos daño posible.

La importancia de este trabajo de investigación es conocer a detalle las metodologías para definir los espectros de diseño sísmico de las principales normas, sus principales diferencias en sus consideraciones sísmicas, para así analizar y

comparar los resultados para cada perfil de suelo de las normas analizadas y la filosofía que los sustenta.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La peligrosidad sísmica del Ecuador esta basada en la alta probabilidad de que se genere una gran acumulación de energía en la zona de subducción, debido a que la placa de Nazca se inserta debajo de la placa Sudamérica y se genera la ruptura de una de éstas. La energía se libera y ocasiona sismos de grandes magnitudes e intensidades donde las edificaciones son más susceptibles a sufrir daños en sus estructuras, dependiendo del tipo de suelo, incluso en algunos casos se producen pérdidas de vidas humanas. Por ello, se debe construir edificaciones que puedan resistir los grandes movimientos telúricos con pequeños daños moderados mediante el uso de las formas espectrales de diseño se busca definir las fuerzas que las estructuras deben resistir con ductilidad.

Razón por la que en el presente trabajo se comparan las formas espectrales del sismo de diseño obtenidas mediante la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-2015 con las formas espectrales de diseño de la Norma Técnica Peruana NTP E.030-2018, Norma Chilena Nch 433-2012, Norma Estadounidense ASCE 7-16, Código Japonés y Eurocódigo 8. Así mismo, también, se comparan la filosofía de diseño de cada una de dichas normas.

1.1.1 Formulación del Problema.

¿Cuáles son las diferencias y semejanzas entre la Norma Ecuatoriana de Construcción sismo resistente NEC-15, Norma Técnica Peruana E.030, Norma Chilena Nch 433, Código Sísmico para Edificios en Japón, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16 y Eurocódigo 8 considerando las formas espectrales?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Terrones y Vilca (2018) manifiestan, que el propósito de comparar varias normas sismo resistente está en la necesidad de conocer desde la perspectiva técnica a

través de un análisis comparativo, los balances fundamentales sísmicos de cada norma y su jerarquía en el procedimiento de diseño estructural de una edificación, cuyos efectos podrán posibilitar la conclusión de cuál de estas normas considera variables que dan mayor rigidez y menos daño y cuál de ellas dispone de una metodología de diseño y consideraciones sísmicas que afiance una mayor seguridad y un mejor comportamiento sísmico a las edificaciones.

Esta investigación y comparación de espectros de diseño presentado podrá beneficiar a posibles investigaciones futuras que procuren realizar un estudio, análisis, mejora e incluso definir una mejor metodología, para cada variable de las normas sísmicas de los países que son propensos a sufrir sismos de gran magnitud e intensidad debido a que conforman el llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos Generales.

Realizar el estudio comparativo que permita conocer cual de las normas analizadas brinda mejor comportamiento estructural y mayor seguridad frente a los eventos sísmicos a través de los espectros de diseño.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Analizar y realizar los espectros de diseño de la Norma Ecuatoriana de Construcción sismo resistente NEC-SE-DS-2015, Norma Chilena Nch 433, Norma Técnica Peruana NTP E.030, Norma Estadounidense ASCE 7-16, Código Japonés y Eurocódigo 8.

- ✓ Realizar la comparación de las normas sismo resistentes de países con alto riesgo sísmico de acuerdo a sus formas espectrales de diseño sísmico tanto elásticos e inelásticos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. ESPECTRO DE DISEÑO

Envolvente de las formas espectrales de respuestas que se esperan obtener en una zona, región, ubicación o de un sitio, donde se abarcan las alteraciones de las características de una estructura dependiendo además del tipo de perfil de suelo en la que se encuentra.

2.1. HISTORIA SÍSMICA EN ECUADOR

Según Apolo Romero (2020) el sismo de Pelileo tuvo lugar el 5 de agosto de 1949, afectando también Ambato. El movimiento telúrico dejó 6000 vidas pérdidas, además de la ciudad de Ambato destruida y otras poblaciones fueron devastadas; la magnitud de este evento fue suficiente para producir secuelas de dicho sismo en las provincias de Chimborazo y Cotopaxi. En general por mala calidad en las construcciones de sin control de calidad de algunas estructuras denominadas sismos resistentes y muchas más estructuras que no fueron realizadas por profesionales con el conocimiento necesario.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2013), en la provincia de Manabí se produjo un evento sísmico de 7.1 grados de magnitud en la escala de Richter que dejó grandes daños en los edificios de las principales ciudades de esta provincia (Bahía de Caráquez, Canoa, San Vicente, además de localidades cercanas). Se considera que, la intensidad máxima fue VII grado en la escala de Mercalli modificado.

Noriega Vega (2016) menciona, el último gran sismo con magnitud 7.8 se produjo en la provincia de Manabí el 16 de abril de 2016. Las ondas sísmicas lograron llegar al suroccidente de Colombia y a la frontera con Perú. Este suceso dejó 7216 víctimas mortales y la intensidad máxima fue EMS igual a IX (medida en la Escala

Macrosísmico europeo). El epicentro de este gran sismo se localizó en el cantón de Pedernales, entre las parroquias Pedernales y Cojimíes.

Desde el inicio del siglo XX en Ecuador hasta la presente fecha, se han producido 7 grandes terremotos de gran magnitud alrededor de esta misma zona. En 1906 se produjo el terremoto de Esmeraldas, el sismo más grande en la historia sísmica de Ecuador. Este sismo involucró una ruptura total estimada en unos 400 a 500 km además que fue acompañado de un tsunami. El evento de 2016 se ubica en el extremo inferior de la zona de ruptura producida por el sismo de 1906.

2.2. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-2015

La Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS (2015) es un documento de uso mandatorio en el Ecuador, en el cual se expresan ciertos parámetros que deben ser cumplidos como requisitos mínimos obligatorios dentro del diseño de estructuras o edificaciones: contiene la filosofía de diseño sismo resistente que tiene por objetivo prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales ante sismos de diversas magnitudes que son probables que sucedan a lo largo de la vida útil de la edificación, pretendiendo salvaguardar vidas y protección estructural.

En el Ecuador existe gran generación de energía sísmica que se debe a su ubicación geográfica, dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, sobre la franja de subducción debido a que la placa de Nazca se introduce debajo de la placa Sudamericana, razón por la cual, el código contiene un análisis probabilístico del riesgo sísmico en base a criterios de uniformidad de peligro en las distintas zonas de peligro sísmico del Ecuador mediante el uso del Factor de Zona Sísmica Z . Además de tener distintos parámetros con los cuales obtener las formas espectrales de diseño.

2.2.1. Factor de Zona Z .

Este factor Z se obtiene a partir del análisis probabilístico del peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años una probabilidad con excedencia del 10%, en

el cual se produce la máxima aceleración esperada para el Sismo de Diseño que dependerá también del perfil de suelo, según NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015).

Tabla 1

Valores del factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: tomado de Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015

2.2.2. Clasificación de los perfiles de suelo.

La NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) clasifica al perfil de suelo en uno de seis tipos A, B, C, D, E y F usando los primeros 30 m del perfil del suelo del sitio. Dentro del perfil de suelo se observan claramente los distintos estratos que deben subdividirse desde 1m en la superficie, hasta cierta distancia “n” en la parte inferior de 30 m de su perfil. Para el perfil de suelo tipo F, la respuesta dinámica del sitio debe estudiarse específicamente con los 30 m superiores del perfil mientras y para los suelos de A a E, el perfil puede clasificarse con los parámetros Vs, N, Su. Ver tablas 14 y 15.

2.2.3. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s .

Coeficiente de Amplificación de Suelo en la Zona de Periodo Corto: F_a .

Según Quijada (2019) a partir de NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015), las ordenadas del espectro de respuesta elástica aumentan en roca. Ver tabla 16.

Amplificación de las Ordenadas del Espectro Elástico de Respuesta de Desplazamiento para Diseño en Roca: F_d .

Según NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015), se toman en cuenta los parámetros en el sitio; se visualizan en la tabla 17.

Comportamiento no Lineal de los Suelos: F_s .

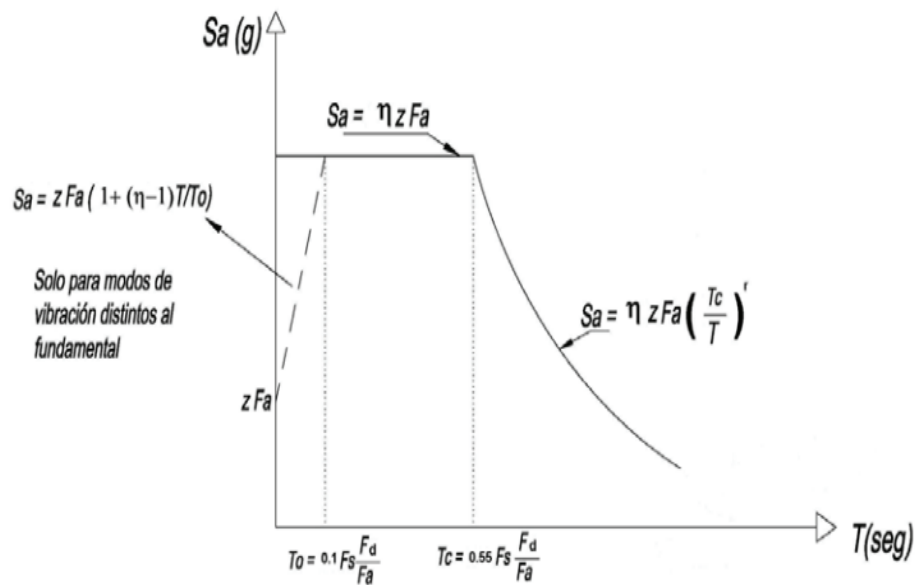
NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) menciona que para las formas espectrales de aceleraciones y desplazamientos se considera al comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que dependerá de su propia intensidad y el contenido de frecuencia de la excitación sísmica y desplazamientos relativos del suelo. Véase en la tabla 18.

2.2.4. Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones.

La figura 1 se interpreta como una fracción de la aceleración de la gravedad que dependerá de los parámetros según cada perfil de suelo de la norma, factor de Zonificación Sísmica “Z” y coeficientes de amplificación para cada tipo de suelo F_a , F_d y F_s .

Figura 1

Espectro elástico de diseño



Nota: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015

Para NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) el espectro de diseño considera una fracción de amortiguamiento crítico igual al 0.05 ó 5%. La aceleración espectral S_a se define dentro de dos causas como función del periodo fundamental T de la estructura.

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

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

Dónde:

η : según NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) es la razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA obtenido para el periodo al valor $T=0$ para el Sismo de Diseño $T_r=475$ años. Esto varía dependiendo de la región que la que se encuentra:

η : para provincias de la Costa (excepto Esmeraldas): 1.80.

η : para provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos: 2.48.

η : para provincias del Oriente: 2.60.

r : este factor dependerá del perfil de suelo que se encuentre en el sitio del proyecto.

r : 1 para todos los suelos, excepto suelos tipo E.

r : 1.5 para tipo de suelo tipo E.

S_a : NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) alega que es la aceleración del espectro de respuesta elástica representada como una porción de la aceleración de la gravedad g . Además deduce que dependerá del período vibración estructural.

T : Período fundamental de vibración de la estructura.

T_c : Período máximo de vibración en la meseta de la forma espectral sísmica elástica.

Z : Factor de zona en el perfil de suelo que se espera para el Sismo de Diseño (475 años).

Donde los límites de los periodos T_c y T_0 , se definen mediante las siguientes expresiones:

$$T_c = 0.55F_s \left(\frac{F_d}{F_a} \right)$$

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

Dónde:

F_a , F_d y F_s : Parámetros antes vistos.

NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) menciona que para el análisis dinámico, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, S_a se evaluará con la expresión, tomando en cuenta las limitaciones en los periodos:

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

2.2.5. Coeficiente de Importancia “I” y Categorías de Edificación.

Según NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente (2015) la clasificación de las edificaciones según su importancia, dentro de ésta se ilustra tres categorías de edificaciones y su correspondiente coeficiente de importancia I. Véase en la tabla 19.

2.2.6. Sismo de Diseño con Probabilidad del 10%.

NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente (2015) menciona que el sismo de diseño es denominado un evento sísmico con probabilidad del 10% de ser excedido a 50 años, con periodo de retorno de 475 años.

Requisitos Mínimos de Diseño. para estructuras de ocupación normal.

Tabla 2*Prevención en el nivel de desempeño estructural*

Nivel de desempeño estructural	Elementos estructurales	Elementos no estructurales	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

Nota: tomado de NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015)

Para que la estructura diseñada cumpla con estos requisitos se debe diseñara para que consiga disipar energía de deformación inelástica por capacidad de diseño; soportar fuerzas especificadas en la norma; las derivas deben ser menos a las admisibles.

2.2.7. Límites Máximos Permitidos en las Derivas de los Pisos.

Expresada como porcentaje de la altura de entre piso, la deriva máxima calculada en la estructura no será mayor a los límites de deriva inelástica admisible presentado en la tabla 3:

Tabla 3*Valores de la deriva máxima admisible*

Estructura	Δ_M máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
Mampostería	0.01

Nota: tomado de NEC-SE-DS (2015)

2.2.8. Estructuras donde su Ocupación sean Especial y Esencial.

Amenaza Sísmica. Se realiza la verificación del desempeño para las distintas amenazas de peligro sísmico y periodo medio de retorno, representados en la tabla 22.

Fuerzas Sísmicas. Las estructuras de ocupación especial y esencial se diseñarán cuando y donde el nivel de fuerza sísmica no excederá a las planteadas por el método estático del Diseño Basado en Fuerza (DBF).

Objetivos y Nivel de Desempeño Sísmico. Los resultados se obtienen verificando el adecuado desempeño sísmico del rango inelástico. Véanse en la tabla 23.

2.2.9. Requisitos del Diseño Sismo Resistente.

Seguridad de Vida-Condición de Resistencia. Tanto las estructuras como la cimentación no excedan de los estados límites de falla. Considerándose que los parámetros estructurales deben estar por debajo del factor de resistencia según su compresión, tracción, cortante, torsión y flexión.

Limitación de daños-Deformaciones. La deriva de piso máxima horizontal inelástico serán menores a las admisibles ($\Delta_M < \Delta_M \text{ máxima}$).

Ductilidad. Mediante las técnicas de diseño por capacidad se especifica que es la capacidad que obtiene la estructura y disipa la energía de deformación inelástica.

2.2.10. Método de Diseño.

Dependerá del método estructural, la estructura puede ser analizada a través de métodos que consiguen fuerzas laterales, estáticos o dinámicos definidos:

- a) Para estructuras regulares en planta y elevación se utilizarán métodos estáticos para obtención de fuerzas laterales. Como mínimo se debe de realizar el método estático basado en fuerzas.

- b) Se deben usar procedimientos dinámicos, donde se permite añadir efectos torsionales y modos de vibración distintos al fundamental para los casos de estructuras no mencionadas en a).
- c) También pueden llevarse a cabo por un profesional de comportamiento dinámico, al tratarse de métodos alternos de cálculo dinámico.
- d) Se determinarán las fuerzas sísmicas en estructuras de sistemas de control y aislamiento a la base mediante un cálculo dinámico.
- e) Se permitirá otro proceso o método de cálculo sismo resistente, solo a profesionales con el conocimiento adecuado en principios avanzados en Dinámica Estructural e Ingeniería Sísmica.

2.2.11. Metodología de Diseño Sísmico.

Diseño Basado en Fuerza (DBF). Se utiliza para todo tipo de estructura.

Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DBD). Método complementario y alternativo al DBF.

Estructuras Compuestas. El análisis dinámico determinará las fuerzas sísmicas.

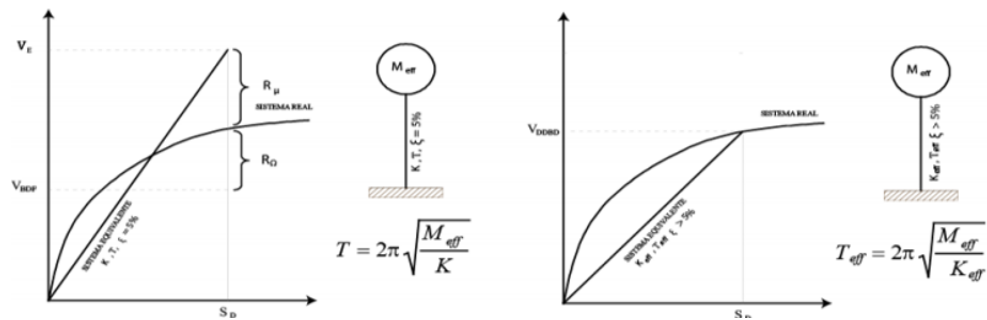
Análisis de Mecanismos Plásticos. Usando el método de diseño por capacidad.

2.2.12. Sistema Elástico Equivalente.

Para NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) el Diseño Basado en Fuerzas (DBF) y Diseño Basado en Desplazamientos (DBD) la respuesta real, no lineal e inelástica de las estructuras se linealiza según lo indicado en la siguiente figura 2. Para a) el amortiguamiento será igual a 5% y b) amortiguamiento > 5%.

Figura 2

Linealización equivalente



Nota: tomado de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico

Según NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) menciona que se sustituye el sistema real por el sistema elástico donde se obtiene el 5% de amortiguamiento, rigidez K y periodo T se consideran para estructuras de hormigón armado una reducción de inercia por agrietamiento y para estructuras de acero los espesores de las placas.

NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015) menciona que, al someter al sistema elástico a acciones sísmicas de diseño, se calcula el cortante basal de fluencia V de la estructura utilizando el factor de reducción R (R_μ para reducciones por ductilidad y R_Ω para sobre resistencia) a partir de la producción del cortante basal elástico V_E . Siendo $V = V_E/R$.

2.2.13. Ductilidad y Factor de Reducción de Resistencia Sísmica “R”

Para NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015), los criterios de definición del factor R se toman algunas características como el tipo de estructura, perfil de suelo en el sitio, periodo de vibración considerado en los cálculos, factores de ductilidad esperados, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura.

Para Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) si el sistema estructural es una combinación de dos o más sistemas como los mostrados en la tabla 20 y tabla 21, se adopta el menor valor del coeficiente R para la dirección de análisis.

2.3. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP E.030

Perú al ser un país perteneciente al Cinturón de Fuego del Pacífico esta en una zona de alta peligrosidad sísmica. En su historia sísmica se han producido grandes eventos telúricos que han causado devastaciones en las estructuras de las edificaciones, con pérdida de vidas.

Belaunde (2018) menciona que los sismos que más daño ocasionaron a Perú son: Cusco, en 1950, magnitud 6.8 grados en escala de Richter; Áncash, en 1970, magnitud de 7.9 grados; Lima, en 1974, magnitud de 7.6 grados; San Martín, en 1990, magnitud de 6.2 grados; Ocoña, en 2001, magnitud de 8 grados y Pisco, en 2007, magnitud de 7.9 grados.

La Norma Técnica Peruana NPT E.030 (2018) menciona que se debe tomar los valores de Z y S de normas internacionales según su importancia estableciendo las condiciones mínimas para el diseño sismorresistente, ya que no cuenta con normas nacionales.

Se define para la probabilidad de excedencia del 10%, es decir, periodo de retorno de 475 años, para el sismo de diseño con ese sismo se verifica que la estructura cuente con las condiciones idóneas para satisfacer las disposiciones establecidas por la norma.

2.3.1. Filosofía y Principios del Diseño Sismo resistente.

Según la Norma Técnica Peruana NPT E.030 (2018) esta filosofía se basa en:

Salvaguardar la Vida de las Personas. Las personas deben estar protegidas frente a un evento sísmico, donde las estructuras soportarán dicho evento sin llegar a colapsar, aunque ante un sismo severo se permitirán la presencia de daños graves a la estructura.

Reducir los Daños en la Propiedad. En un sismo severo la estructura debe seguir siendo operativa en estructuras para edificaciones esenciales.

Los Servicios Básicos y su Continuidad. Se podrán reparar daños que se encuentren dentro de lo admisible; la estructura soportará los movimientos moderados.

2.3.2. Factor Z.

La norma peruana NPT E.030-2018 está basada en la distribución espacial de los sismos, dividido en cuatro zonas, a éstas se le asigna un valor o factor Z, representada por la aceleración máxima horizontal dentro del sitio.

Tabla 4

Factor de Zonificación Z

Zona	4	3	2	1
Z	0.45	0.35	0.25	0.10

Nota: tomado de Norma Peruana NTP E.030-2018

2.3.3. Perfil de Suelo.

Para la norma técnica peruana NTP E.030-2018 se debe explorar las propiedades del suelo en los 30 metros superiores medida desde el fondo de la cimentación. Dichas propiedades se usan para modelar los efectos dinámicos de los perfiles de suelo caracterizadas mediante la velocidad promedio de propagación de ondas de corte, alternativamente en suelos granulares, se podrá usar el número de golpes promedio calculado a partir de los valores medidos en los estratos a través del ensayo de Penetración Estándar (SPT) y para suelos cohesivos se utilizará la resistencia al corte en condición no drenada (S_u). Véase en la tabla 24.

2.3.4. Parámetros de Sitio, Factor “S” y Periodos “ T_p ” y “ T_L ”

Los valores del factor de amplificación del suelo “S” y periodos “ T_p y T_L ” describen las condiciones del sitio dependiendo de cada tipo de perfil de suelo que se encuentre en el sitio. Los valores de estos parámetros se pueden encontrar en la tabla 25 y tabla 16, respectivamente.

2.3.5. Factor de Amplificación Sísmica “C”.

A partir de la aceleración en el suelo se llega a interpretar el factor de amplificación de la estructura. Dependerá de los variables en el sitio, tales como T_p, T_L y T . Donde T es el periodo fundamental de vibración de la estructura y se obtiene mediante las siguientes expresiones:

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

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

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

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

2.3.6. Categoría de la Edificación y Factor de Uso “U”.

En la tabla 27 se muestran las categorías y el factor U para cada una de ellas. U será igual a 1 para edificios con aislamiento sísmico en la base.

Para las edificaciones de categoría A1: en zonas de sismo 1 y 2, el proyectista debe decidir si se utiliza o no aislamiento. En este caso el valor mínimo de U será 1.5. Para zonas sísmicas 4 y 3 el aislamiento sísmico se ubica en la base. Para las edificaciones de categoría D: Se proveerá resistencia y rigidez idóneas para las acciones laterales.

2.3.7. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas “Ro”.

El coeficiente básico de reducción sísmica dispondrá del sistema de estructura sismorresistente en cada dirección; se tomará R_0 menor solo si se presenta más de un sistema estructural en los resultados del análisis en direcciones. Los valores del coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas se pueden encontrar en la tabla 28.

2.3.8. Irregularidades I_a , I_p y Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas R.

Según la Norma Técnica Peruana NPT E.030 (2018) especifica que las estructuras que presentan alguna de las siguientes directrices de las tablas 29 y 30, se consideran estructuras irregulares. En el caso de que la estructura no presente ninguna de éstas, se denominan estructuras regulares, donde el factor de irregularidad en altura (I_a) y/o el factor de irregularidad en planta (I_p) obtendrá un valor de 1.

La tabla 31 representa las restricciones dependiendo de las irregularidades y perfil de suelo. El coeficiente de reducción sísmica; “R” será calculado por la expresión:

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

2.3.9. Modelo de Análisis.

Norma Técnica Peruana NPT E.030 (2018) considera que para manifestar los aspectos más importantes del comportamiento dinámico de una estructura se debe de considerar una distribución espacial de masas y rigideces.

La Norma Técnica Peruana NTP E.030 (2018) destaca que las estructuras de concreto armado y albañilería serán estudiadas considerando las inercias de las secciones brutas, despreciando la fisuración y refuerzo. Para los edificios en los cuales se supone que los sistemas de piso trabajan como diafragmas rígidos se podría utilizar un modelo con tres grados de libertad por diafragma y con masas concentradas. Se verificarán que los diagramas tengan la rigidez y resistencia necesarias para garantizar lo mencionado en el párrafo anterior, de no hacerlo, se deberá tomar en cuenta su flexibilidad.

2.3.10. Estimación de Peso Sísmico.

El peso sísmico (P) es la carga total de la edificación donde se le adiciona un porcentaje de la sobrecarga o carga viva (CV); es estimado por la tabla 32.

2.3.11. Análisis Dinámico Modal Espectral.

Según Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018), los análisis dinámicos por combinación modal espectral son utilizados para todo tipo de estructura al momento de ser diseñada mediante sus resultados como los modos de vibración, aceleración espectral, fuerza cortante y excentricidad accidental.

Modos de Vibración. Se determinan por un método apropiado de la distribución de masas y rigidez. No se considera como mínimo los tres primeros modos preponderantes en la dirección analizada, además se toma en cuenta los modos donde la suma de las masas efectivas sea al menos el 90% de la masa total.

Aceleración Espectral. Se usa un espectro inelástico de pseudoaceleraciones para cada dirección horizontal de análisis, ver figura 3, será calculado mediante:

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

Se considera emplear 2/3 del espectro de las direcciones horizontales para obtener el análisis en la dirección vertical; tomando en cuenta los valores de la variable C, con excepciones en la zona con periodos cortos.

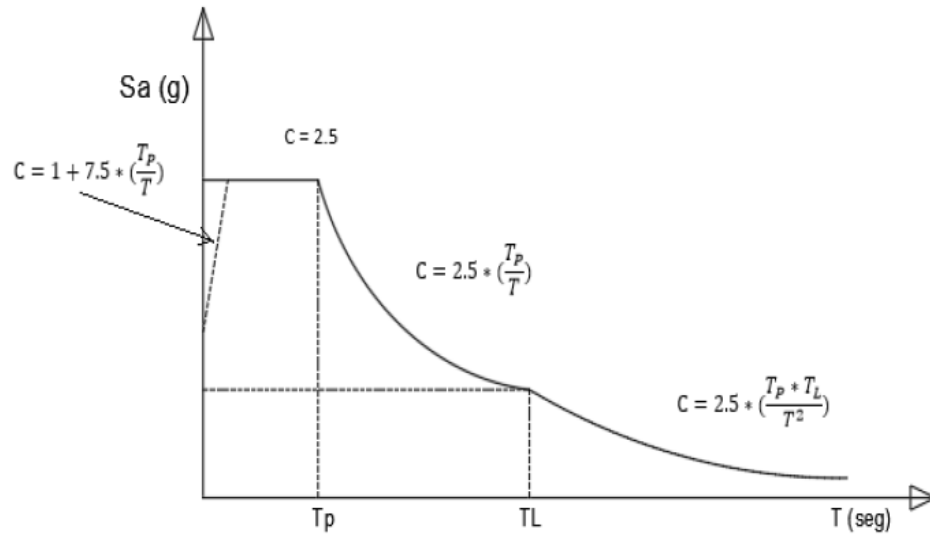
$$T < 0.2T_p \qquad C = 1 + 7.5 \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

Criterios de Combinación. Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) mencionan que se consigue las respuestas máximas elástica esperada (r) para las fuerzas internas en los elementos de la estructura, factores globales de la edificación, en la base la fuerza cortante, entrepiso, momento de volteo, desplazamiento relativo de entrepiso y desplazamiento total.

El parámetro r corresponde al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración utilizado (ri) se determina mediante la combinación cuadrática completa para cada modo.

Figura 3

Espectro de diseño-Aceleración espectral



Nota: tomado de Norma Peruana NTP E.030-2018

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

Las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas se definen por r , dados por:

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

β : se considera constante para todos los métodos, igual a 0.05.

ω_i ; ω_j : frecuencias angulares; modos i , j .

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

Fuerza Cortante Mínima. La fuerza cortante del primer entrepiso debe ser $\geq 80\%$ del encontrado para estructuras regulares, además $\geq 90\%$ para estructuras irregulares.

En el caso de que sea necesario aumentar el cortante para satisfacer las especificaciones mínimas señaladas, se escalan proporcionalmente los demás resultados, con excepción de los desplazamientos.

Excentricidad accidental. Según Terrones Muñoz and Vilca Ticia (2018) para considerar los efectos más desfavorables se estima una excentricidad accidental óptima del 5% se toma la dirección perpendicular a la dirección del análisis. La excentricidad accidental dependerá de la dimensión de la edificación.

2.4. CÓDIGO SÍSMICO PARA EDIFICIOS EN JAPÓN

2.4.1. Rutas de Diseño Sísmico.

El diseño sísmico está compuesto por rutas enumeradas de 0 a 5:

Ruta 0. Se aplica a edificaciones pequeñas; donde no se requiere cálculo estructural, solo se procede a realizarse a través de las especificaciones estructurales.

Ruta 1. Aplicada para edificaciones de pequeña y mediana escala; se consideran cálculos de tensión permisible, altura, resistencia y siguiendo las especificaciones estructurales, etc.

Ruta 2. Para edificaciones donde su altura no exceda a 31 m; se consideran cálculos de tensión permisible, restringiendo las derivas de piso como rigidez y excentricidad, resistencia y ductilidad.

Ruta 3. La altura de la edificación no excederá los 60 m; considerando cálculos de tensión permisible, restringiendo derivas de piso y capacidad lateral última.

Ruta 4. Para edificaciones que no supere los 60 m de altura; se verificarán los límites de daños, límite de seguridad y limitación de desvío de niveles.

Ruta 5. Se aplicará a todos los edificios incluyendo a los que excedan a los 60 m; considerando análisis de respuesta del historial de tiempo para la seguridad sísmica.

Donde: Especificaciones estructurales: para todo tipo de edificaciones, aunque se aliviana para la Ruta 3, exceptuando la durabilidad para Ruta 4 y 5. Tensión permisible: aplicados para Ruta 1, 2 y 3. La cizalladura sísmica lateral en movimientos sísmicos moderados no será mayor al esfuerzo permisible en cargas temporales. Altura, Fuerza: en Ruta 1 se utilizan estas limitaciones donde se utiliza la tensión permisible y las especificaciones estructurales logrando así la seguridad en edificios de escala pequeña. Desviación de la historia: para Rutas 2, 3 y 4, evitando que los elementos no estructurales no sufran daños frente a un sismo. Rigidez y Excentricidad: para Ruta 2, en una parte de los edificios evita la concentración de daños frente a un sismo. Resistencia y Ductilidad: en sismos severos la edificación cumple su resistencia y ductilidad para Ruta 2. Capacidad Lateral Última: se calcula para verificar el comportamiento sísmico frente a un sismo aplicado en Ruta 3. Límite de Daños: en Ruta 4 es necesario cumplir que el daño este dentro de lo admisible en sismos raros. Límite de Seguridad: frente a sismo muy raros, la edificación no colapsará en Ruta 4. Análisis de Respuesta del Historial de Tiempo: en Ruta 5, la seguridad se verificará mediante la historia del tiempo y análisis de respuesta.

2.4.2. Tipo de suelo y periodo T_c .

Japón en todo su territorio es sísmicamente activo, la estructura será diseñada para dos niveles de peligro sísmico, tales como, sismo de nivel medio con periodo de retorno de 50 años y sismos severos con periodo de retorno de 500 años.

Tabla 5

Tipo de suelo, descripción y periodo T_c

Suelo	Descripción	T_c
Tipo I	Roca, grava, suelos de la Era Terciaria o antes u otro suelo analizado con periodo similar a éstos.	0.4
Tipo II	Diferente al tipo I y III	0.6
Tipo III	Suelo blando con profundidad de 30 m o más, suelos pantanosos o fangosos de 3 m o más.	0.8

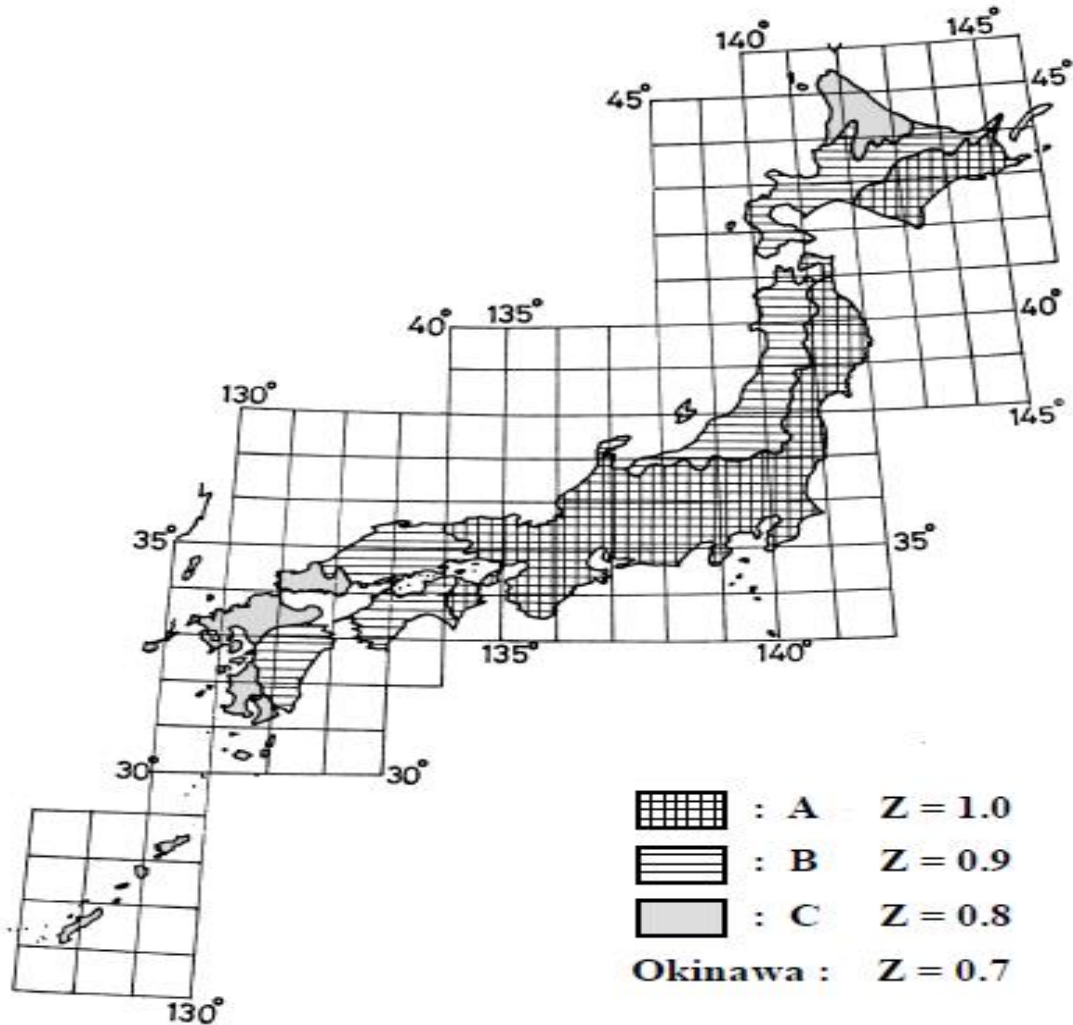
Nota: tomado de Comparación de los procedimientos de diseño sísmico de EE. UU., China y Japón

2.4.3. Factor de Zonificación Z y Periodo T.

Según la figura 9 Japón se divide en tres zonas de peligro sísmico como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4

Zonificación de Japón



Nota: tomado de “Comparación de los procedimientos de diseño sísmico de EE. UU., China y Japón”

$C_0 \geq 0.2$ para movimientos sísmicos moderados

$C_0 \geq 1.0$ para movimientos sísmicos severos

Donde C_0 es el coeficiente de corte estándar.

La tabla 6 presenta los valores de R_t (factor espectral de diseño) y T.

Tabla 6

Coeficientes T y R_t

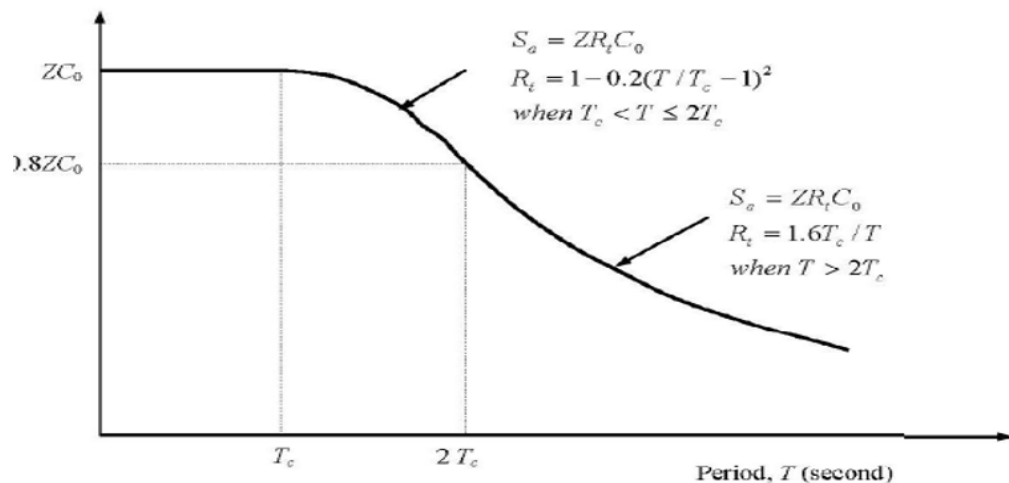
T	$T < T_c$	$T_c \leq T < 2T_c$	$T \geq 2T_c$
R_t	1	$1 - 0.2 \left(\frac{T}{T_c} - 1 \right)^2$	$\frac{1.6T_c}{T}$

Nota: tomado de "Código sísmico y daños por terremotos en Japón"

Donde: R_t se podría calcular por otros procedimientos, pero no debe ser menor a 0.75 de la tabla anterior. T periodo fundamental del edificio y T_c es el periodo crítico del suelo.

Figura 5

Espectro de respuesta del Código Japonés



Nota: tomado de Código Japonés

2.5. SOCIEDAD ESTADOUNIDENSE DE INGENIEROS CIVILES ASCE 7-16

2.5.1. Clasificación de sitio.

De acuerdo con Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16 (2016), la clasificación del suelo partirá de los primeros 30 m superiores del perfil. En el caso de que los datos del suelo no sean los adecuados a los 30 m, el profesional realizará un informe investigativo que se basa en las condiciones geológicas del suelo. En la tabla 33 se visualiza la clasificación.

2.5.2. Coeficientes de Sitio.

Las aceleraciones de respuesta espectral de sismo MCE (Maximum Considered Earthquake), se ajustan S_S y S_1 a partir de los coeficientes de suelo.

$$S_{MS} = F_a * S_S$$

$$S_{M1} = F_v * S_1$$

Donde los coeficientes de sitio F_a (para aceleraciones de periodos cortos) y F_v (para aceleraciones a 1 segundo) se muestran en las tablas 34 y 35 respectivamente.

2.5.3. Parámetros de Aceleración Espectral.

S_{DS} para diseño sísmico de periodo corto y S_{D1} para periodo de 1 segundo son parámetros de aceleraciones que se determinarán mediante las siguientes expresiones matemáticas:

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

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

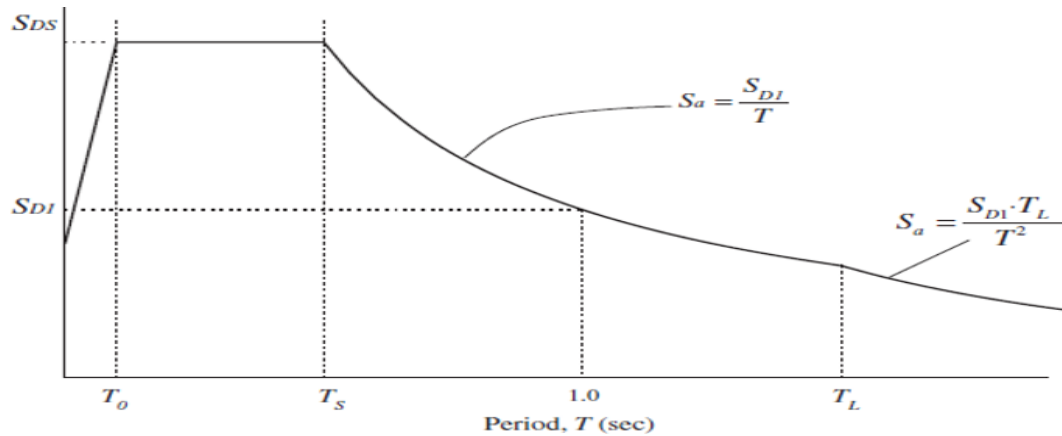
S_{MS} y S_{M1} son aceleraciones modificadas que al multiplicarlos por dos tercios se obtienen las aceleraciones de diseño sísmico. Esto se realiza para poder reducir los valores del movimiento sísmico al 10% de probabilidad con excedencia en 50 años. Donde se procura la ocurrencia de cada 475 años.

2.5.4. Espectro de Respuesta de Diseño.

A continuación, se muestra la figura, la cual representa al espectro de diseño de las aceleraciones, donde se obtienen las aceleraciones donde no es necesario utilizar métodos del tipo de sitio y su movimiento.

Figura 6:

Espectro de respuesta de Diseño



Nota: tomado de Asociación Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16

La aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , para periodos menores a $T_0 = 0.2(S_{D1}/S_{DS})$; se calculará mediante la siguiente expresión:

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

La aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , será igual a S_{DS} , solo para periodos mayores iguales a T_0 y menores que o igual a $T_S = S_{D1}/S_{DS}$ ($T_0 \leq T \leq T_S$).

Para periodos mayores que T_S y menores o iguales que T_L , se calculará la aceleración de respuesta espectral de diseño, se determinará con la siguiente expresión:

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

$$T_S < T \leq T_L$$

La aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , cuando los periodos son superiores a T_L ; ($T > T_L$); se calculará con la expresión:

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

2.6. NORMA CHILENA DE DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS NCH433

La norma chilena de diseño sísmico en edificios data del año 1996 y su última modificación fue en el año 2012, tiene como principal objetivo reducir lo más posible el daño estructural de las edificaciones para preservar las vidas frente a un evento de telúrico de gran magnitud; destacamos que Chile es un país que en su historia ha sufrido grandes sismos destacando el de 1960 con magnitud de 9.5, 1868 con magnitud de 9, 2010 con magnitud 8.8 y 1730 con magnitud de 8.7 en escala de Richert, ocupando el primer, segundo, tercer y quinto lugar de los terremotos ocurridos en América.

Por lo tanto, se debe cumplir satisfactoriamente con los principios y filosofía de diseño de la norma chilena Nch-433 (2012) aplicando los criterios y procesos de análisis para el índice de vulnerabilidad de las edificaciones, además de las especificaciones para satisfacer las solicitaciones sísmicas. El sismo de diseño en este caso para esta norma se basa en los sismos raros con probabilidad de 10% para una excedencia de 50 años con periodo de retorno de 475 años.

2.6.1. Factor de Zona A_o .

Tabla 7

Factor de Zona A_o

Factores de zona A_o	
Zona	A_o
1	0.20 g
2	0.30 g
3	0.40 g

Nota: tomado de Norma Chilena Nch433-2012

Según el nivel de sismicidad en Chile se puede observar que está dividido en tres zonas que se caracterizan por generar movimientos sísmicos. En la tabla 17, se

puede interpretar que cada zona tiene un porcentaje de aceleración de la gravedad, representada de la aceleración máxima efectiva horizontal en terreno con 10% de probabilidad en periodo de 50 años y con periodo de retorno de 475 años.

2.6.2. Perfiles de Suelo.

Quijada (2019) menciona que la Norma Chilena Nch 433 (2012) distingue seis tipos o perfiles de suelo, se clasificaron según los respectivos procesos considerando V_s (velocidad promedio de propagación de ondas de corte), sucesivamente en suelos arenosos, se realizan ensayos de penetración estándar (SPT) para obtener el promedio de los Números de golpes (N1), o la ponderación del promedio de la resistencia al corte para suelos cohesivos (S_u) cuando no es drenada. Otro ensayo es a resistencia a la compresión simple (q_u) o designación de calidad de roca (RQD) de la norma propuesta ASTM D 6032.

En la tabla 36 se presentan los perfiles de suelos según Terrones Muñoz and Vilca Ticlia (2018) de la Norma Chilena Nch 433 (2012) valorados desde el perfil de suelo desde el nivel del fondo de cimentación hasta los 30 primeros metros superiores a éste. Para el perfil de suelo tipo F (suelos licuables, saturados, orgánicos, colapsables, etc.) deberán ser estudiados y analizados por el proyectista especializado de acuerdo a su criterio debido a ciertas singularidades presentes en el comportamiento mecánico del suelo.

2.6.3. Parámetros de Sitio, Factor S y Periodos T_0 y T.

Los siguientes valores de los factores que muestra la tabla 37 son establecidos por la norma chilena dependiendo del perfil de suelo:

2.6.4. Factor de Amplificación Sísmica C.

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

Dónde:

n, T^*, S : parámetros dependientes del perfil del suelo de fundación.

A_0 : aceleración efectiva máxima

R: factor de reducción de respuesta sísmica

T^* : periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección del análisis.

g: aceleración de gravedad

Este valor no debe ser menor a $A_0 * S/6g$, ni exceder a lo mostrado en la tabla 38:

Para poder resistir movimientos telúricos de gran magnitud mediante muros de hormigón armado, o combinación asociada por pórticos y muros de hormigón armado y paños de albañilería confinada, se calculará el valor máximo de C (Coeficiente sísmico), se reducirá multiplicándolo por f, obtenido mediante:

$$f = 1.25 - 0.5q \quad (0.5 \leq q \leq 1.0)$$

Donde q es el menor de los factores obtenidos por el cálculo del coeficiente del esfuerzo de corte; muros de hormigón armado/ por el esfuerzo de corte total de cada piso.

2.6.5. Periodo de Vibración T^* .

Terrones Muñoz and Vilca Ticlia (2018) en su tema de investigación previo a obtener el título de ingeniero civil recomiendan para el cálculo del periodo de vibración, la siguiente expresión basada en las ordenanzas generales de construcciones en Chile:

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

m: masa

k: rigidez

T: periodo de vibración

2.6.6. Categoría de la Edificación y Coeficiente I.

En la tabla 39 se presentan las descripciones de la ocupación de las edificaciones, su categoría y coeficiente relativo I, en función de la importancia y su uso.

2.6.7. Sistemas Estructurales.

La Norma Técnica Peruana NTP E.030 (2018) menciona que los sistemas estructurales deben de trabajar de una manera óptima donde su capacidad de soportar fuerzas sísmicas se basa en sus elementos, los sistemas son los siguientes:

Sistemas de muros y otros sistemas arriostrados: los muros o pórticos arriostrados cumplen la función de resistir acciones gravitacionales y sísmicas de esfuerzo axial.

Para Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) el sistema de pórticos es el análisis de dos direcciones de las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por pórticos y en los Sistemas mixtos las cargas gravitacionales y sísmicas son resistidas por una combinación de sistemas antes mencionados.

2.6.8. Coeficiente de Reducción Sísmica R (estático) y Ro (dinámico).

El valor de Ro, para análisis modal espectral y R, para análisis estático, son los encargados de disipar la energía en la estructura. que son clasificados en categorías de la tabla 40.

2.6.9. Regularidad Estructural.

La Norma Chilena Nch 433 (2012) no cuenta con condiciones estructurales de regularidad, por lo tanto, no se encuentran definido.

2.6.10. Método de Análisis.

Sin importar el método a utilizar se debe de considerar tener dos desplazamientos horizontales y una rotación del piso en vertical. Es decir, tres grados de libertad por piso.

Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) mediante la Norma Chilena Nch 433 (2012) considera despreciar los efectos producidos por la torsión accidental en los predimensionamientos de los elementos estructurales en tal caso se desplaza transversalmente la ubicación de los centros de masas del modelo en $\pm 0.05 b_{ky}$ para dirección en x, y $\pm 0.05 b_{kx}$ para la dirección en y (k = número de pisos), varían desde el 20% o menores en los desplazamientos horizontales de los puntos de plantas del edificio, respecto al análisis de los resultados del modelo con los centros de masa en su ubicación natural.

2.6.11. Estimación de la Masa Sísmica.

Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) considera las cargas permanentes más un porcentaje de sobrecarga de uso que no debe ser menor a 25%; en construcciones destinadas a habitación privada o pública donde no se aglomeran demasiadas personas u objetos, y el 50% donde si lo hacen.

2.6.12. Análisis Estático.

Este tipo de análisis se utilizará solo al análisis sísmico de las estructuras resistentes: 1) estructuras de categorías I y II que se encuentran en la zona sísmica 1; 2) estructuras de hasta 5 pisos donde su altura no excede los 20 metros de altura y c) estructuras de 6 a 15 pisos se destacan dos condiciones para las direcciones de análisis. En este último: c1) deben ser iguales o mayores a 40 m/s los coeficientes obtenidos entre la altura total del edificio y periodos de los modos de mayor masa traslacional equivalente a las direcciones x, y, Tx y Ty; c2) los esfuerzos cortantes, obtenidos por el sistema de fuerzas sísmicas horizontales del método estático, y los momentos volcantes de cada uno de los pisos no excedan el 10% de los obtenidos mediante el análisis modal espectral con igual esfuerzo de corte basal.

Cortante Basal.

$$Q_0 = C * I * P$$

Donde:

Coeficiente sísmico: C.

Peso total de la edificación: P.

Coeficiente relativo al edificio: I.

Distribución de fuerza sísmica en altura. Para las edificaciones de máximo 5 pisos o estructuras de no más de 16 metros de altura, las fuerzas sísmicas horizontales y el factor de ponderación del peso dependiente del piso en el que se encuentre, donde están presentes parámetros únicos de la estructura, se calculan con las siguientes expresiones:

$$F_x = \frac{A_k * P_k}{\sum_{j=1}^N A_j * P_j} * Q_0$$

$$A_x = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{h}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{h}}$$

Donde:

A_k : factor de ponderación del peso asociado al nivel k.

P_k : peso asociado al nivel k.

Z_k : altura del nivel k, sobre el nivel basal.

H: altura total del edificio sobre el nivel basal.

Análisis por torsión accidental. La torsión accidental se combina con el análisis de las fuerzas aplicadas en cada dirección de acción sísmica. Para aquello se aplica momentos e torsión en cada uno de los pisos de la edificación, este último es calculado por el producto de la fuerza estática actuante en ese piso y excentricidad accidental expresada por la norma chilena como:

$$\pm 0.10 * b_{ky} * \frac{Z_k}{h} \quad \text{para el sismo en } x$$

$$\pm 0.10 * b_{kx} * \frac{Z_k}{h} \quad \text{para el sismo en } y$$

Donde b_{kx} es igual a la dimensión en la dirección X, de planta en el nivel k.

Se consideran dos casos para cada dirección de análisis ya que se toman en cuenta el signo para las excentricidades de cada piso o nivel.

2.6.13. Análisis Dinámico Modal Espectral.

Se aplicará a estructuras donde los modos de vibración con amortiguamiento modales del 5% respecto al amortiguamiento crítico según la norma chilena Nch433-2012.

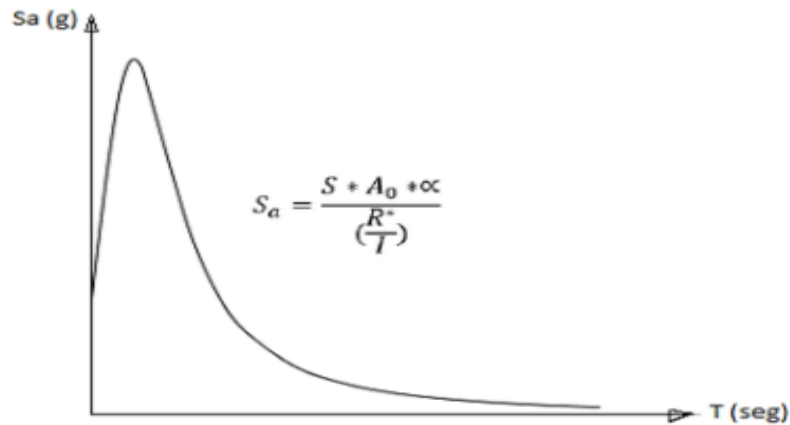
Modos de Vibración. Para que la suma de las masas equivalentes de cada una de las dos acciones sísmicas sea mayor o igual al 90% de la suma total, se debe de adicionar en el análisis todos los modos normales ordenados según los valores crecientes de las frecuencias de cada uno de los niveles, según Quijada (2019).

Espectro de Diseño. A partir de los parámetros de la Norma Chilena Nch 433 (2012) se muestra a continuación en la figura 7 el espectro de diseño inelástico de forma gráfica.

El factor de amplificación α se calculará para cada modo de vibración n, donde T_n es el periodo de vibración del modo n, T_0 y p son los parámetros relativos que dependen del perfil de suelo de fundación, a través de la siguiente expresión:

Figura 7

Espectro de diseño



Nota: tomado de Norma Chilena Nch433-2012

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

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.1 * T_0 + \frac{T^*}{R_0}}$$

Para estructuras con muros, el factor de reducción R^* se determina:

$$R^* = 1 + \frac{NR_0}{4T_0R_0 + N}$$

Torsión Accidental. La norma chilena Nch-433 (2012) define que para definir los efectos torsionales generados por la excentricidad se considera una excentricidad accidental, para dicho efecto se podrá calcular siguiendo las formas a continuación:

Terrones Muñoz and Vilca Ticlia (2018) mencionan que la primera menciona que, si se desplaza transversalmente la localización de los centros de masas del modelo en $\pm 0.05 b_{ky}$ para dirección en x, y $\pm 0.05 b_{kx}$ para la dirección en y (k= número de

piso), varían el 20% o menores en los desplazamientos horizontales de los puntos de plantas del edificio, respecto al análisis de los resultados del modelo con los centros de masa en ubicación natural.

La segunda forma: para aquello se aplica momentos de torsión en cada uno de los pisos de la edificación, este último es calculado por el producto de la fuerza estática actuante en ese piso y la excentricidad accidental expresada por la norma chilena como:

$$\pm 0.10 * b_{ky} * \frac{Z_k}{h} \quad \text{para el sismo en } x$$

$$\pm 0.10 * b_{kx} * \frac{Z_k}{h} \quad \text{para el sismo en } y$$

Donde b_{kx} es igual a la dimensión en la dirección X, de planta en el nivel k.

Se consideran dos casos para cada dirección de análisis ya que se toman en cuenta el signo para las excentricidades de cada piso o nivel.

Limitaciones del Esfuerzo de Corte Basal. Cortante basal mínimo: mínimo valor que debe tomar el esfuerzo de corte basal, en el caso no llegue a pasar esto se debe de multiplicar un factor de amplificación para poder alcanzar lo permitido. Al realizar este producto se debe de multiplicar también a los desplazamientos y rotaciones de diafragmas horizontales, además de las solicitaciones de los elementos de estructura. Terrones Muñoz and Vilca Ticlia (2018).

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

$Q_{0 \min}$: Corte basal mínimo

A_0 : Aceleración efectiva máxima del suelo

S: Parámetros que depende del perfil de suelo

I: Coeficiente relativo de edificio.

P: Peso sísmico total del edificio

Cortante basal máximo. Mayor valor que podría adquirir el cortante basal, relacionado al coeficiente sísmico máximo. Si llega a ocurrir que el corte basal encontrado por el análisis es superior a este valor se debe de multiplicar por un factor de disminución para que este sea igual o menor que el cortante basal máximo. Al realizar este producto se debe de multiplicar también a los desplazamientos y rotaciones de diafragmas horizontales, además de las solicitaciones de los elementos de la estructura.

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

$Q_{0\ max}$: Corte basal máximo

C_{max} : Coeficiente sísmico máximo

I: Coeficiente relativo de edificio.

P: Peso sísmico total del edificio

Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles. Para poder obtener las acciones y efectos sísmicos de diseño estipuladas se deben calcular los desplazamientos horizontales, incluir a la torsión accidental y las rotaciones de diafragmas de piso.

Quijada (2019) a través de la Norma Chilena Nch 433 (2012) deduce que, no deberá exceder la altura de entrepiso multiplicado por 0.002, se medirá en el centro de masas para cada una de las direcciones de análisis obteniendo el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos. A la vez que medido en un punto cualquiera en planta el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, no será mayor a 0.001h (h es la altura de entrepiso) al desplazamiento relativo que corresponde a la medida en el centro de masa.

2.7. EUROCÓDIGO 8: PROYECTO DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES

2.7.1. Tipos de Terreno.

Según Euro código 08 (1998) el terreno se forma por varias capas superficiales, donde se destacan los tipos de terrenos de la tabla 41. En la roca se produce la amplificación del movimiento sísmico según la función de la capacidad que posee, dependiendo de la velocidad media en su propagación de ondas sísmicas transversales y el espesor de suelo en la superficie.

2.7.2. Espectro de Respuesta Horizontal.

Para la Acción sísmica en las normativas (2017) los componentes horizontales de acción sísmica están definidos por las siguientes expresiones:

$$0 \leq T < T_B \rightarrow S_e(T) = a_g * S * \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta * 2.5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \rightarrow S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5$$

$$T_C \leq T < T_D \rightarrow S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5 * \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \rightarrow S_e(T) = a_g * S * \eta * 2.5 * \frac{T_C * T_D}{T^2}$$

Donde:

$S_e(T)$: espectro de respuesta elástica.

T : periodo de vibración con sistema lineal con solo un grado de libertad.

a_g : aceleración del suelo en terreno tipo A, calculado $a_g = \gamma_1 * a_{gR}$.

T_B : periodo menor en la meseta, constante de la aceleración espectral.

T_C : periodo mayor en la meseta, constante de la aceleración espectral.

T_D : Valor que define empezado el intervalo de desplazamiento del espectro.

S : factor de suelo.

η : factor de amortiguamiento, referenciado $\eta = 1$, cuando el amortiguamiento es de 5%.

2.7.3. Parámetros S , T_B , T_C y T_D , Forma Espectral de Respuesta Elástica Horizontal.

Tabla 8

Valores de parámetros de espectro elástico de respuesta horizontal

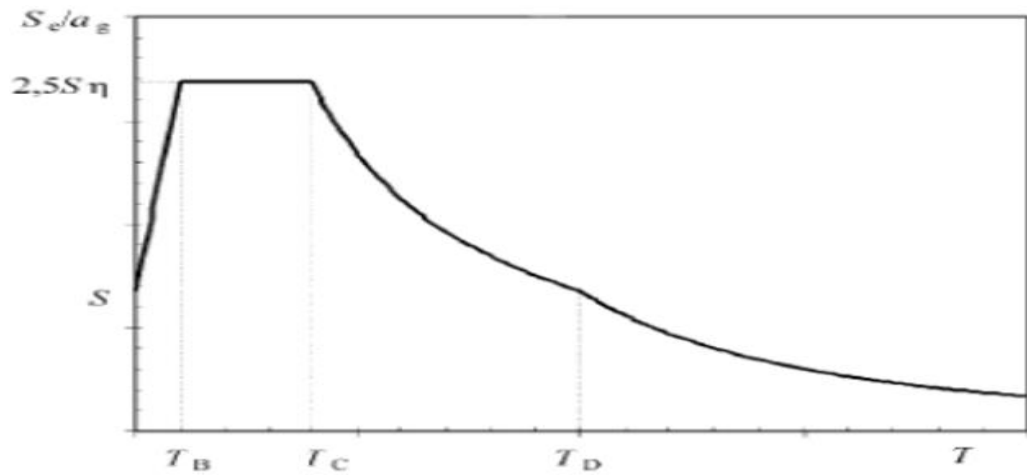
Suelo tipo	S	T_B	T_C	T_D
A	1	$\frac{T_C}{5}$	$\frac{K}{4}$	2.0
B	$a_g \leq 0.1g; \quad S = C$	$\frac{T_C}{5}$	$\frac{KC}{4}$	2.0
C	$0.1g < a_g \leq 0.4g; \quad S = C + 3.33 \left(\frac{a_g}{g} - 0.1 \right) (1.0 - C)$ $a_g > 0.4g; \quad S = 1$			
D	$a_g \leq 0.1g; \quad S = 2$ $0.1g < a_g \leq 0.4g; \quad S = 2.33 - 3.33 \left(\frac{a_g}{g} \right)$ $a_g > 0.4g; \quad S = 1$	$\frac{T_C}{5}$	$\frac{KC}{4}$	2.0

Nota: tomado de Eurocódigo 08, parte 1

$$C = \left(\frac{800}{V_{S,30}} \right)^{0.465}, \quad K \text{ se obtiene en la figura 9:}$$

Figura 8:

Forma espectral de respuesta horizontal



Nota: tomado de Eurocódigo 8

Acción sísmica en las normativas (2017) menciona, si en el caso de no considerar la profundidad en la geología se obtiene dos tipos de formas espectrales, es decir, Tipo 1 y Tipo 2; si la magnitud de onda superficial M_s no es mayor que 5.5 se puede elegir la forma espectral Tipo 2. Se recalca que los parámetros de periodos T_B, T_C, T_D y factor S dependen del tipo de terreno. Véanse en las tablas 43 y 44 respectivamente.

2.7.4. Factor de Importancia γ_I para Edificios.

Tabla 9

Factor de Importancia

Clase de Importancia	γ_I
Importancia I o moderada	0.8
Importancia II o normal	1.0
Importancia III o mayor importancia	1.3
Importancia IV o especial	1.4

Nota: tomado de Eurocódigo 08, parte 1

2.7.5. Factor de Reducción q .

En el Eurocódigo 8 el factor de reducción aplicados en las formas espectrales de diseño elásticos es expresado por “ q ” mediante la expresión $q = q_0 k_w \geq 1.5$. Donde q_0 es el factor básico de reducción dependiendo del tipo de estructura y regularidad en elevación, además de la ductilidad. Menciona dos niveles Clase de Ductilidad Alta (DCM) y Clase de Ductilidad Baja (DCH) obteniendo la tabla 10. Donde $k=1$ debido a que el amortiguamiento es 0%. Al producto obtenido se suma el 20% del mismo para estructuras con control de calidad.

Para el sistema porticado, dual o acoplado a muros de corte se incluye un factor multiplicador al considerarse valores altos a medida que los vanos y niveles sean mayor a uno. Estos valores se presentan en la tabla 11.

Tabla 10

Factor Básico de Reducción q_0

Tipo estructural	DCM	DCH
Sistema porticado, dual o acoplado a muros de corte	$3.0 \alpha_u / \alpha_1$	$4.5 \alpha_u / \alpha_1$
Sistema con muros de corte	3.0	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Sistema torsionalmente flexible	2.0	3.0
Sistema de péndulo invertido	1.5	2.0

Nota: Tomado de Eurocódigo 8

Tabla 11

Valores de α_u/α_1

Sistema porticado, dual o acoplado a muros de corte	α_u/α_1
Edificación de un solo nivel	1.10
Edificación de varios niveles, pero con solo un vano	1.20
Edificación de múltiples niveles y múltiples vanos	1.30

Nota: tomado de Eurocódigo 8

Figura 9:

Factor de reducción q

	q_0	α_u/α_1	k_u	Factor de Reducción q							
				Regulares		Irregulares					
				SPC	CPC	en planta		en elevación		planta elevación	
				SPC	CPC	SPC	CPC	SPC	CPC		
Un solo nivel	4,50	1,10	1,00	4,95	5,94	4,50	5,40	4,13	4,95	3,75	4,50
Múltiples niveles, un solo vano	4,50	1,20	1,00	5,40	6,48	4,50	5,40	4,50	5,40	3,75	4,50
Múltiples niveles, múltiples vanos	4,50	1,30	1,00	5,85	7,02	4,50	5,40	4,88	5,85	3,75	4,50

Nota: tomado de Eurocódigo 8

CAPÍTULO III: DESARROLLO Y RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Espectros de Diseño Elásticos de las normas estudiadas respecto a distintos perfiles de suelo.

Los factores y parámetros para realizar las formas espectrales de diseño elástico de los perfiles de suelo tipo A, B, C, D y E y/o semejantes de cada una de las normas analizadas, se especifican en los anexos del presente trabajo. Debido a que en Europa no existe gran peligro sísmico, para obtener las formas espectrales de diseño sísmico se le otorgará un peligro sísmico de 0.4g, con la finalidad de obtener y realizar una mejor comparación entre dichas normas sísmicas.

Figura 10

Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo A

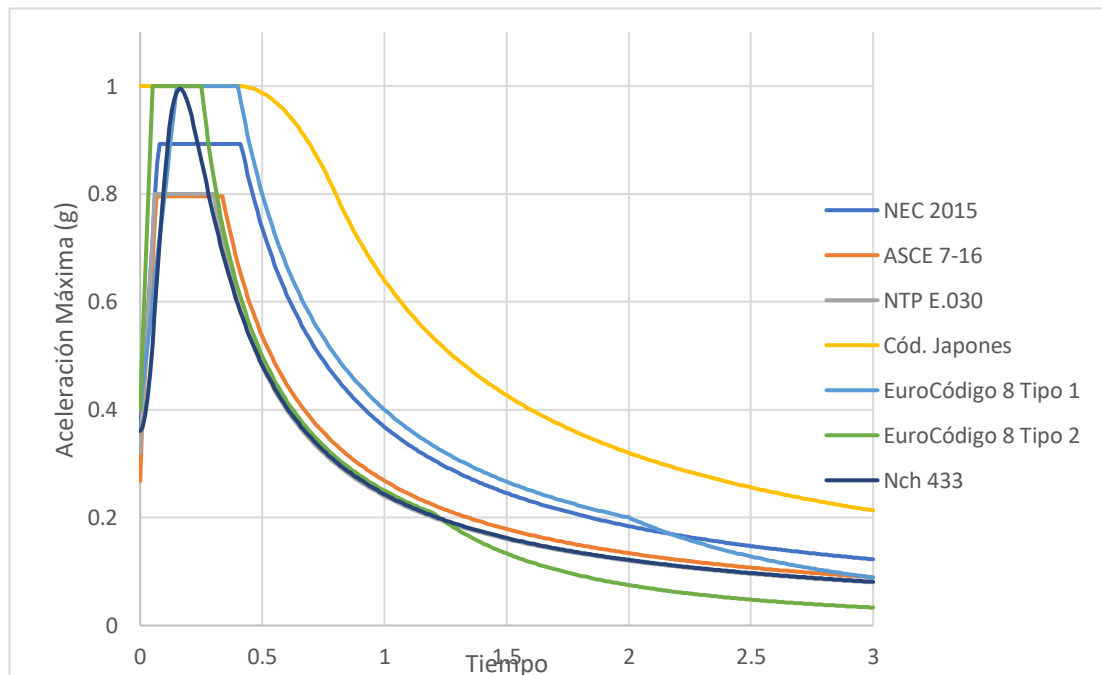


Figura 11

Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo B

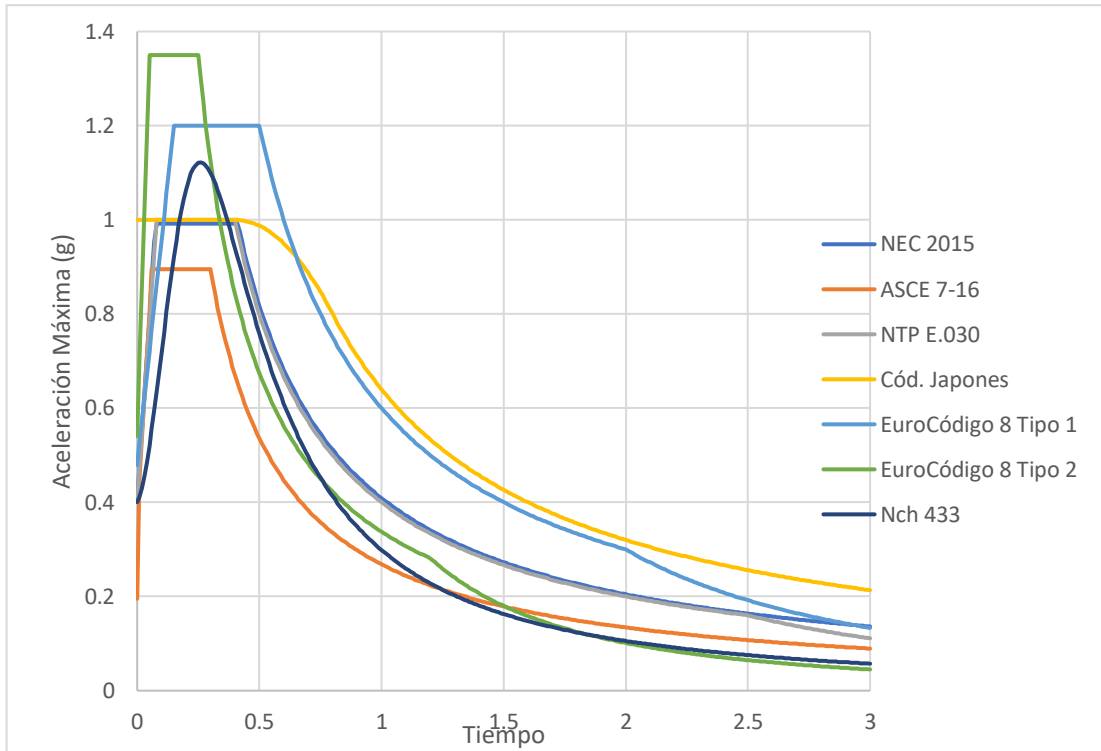


Figura 12

Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo C

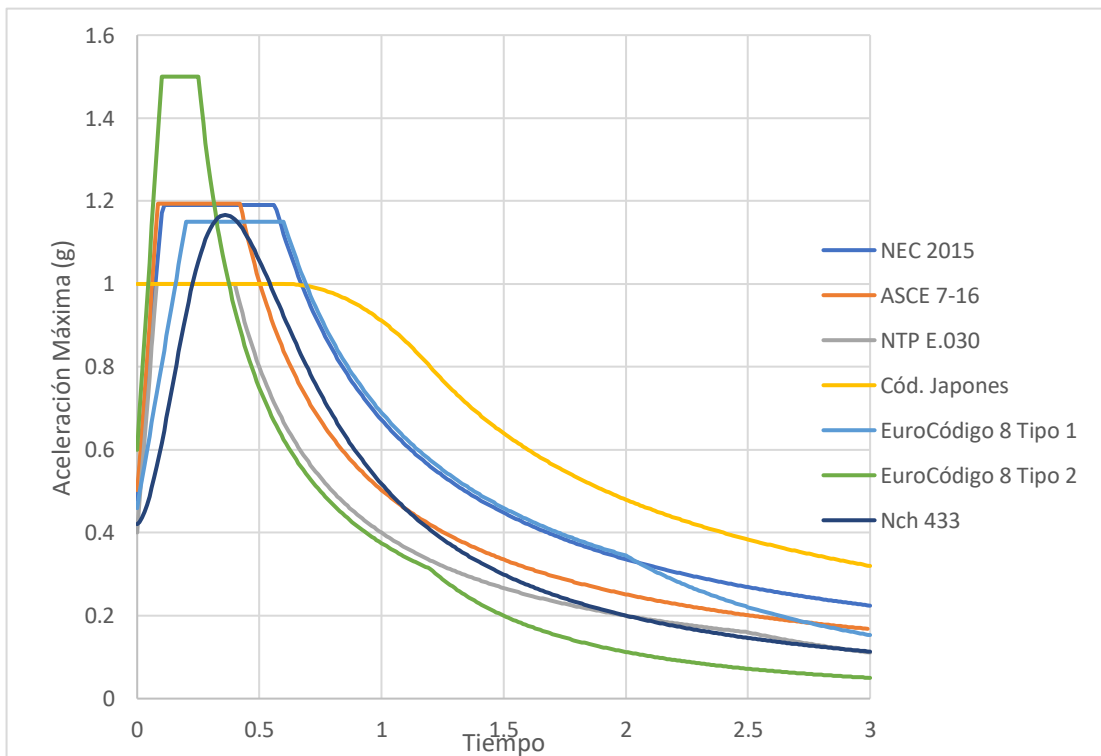


Figura 13

Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo D

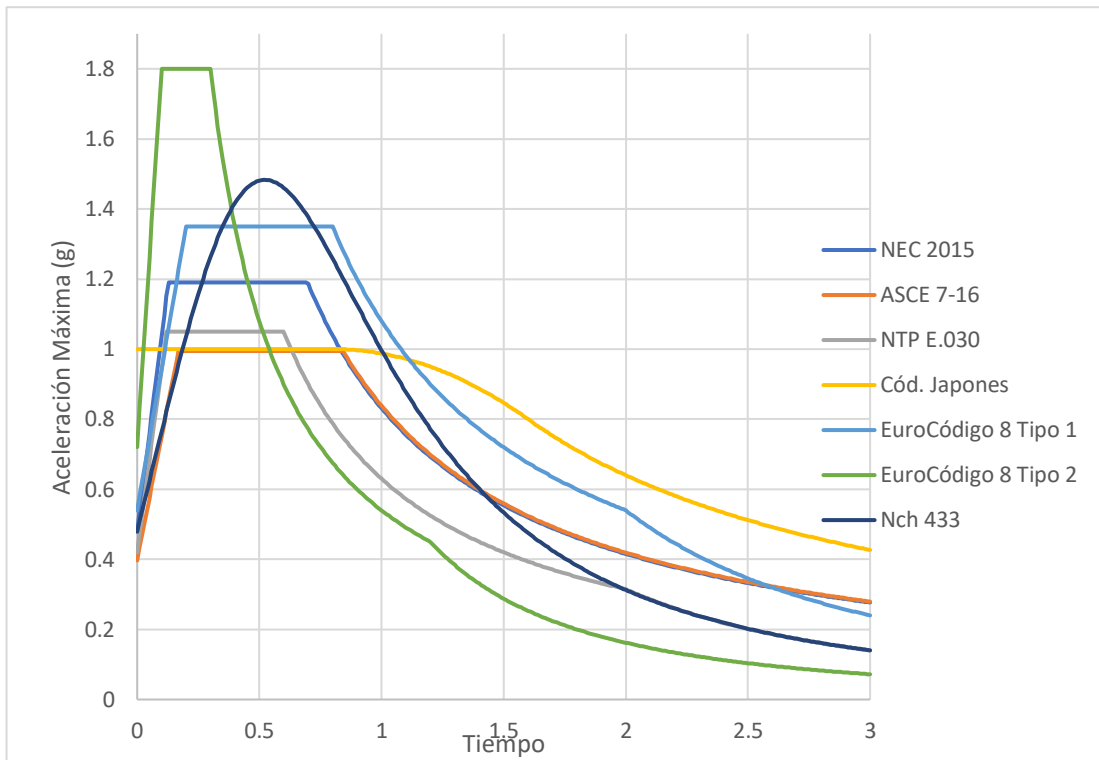
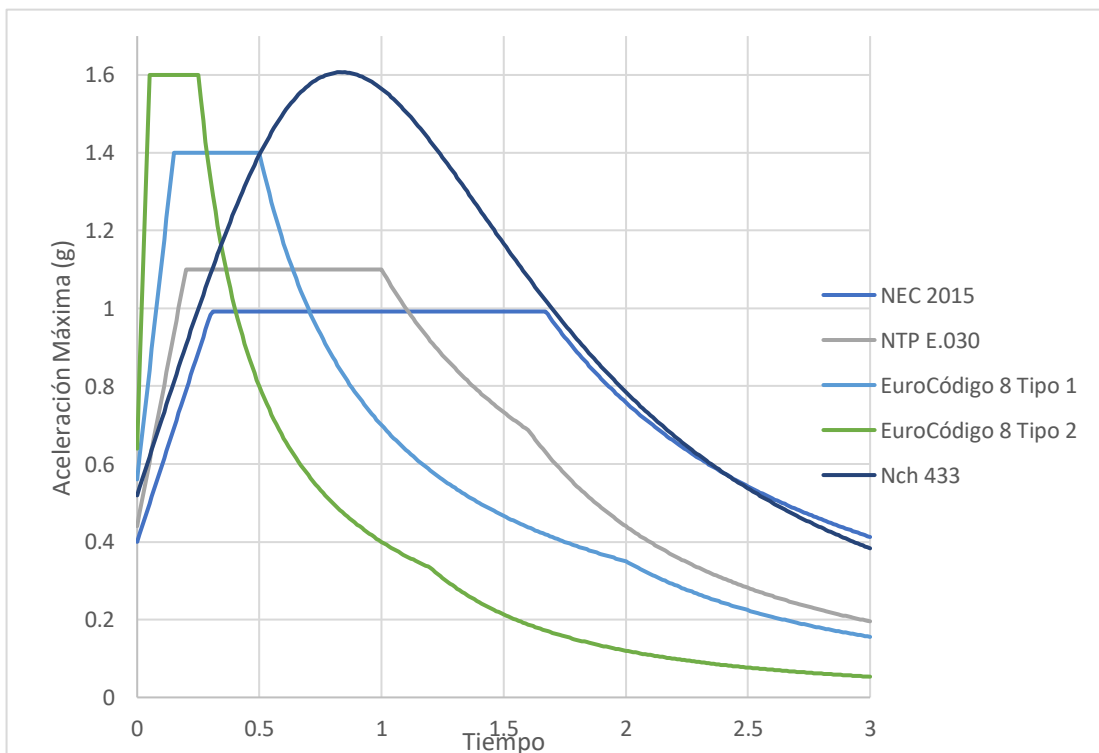


Figura 14

Formas Espectrales de Diseño Elástico del suelo E



3.2. Espectros de Diseño inelásticos de las normas estudiadas respecto a distintos perfiles de suelo.

Los factores y parámetros para realizar las formas espectrales de diseño elástico de los perfiles de suelo tipo A, B, C, D y E y/o semejantes de cada una de las normas analizadas, se especifican en los anexos del presente trabajo. Recalcando que para obtener estos gráficos se tomó una estructura regular (sin irregularidades tanto en planta como elevación), además de importancia normal.

Figura 15

Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo A

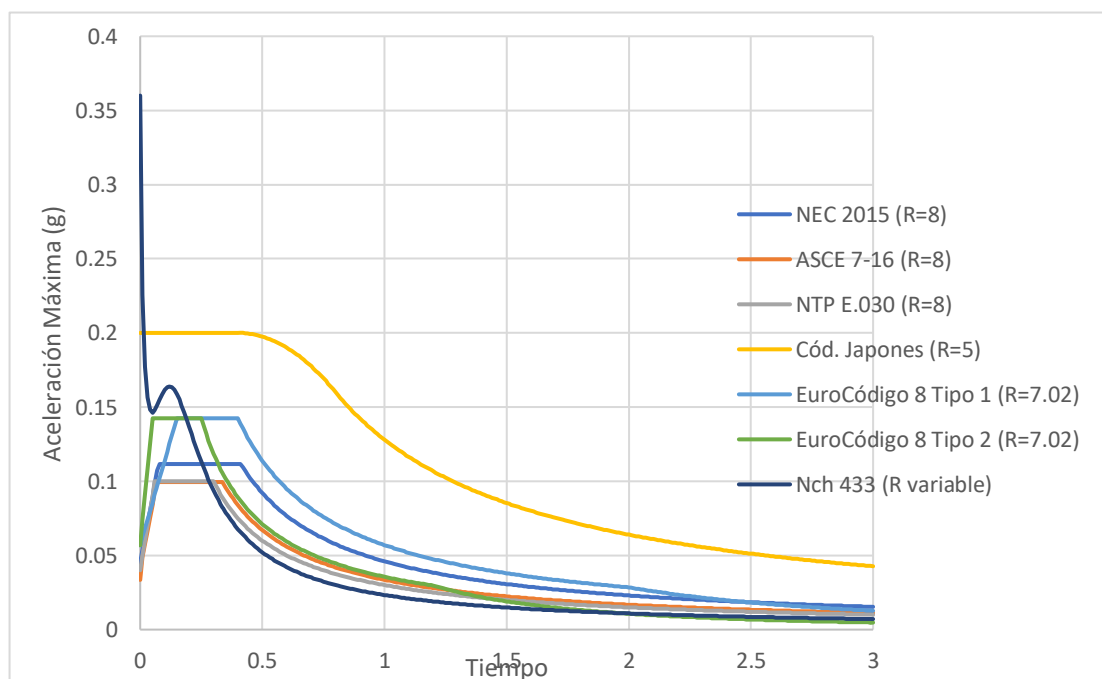


Figura 16

Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo B

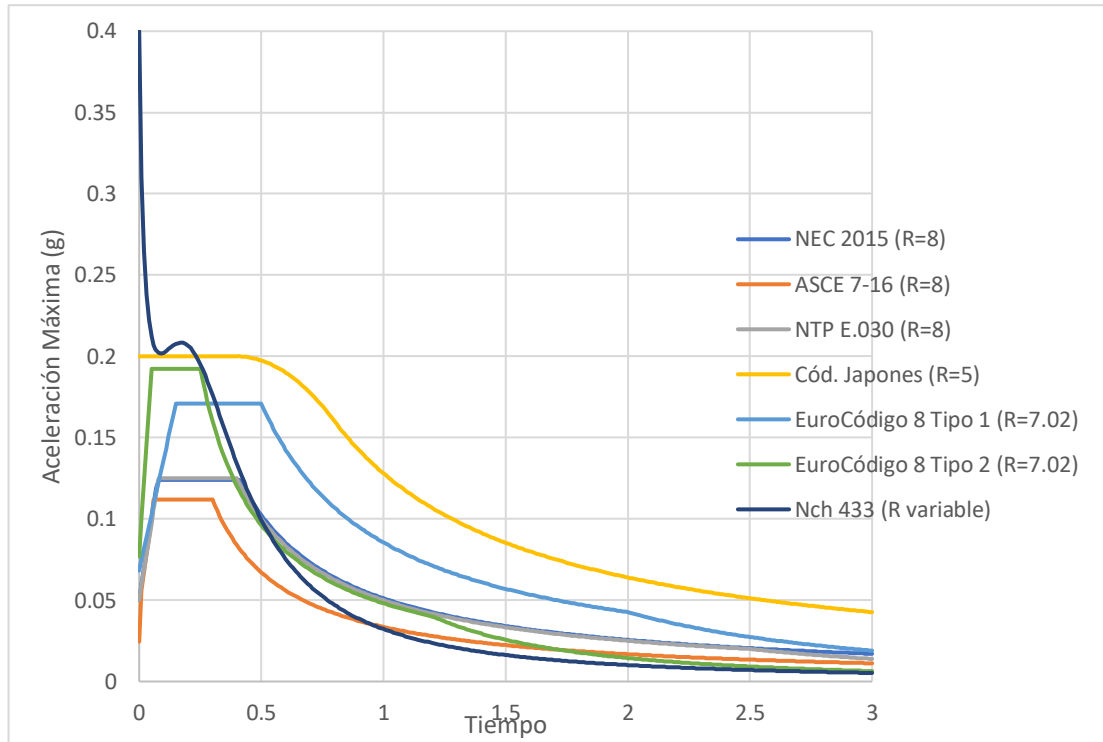


Figura 17

Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo C

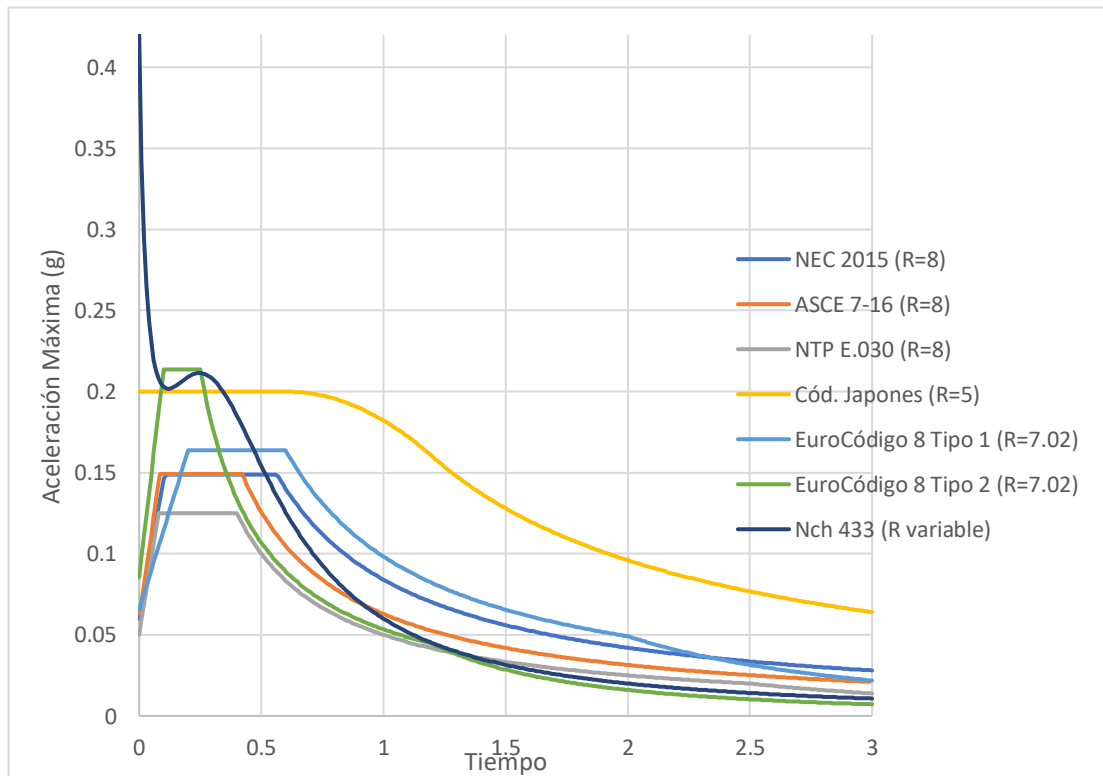


Figura 18

Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo D

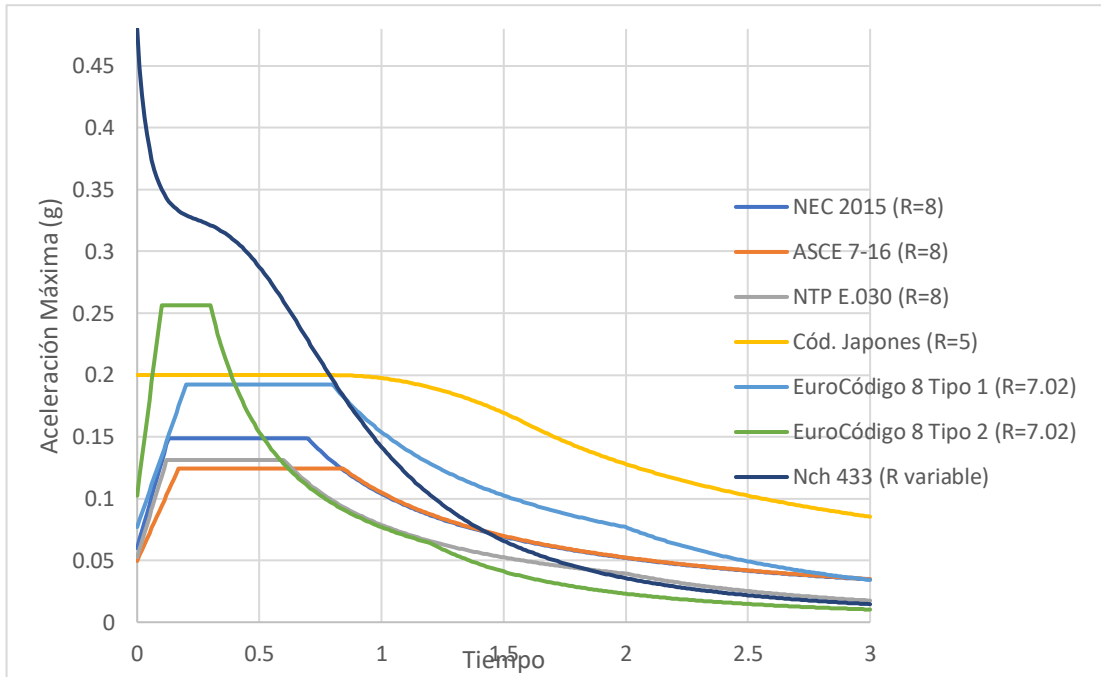
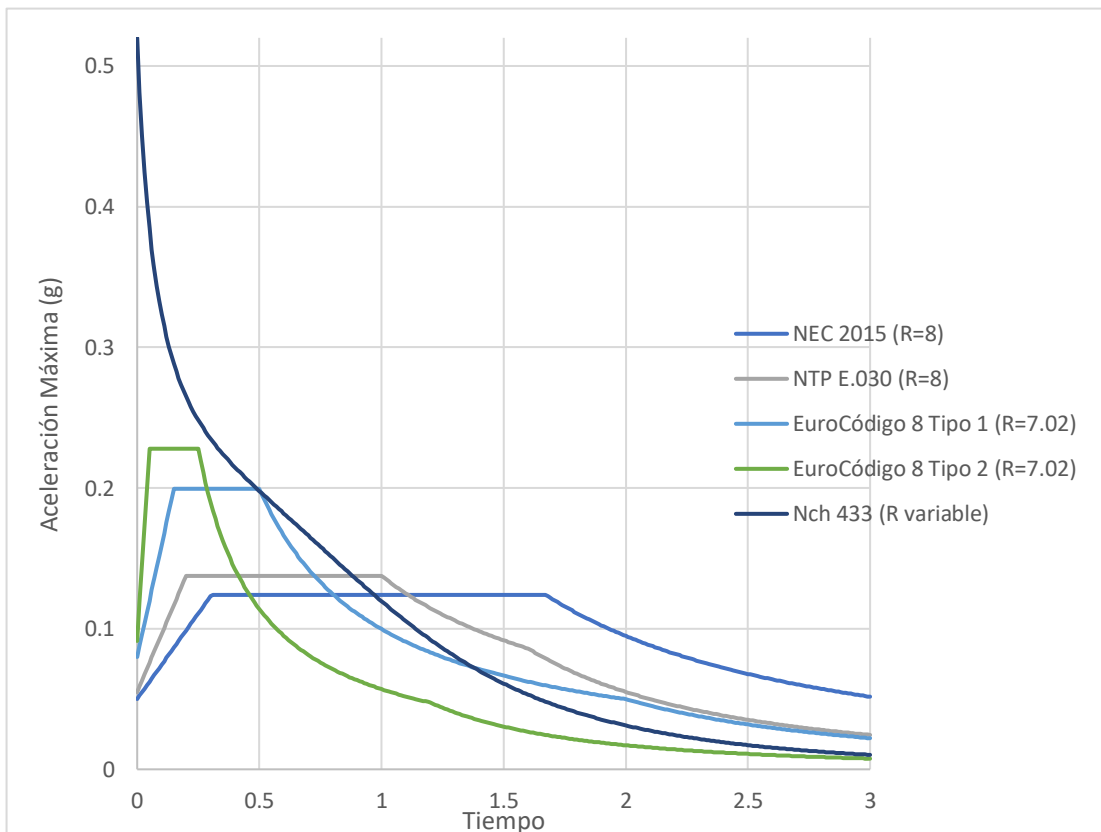


Figura 19

Formas Espectrales de Diseño Inelástico del suelo E



3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se analizan los distintos resultados que se obtuvieron para la comparación de las formas espectrales de diseño elásticos e inelásticos de los perfiles de suelos tipo A, B, C, D y E (semejantes a otras normas a partir de sus parámetros) mediante el método estático equivalente, de las normas NEC 15, ASCE 7-16, NTP E.030, Código Sísmico Japonés, Nch 433 y Eurocódigo 8.

3.3.1. Análisis de los Resultados de las Formas Espectrales de Diseño Elástico.

En las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 se muestran las formas espectrales de diseño elásticos donde se analizan y se presentan las siguientes descripciones y comparaciones entre las normas:

En la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-2015 en los perfiles de suelo A, B y C no se presentan mucha diferencia con las demás normas de acuerdo con sus aceleraciones máximas, si en sus periodos. En suelos D y E se notan diferencias aún mayores y más en sus periodos donde éstos son largos destacando el suelo tipo E donde su periodo es mucho mayor a las demás normas.

En la Norma Estadounidense ASCE 7-16, los periodos serán menores dentro de las normas analizadas en los suelos firmes (A y B) y sus aceleraciones máximas serán semejantes respecto a las otras normas, se mantendrá semejante para el suelo tipo C en aceleración mientras que el periodo incrementará y para el suelo D será mucho mayor el periodo de vibración igualando su máxima aceleración al Código Japonés trabajado con los valores mínimos de sus parámetros.

La Norma Técnica Peruana NTP E.030; se observa que se mantiene cerca a la NEC-2015 Y ASCE 7-16 de acuerdo con sus aceleraciones en los suelos A, B y C, mientras que sus aceleraciones presentan una ligera diferencia; siendo los periodos de la NEC-2015 mayores levemente. Para suelo E se diferencian mucho más en

aceleración máxima donde la NTP E.030 presenta mayor aceleración con 1.1g y la NEC-2015 tendrá un mayor periodo llegando hasta 1.67s.

En el Código Japonés se presenta una aceleración máxima constante de 1g debido a que se trató su estudio con un valor mínimo de C_0 para sismos severos; sin embargo, se establece diferencias en sus periodos donde en el suelo Tipo I(A y B) llega hasta 0.5s, Tipo II (C) alcanza 0.6s y Tipo III(D) llegando hasta 1s de su aceleración máxima.

Dentro del Eurocódigo 8 se presentan dos tipos de formas espectrales de diseño Tipo 1 y Tipo 2. Donde en suelo A se presentan aceleraciones máximas idénticas con 1g diferenciadas solo por el periodo donde el Tipo 1 presenta un periodo desde 0.15s hasta 0.4s y el Tipo 2 desde 0.05s hasta 0.25s. En los suelos B, C, D y E, el Tipo 2 mantiene mayores aceleraciones máximas dentro de las demás normas con periodos cortos, aunque el Tipo 1 mantiene mayor proximidad respecto con las demás normas analizadas.

En la Norma Chilena de Construcción Sísmica Nch 433 para los suelos A y E comparte las máximas aceleraciones con 1g y 1.6g junto al Eurocódigo 8 Tipo 2, mientras que en los suelos B, C y D se aproxima a las demás normas. Donde obtiene su aceleración máxima en un periodo determinado.

3.3.2. Análisis de los Resultados de las Formas Espectrales de Diseño Inelástico.

En las figuras 14, 15, 16, 17 y 18 se muestran las formas espectrales de diseño inelásticos donde se analizan y se presentan las siguientes descripciones y comparaciones entre las normas:

La Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-2015 al reducir su espectro de diseño elástico por un factor $R=8$ mantiene la meseta de aceleraciones máximas en no menos de 0.1g y no más de 0.25g donde en el suelo tipo E obtiene su mayor periodo desde 0.31s hasta 1.67s.

La Norma Estadounidense ASCE 7-16 según sus parámetros será reducido por un factor de $R=8$ donde su menor aceleración espectral está en el suelo tipo A con $1g$, mientras su mayor periodo se encuentra en el suelo tipo D desde $0.169s$ hasta $0.84s$. No se grafica en el suelo E debido a que la norma exige estudios avanzados para dicho suelo.

La Norma Técnica Peruana NTP E.030 al ser reducidas por un factor de $R=8$ la meseta máxima de aceleración se presenta en el suelo tipo S3 o E debido a las características de éste con $0.1375g$ además de su periodo que es el más largo considerado con sus demás espectros en los distintos tipos de suelos que va de $0.2s$ y llega a $1s$.

El Código Japonés al ser graficado con C_0 mínimo para sismos moderados la aceleración máxima se mantiene constante en los distintos tipos de suelos con $0.2g$ sin embargo sus periodos son distintos, obteniendo su mayor periodo en el suelo Tipo II que inicia en $0s$ y termina en $0.6s$ de su máxima aceleración. Ante esto, se muestra que sigue siendo una de las normas con mayor conservación con un factor de R que comparado con la NEC-15 llegaría a 5 o menores.

El Eurocódigo 8 sigue destacando al obtener las mayores aceleraciones en su segundo método o Tipo 2 pero en periodos muy cortos alcanzando la aceleración máxima en el suelo tipo D con $0.256g$ con periodo desde $0.1s$ hasta $0.3s$. La primera metodología sigue siendo conservadora respecto a las demás normas, pero son menores respecto al segundo método del Eurocódigo 8 y Norma o Código Japonés; destacando que además de la diferencia de aceleraciones máximas también son distintas en sus periodos siendo éste con periodos de tiempo más largos. Aun que, para el diseño de una estructura, en obra se podría trabajar o diseñar con el Eurocódigo 8 Tipo 1 debido al costo que requerirá su construcción.

La Norma Chilena de Construcción Sísmica Nch 433 presenta una forma singular en sus espectros de diseño inelásticos debido a que se trabajó con $T^*=T$, con lo cual su factor de R^* será variable para cada periodo de tiempo. Sin embargo, se puede notar que para los tipos de suelos blandos las aceleraciones espectrales máximas serán mayores.

Tabla 12

Resultados de las aceleraciones máximas de los distintos perfiles de suelo para el diseño espectral elástico

	A	B	C	D	E
NEC-15	0.8928g	0.992g	1.1904g	1.1904g	0.992g
ASCE 7-16	0.796g	0.895g	1.1936g	0.9947g	
NTP E.030	0.8g	1g	1g	1.05g	1.1g
Cód. Japones	1g	1g	1g	1g	
Eurocódigo 8 Tipo 1	1g	1.2g	1.15g	1.35g	1.4g
Eurocódigo 8 Tipo 2	1g	1.35g	1.5g	1.8g	1.6g
Nch 433	0.995g	1.122g	1.1664g	1.483g	1.607g

Tabla 13

Resultados de las aceleraciones máximas de los distintos perfiles de suelo para el diseño espectral inelástico

	A	B	C	D	E
NEC-15	0.112g	0.124g	0.148g	0.1488g	0.124g
ASCE 7-16	0.0995g	0.112g	0.1492g	0.1243g	
NTP E.030	0.1g	0.1125g	0.125g	0.131g	0.1375g
Cód. Japones	0.2g	0.2g	0.2g	0.2g	
Eurocódigo 8 Tipo 1	0.1424g	0.171g	0.1638g	0.1923g	0.1994g
Eurocódigo 8 Tipo 2	0.1424g	0.192g	0.2137g	0.2564g	0.2279g

Nota: No se visualizan las aceleraciones máximas de la Norma Chilena de Construcción Sísmica debido a que las formas espectrales inelásticas están sometidas a $T^*=T$ por el cual el factor de reducción R^* será variable.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Las formas espectrales de diseño elástico del Eurocódigo 8, particularmente las Tipo 2, se destacan al poseer las mayores aceleraciones máximas dentro de los perfiles de suelo A, B, C y D seguidas muy de cerca por Eurocódigo 8 Tipo 1 y la Norma Chilena Nch 433, esta última obtiene la mayor aceleración máxima en el suelo E. Siendo estos Espectros de Diseño Elástico los más conservadores.

Las formas espectrales de diseño elástico con aceleraciones máximas medianas a bajas son el Código Japonés, y la norma peruana (NTP E.030), ecuatoriana (NEC-2015) y estadounidense (ASCE 7-16). Esta última norma define las menores aceleraciones en los distintos tipos de suelos, excepto el suelo tipo C. Cabe mencionar que las aceleraciones de la Norma o Código Japonés posee las mayores aceleraciones para estructuras con periodos largos.

Al comparar las formas espectrales de diseño inelástico para los suelos blandos Tipo E, se destaca con las mayores aceleraciones el Eurocódigo 8 con sus dos tipos de formas espectrales. El Código Japonés para sus cuatro tipos de suelos, presenta aceleraciones altas, cabe remarcar que con esta norma el Espectro Elástico no define aceleraciones de diseño muy altas, pero por el uso del parámetro C_0 mínimo igual o mayor a 0.2g, el Espectro Inelástico de diseño resulta ser uno de los más conservadores por las mayores aceleraciones para estructuras con periodos largos. En términos de la norma NEC-15 lo anteriormente descrito, equivaldría al uso de un valor de R igual o menor a 5 para la reducción de la forma Espectral de Diseño Elástico y obtención de la forma Espectral de Diseño Inelástico. Los cuáles serán utilizados para la construcción de las estructuras.

La Norma Chilena Nch 433 presenta formas espectrales de diseño poco usuales e innovadoras, basadas en el reconocimiento de que el valor de R es variable y dependiente del valor del periodo de la estructura. El factor de reducción de fuerza que escala el Espectro Elástico hacia una aceleración menor para obtener el Espectro Inelástico se define en la norma chilena como R^* . Al igual que el Código Japonés las aceleraciones del Espectro Inelástico son grandes, comparadas con las otras normas, particularmente para el diseño de estructuras de periodo corto.

Finalmente, las normas NEC-2015, NTP E.030 y ASCE 7-16 tienen aceleraciones parecidas entre sí; y en conjunto se comparan muy por debajo de los requerimientos de aceleración de diseño de las normas Eurocódigo 8 y Código Japonés; y por debajo de las requeridas por la norma chilena, particularmente para estructuras de periodo corto.

Para todas las normas y tipo de suelo, la respuesta inelástica de una estructura por la ocurrencia del Sismo de Diseño está controlada por su diseño sísmico con ductilidad y tenacidad; motivo por el cual la comparación de formas espectrales del Sismo de Diseño con periodo de retorno $T = 475$ años, no lleva a conclusiones contundentes sobre el desempeño y seguridad sísmica de las estructuras.

Para todas las normas y tipo de suelo, la respuesta elástica de una estructura por la ocurrencia del Sismo de Servicio es función de la aceleración del Sismo de Servicio con periodo de retorno cercano a los 50 años, graficada en los espectros inelásticos. Dicha aceleración define el límite del rango elástico de la estructura, su rigidez mínima y el grado de daño estructural que la estructura experimentaría al ser sometida a sismos con grados de intensidad igual o superior al nivel del Sismo de Servicio. Por lo anterior se puede concluir que las estructuras diseñadas con las normas europeas, japonesas y chilenas tendrán mejor desempeño y seguridad sísmica que las diseñadas con las normas ecuatorianas, peruanas y norteamericanas; en base del menor grado de daño estructural esperado para un mismo nivel de intensidad sísmica considerado.

Las aceleraciones del Espectro Inelástico también definen el costo de las estructuras de forma directa y proporcional, por lo que se puede concluir que las

estructuras diseñadas con las normas europeas, japonesas y chilenas son un poco más costosas que las diseñadas con las normas ecuatorianas, peruanas y norteamericanas.

4.2. RECOMENDACIONES

Si al momento de calcular para estructuras sismo resistentes se quiere obtener mayor seguridad con base de un menor grado de daño estructural para un mismo nivel de intensidad sísmica, es recomendable utilizar el Código Japonés, el Eurocódigo 8 o la norma chilena Nch 433, ya que estas normas brindan aceleraciones espectrales máximas mayores en comparación con las demás normas.

Con el Eurocódigo es preferible utilizar el espectro Tipo 1, aunque sus aceleraciones sean menores que las del Tipo 2. El espectro Tipo 1 mantiene aceleraciones altas consistentemente sobre todo el dominio de periodos, no solo los periodos cortos.

Para un mayor entendimiento de las formas espectrales de diseño inelástico de la Norma Chilena Nch 433, se recomienda realizar un estudio de caso que incluya el análisis de estructuras de configuración estructural definida para obtener el valor de T^* asociado al valor de R^* correspondiente a las características dinámicas específicas de las estructuras analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

Acción sísmica en las normativas (2017). "2 Acción sísmica en las normativas." 31.

Apolo Romero, C. M. (2020). Aplicación de la Transformada Wavelet para generar acelerogramas artificiales compatibles con el espectro de diseño de la NEC-15, Quito, 2020.

Belaunde (2018). "Sismos que marcaron la historia de Perú." Retrieved 29/06/2021, 2021, from <https://puntoseguido.upc.edu.pe/sismos-que-marcaron-la-historia-del-peru/>.

Euro código 08 (1998). "Proyecto de estructuras sismorresistente." 101.

Falconí, R. (2008). "Análisis sísmico de edificios." 705.

Fortty Barberán, G. A. (2019). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESPECTROS DE DISEÑO PROPUESTOS POR LAS NORMATIVAS ASCE 7-16 Y NEC-SE-DS-15 FRENTE AL ESPECTRO DE RESPUESTA DEL 16-A PARA LAS CONDICIONES SÍSMICAS DE LA CIUDAD DE MANTA.

Hibsch, A. y. Y. (1996). "Falla activa de Quito y fuentes sismogénicas regionales: un estudio del riesgo sísmico de Quito (Ecuador) con el análisis de los sedimentos cuaternarios." 31.

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2013). "Proyecto Interinstitucional para monitoreo de terremotos y tsunamis." from <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/content/49-historico?start=70>.

Montoya (2018). Análisis de la respuesta sísmica en las estructuras mediante la revisión del espectro sísmico de diseño según el reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10 y el reglamento Argentino para construcciones sismo resistente INPRES-CIRSOC 103: 28.

Nch-433, N. C. (2012). "Diseño sísmico de edificios." from http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/chl121_t.pdf.

NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015). "PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE."

NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente (2015). "NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC."

Noriega Vega (2016). ""DEFINICIÓN Y ESTUDIO COMPARATIVO DE ESPECTROS PARA DISEÑO SÍSMICO DE LA NORMA NEC SE DS CON OTRAS NORMAS INTERNACIONALES.""

Norma Técnica Peruana NPT E.030 (2018). "MODIFICAN LA NORMA TÉCNICA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES." from <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>.

Norma Técnica Peruana NTP E.030 (2018). "MODIFICAN LA NORMA TÉCNICA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES."

Quijada, A. (2019). ""COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO USANDO LA NORMATIVA PERUANA, CHILENA Y ECUATORIANA"".

Quinde y Reinoso (2016). "ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DE ECUADOR Y PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE CUENCA." 26.

Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16 (2016). "Cargas mínimas de diseño y Criterios asociados para Edificios y otras estructuras." 889.

Terrones Muñoz, L. I. and O. Vilca Tiglia (2018). "Análisis comparativo del comportamiento estructural basado en solicitaciones sísmicas de una edificación de concreto armado según NTP-E030-2018, NCH433-2012 y NEC-SE-DS-2015."

ANEXOS

Tabla 14

Clasificación de los perfiles de suelos: Tipos A, B, C, D y E

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Roca dura	$V_S \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_S \geq 760 \text{ m/s}$
	Roca blanda o suelos densos	$760 \text{ m/s} > V_S \geq 360 \text{ m/s}$
C	Suelos muy densos o roca blanda	$N \geq 50$ $S_U \geq 100 \text{ KPa}$
	Suelos rígidos	$360 \text{ m/s} > V_S \geq 180 \text{ m/s}$
D	Se deberá cumplir cualquiera de las dos condiciones en suelos rígidos	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ KPa} > S_U \geq 50 \text{ KPa}$
E	Deberá cumplir	$V_S < 180 \text{ m/s}$
	Las arcillas blandas no serán mayor a 3m el espesor H del perfil de suelo	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_U < 50 \text{ KPa}$

Nota: tomado de Quijada (2019), Noriega Vega (2016) y NEC-SE-DS (2015)

Tabla 15*Perfil de suelos F*

F	Estos tipos de suelos requieren explícitamente una evaluación realizada en el lugar del proyecto por un ingeniero geotecnista.
	F1: suelos débilmente cementados, suelos licuables, etc.
	F2: en arcillas orgánicas y muy orgánicas será $H > 3\text{m}$.
	F3: $H > 7.5\text{m}$ e $IP > 75$ para arcillas de muy alta plasticidad.
	F4: $H > 30\text{m}$ para espesores de arcillas rigidez blanda a mediana.
	F5: Subsuelo presenta variaciones de velocidad de onda cortante.
	F6: Rellenos que se colocaron sin ningún tipo de control.

Nota: tomado de NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015)**Tabla 16***Coefficiente de Amplificación de sitio 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	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1	1	1	1	1	1
C	1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.12
E	1.80	1.40	1.25	1.10	1.0	0.85

Nota: tomado de NEC-SE-DS (2015)

Tabla 17*Coefficiente de amplificación de sitio F_d*

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	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
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	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50

Nota: tomado de NEC-SE-DS (2015)**Tabla 18***Coefficiente del Comportamiento no Lineal de sitio F_s*

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	≥ 0.50
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	1.50	1.60	1.60	1.80	1.90	2.0

Nota: tomado de NEC-SE-DS (2015)

Tabla 19*Coefficiente I, categoría y uso de la edificación.*

Categoría de edificación	Tipos de uso	I
Esencial	Centros de salud, emergencia sanitaria, hospitales, clínicas, instalaciones de policía y bomberos, etc.	1.5
De ocupación especial	Edificaciones que tengan que albergar más de cinco mil personas.	1.3
Otras	Edificaciones que no se incluyen en las categorías esenciales y ocupación especial.	1

*Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) y NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015)***Tabla 20***Coefficiente R*

Estructuras dúctiles	R
Sistemas duales	
Pórticos de hormigón armado resistentes a sismos, con vigas descolgadas y con diagonales rigidizadoras.	8
Pórticos de acero laminado en caliente sismo resistentes, sea con diagonales excéntricas o concéntricas rigidizadoras o muros de hormigón armado.	8
Pórticos con hormigón armado en las columnas y vigas de acero laminado en caliente con diagonales excéntricas o concéntricas que la rigidizan.	8
Muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras. Pórticos sismorresistentes de hormigón armado con vigas banda.	7
Pórticos resistentes a momentos	

Pórticos de hormigón armado con vigas descolgada sismos resistentes.	8
Pórticos especiales, elementos armados de placas o acero laminado en caliente	8
Pórticos con vigas de acero laminado en caliente y con columnas de hormigón armado.	8
Sistemas estructurales de muros dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales de hormigón armado con vigas banda, sismos resistentes.	5

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Tichia (2018) y NEC-SE-DS (2015)

Tabla 21

Coficiente R para estructuras de ductilidad limitada

Sistema estructural de ductilidad limitada	R
Pórticos resistentes a momentos	
Hormigón Armado para viviendas de 2 pisos con luces máximas de 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones menores a las especificadas en la NEC-SE-HM en su dimensión, con armadura electrosoldada de alta resistencia.	2.5
Estructuras limitadas a 2 pisos que pueden ser: de aluminio, acero conformado en frío o madera.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, para un piso.	1
Mampostería reforzada, para máximo 2 pisos.	3
Mampostería confinada, para máximo 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, para máximo 4 pisos.	3

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Tichia (2018) y NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015)

Tabla 22*Amenaza sísmica*

Nivel de sismo	Sismo	Excedencia en 50 años (%)	Periodo de retorno Tr	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
1	Frecuente o menor	50	72	0.01389
2	Ocasional o moderado	20	225	0.00444
3	Raro o severo	10	475	0.00211
4	Muy raro o extremo	2	2500	0.00040

Nota: tomado de NEC-SE-DS-Peligro Sísmico (2015)**Tabla 23***Nivel de desempeño estructural*

Desempeño estructural	Estructura de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa anual de excedencia (%)	Periodo de retorno (años)
Daño	No	Si	0.00211	475
Colapso	Si	Si	0.00004	2500

Nota: tomado de NEC-SE-DS (2015)**Tabla 24***Perfiles de suelos*

Perfiles de suelo				
Tipo	Descripción	V_s	N_{60}	S_u
S_0	Roca dura	>1500 m/s

S₁	Roca o suelos muy rígidos	Entre 500 m/s y 1500 m/s	>50	> 100 KPa
S₂	Suelos medios	180 m/s y 500 m/s	15 a 50	50 a 100 KPa
S₃	Suelos blandos	< 180 m/s	< 15	25 KPa a 50 KPa
S₄	Excepcionales	Según EMS		

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Ticia (2018) y Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 25

Factor de suelo "S" según su zona sísmica

Zona \ Suelo	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota: tomado de Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 26

Periodos de vibración de suelo T_p y T_L

Periodos	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p	0.30	0.40	0.60	1.00
T _L	0.80	2.50	2.00	1.60

Nota: tomado de Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 27*Jerarquías de edificaciones y coeficiente U*

Jerarquía	Definición	Coeficiente U
	A1: Establecimientos de salud ya sean públicos o privados del segundo y tercer nivel. Normado por el ministerio de salud.	Ver en la sección 2.4.6
A: Edificaciones esenciales	A2: Puertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuartos de fuerzas armadas y policiales, plantas de tratamientos de agua, instituciones educativas, sistemas masivos de transporte, municipalidades. Edificaciones que pueden representar un alto riesgo, como hornos, depósitos de materiales inflamables, tóxicos, etc.	1.6
B: Edificaciones importantes	Edificaciones donde se concentran una gran multitud de personas como: cines, estadios, terminales, centros comerciales, penitenciarías o patrimonios valiosos.	1.3
C: Edificaciones comunes	Viviendas, oficinas, restaurantes, instalaciones industriales donde su falla no produzca peligros adicionales de contaminación e incendios a sus alrededores.	1.0
D: Edificaciones provisionales	Construcciones provisionales para casetas y otros.	Ver en la sección 2.4.6

Nota: tomado de Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 28*Coefficiente R_0*

Sistema estructural	R_0
Pórtico	8
Dual	7
Muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada (MDL)	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	7

Nota: tomado de Terrones y Vilca (2018) - Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 29*Coefficiente de irregularidad en altura I_a*

Irregularidad en altura	Factor I_a
Irregularidad de rigidez- Piso blando	0.75
Irregularidad de resistencia-Piso débil	
Irregularidad de resistencia extrema	0.50
Irregularidad de rigidez extrema	
Irregularidad de peso	0.90
Irregularidad vertical geométrica	0.90
Discontinuidad en sistemas resistentes	0.80
Extrema discontinuidad para sistemas resistentes	0.60

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Ticia (2018) - Norma Peruana NTP E.030-2018

Tabla 30*Coeficiente de irregularidad en planta I_p*

Irregularidad estructural en planta	Factor I_p
Irregularidad torsional	0.75
Irregularidad torsional extrema	0.60
Esquinas entrantes	0.90
Discontinuidad del diagrama	0.85
Sistemas no paralelos	0.90

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) - Norma Peruana NTP E.030-2018**Tabla 31***Regularidad de las estructuras según su categoría*

Categoría de edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	Sin irregularidad
	1	Sin irregularidad extrema
B	4,3 y 2	Sin irregularidad extrema
	1	Sin restricción
C	4 y 3	Sin irregularidad extrema
	2	Sin irregularidades extremas. Para edificios de 8 m de altura o 2 pisos se aceptan.
	1	Sin restricciones

Nota: tomado de Norma Técnica Peruana NTP E.030 (2018)

Tabla 32*Peso sísmico y su estimación por categoría*

Categoría	%CM	%CV	
		Pisos inferiores	Techos y azoteas
A	100%	50%	25%
B	100%	50%	25%
C	100%	25%	25%
Depósitos	100%	80%	25%
Tanques silos y similares	100%	100%	25%

Nota: tomada de Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) - Norma Peruana NTP E.030-2018**Tabla 33***Clasificación de sitio*

Clase de sitio	\bar{V}_s	\bar{N}	\bar{S}_u
A. Piedra dura	>5000	NA	NA
B. Piedra	2500 a 5000	NA	NA
C. Suelo muy denso y roca blanda	1200 a 2500	>50	>2000
D. Suelo rígido	600 a 1200	15 a 50	1000 a 2000
E. Suelo arcillosos blando	<600	<15	<1000
F. Requieren análisis de respuesta de sitio en sección 21.1	Ver sección 20.3.1		

Nota: tomado de Sociedad estadounidense de ingenieros civiles ASCE 7-16

Tabla 34*Coficiente Fa*

Suelo	$S_s \leq 0.25$	$S_s \leq 0.5$	$S_s \leq 0.75$	$S_s \leq 1$	$S_s \leq 1.25$	$S_s \leq 1.5$
A	0.80	0.8	0.80	0.80	0.80	0.80
B	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
C	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
D	1.60	1.40	1.20	1.10	1.0	1.0
E	2.40	1.70	1.30	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8
F	Sección 11.4.8					

Nota: tomado de Noriega Vega (2016) Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16

Tabla 35*Coficiente Fv*

Tipo de suelo	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 \leq 0.2$	$S_1 \leq 0.3$	$S_1 \leq 0.4$	$S_1 \leq 0.5$	$S_1 \leq 0.6$
A	0.80	0.8	0.80	0.80	0.80	0.80
B	0.80	0.8	0.80	0.80	0.80	0.80
C	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40
D	2.40	2.20	2.0	1.90	1.80	1.70
E	4.20	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8	Sección 11.4.8
F	Sección 11.4.8					

Nota: tomado de Noriega Vega (2016) y Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles ASCE 7-16

Tabla 36*Perfiles de suelos*

	Suelo	Vs 30	RQD	Qu	N1 (golpes/pie)	Su
A	Roca, material natural, suelo cementado	≥ 900 m/s	$\geq 50\%$	≥ 10 (Equ $\leq 2\%$) MPa		
B	Roca blanda, suelo muy denso	≥ 500 m/s		≥ 0.4 (Equ $\leq 2\%$) Mpa	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350 m/s		≥ 0.3 (Equ $\leq 2\%$) MPa	≥ 40	
D	Suelo medianamente firme	≥ 180 m/s			≥ 30	≥ 0.05 MPa
E	Suelo con consistencia media	< 180 m/s			≥ 20	≥ 0.05 MPa
F	Suelos especiales y excepcionales					

Nota: tomado de Terrones y Vilca (2018) - Noriega Vega (2016) - Norma Chilena Nch 433 (2012)

Tabla 37*Parámetros dependientes según el perfil de suelo*

Perfil de suelo	S	To (s)	T' (s)	n	p
A	0.9	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	---	---	---	---	---

Nota: tomado de Terrones y Vilca (2018) - Quijada (2019) - Norma Chilena Nch 433 (2012)**Tabla 38***Valores del Parámetro C máximos*

R	Cmax ($A_0 * \frac{S}{g}$)
2	0.90
3	0.6
4	0.55
5.5	0.40
6	0.35
7	0.35

Nota: tomado de Norma Chilena Nch433-2012

Tabla 39*Coefficiente I a partir de su categoría de edificación*

Categoría	Descripción	Coefficiente I
I	Instalaciones agrícolas, instalaciones provisionales, instalaciones menores de almacenaje.	0.60
II	Edificaciones destinadas a la habitación privada o uso público, no perteneciente a Categorías de Ocupación I, III y IV, y estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones.	1.00
III	Bibliotecas, museos y otros establecimientos que alberguen gran cantidad de personas como salas destinadas a asambleas para 100 o más personas, estadios y graderías al aire libre para 2000 o más personas, instituciones educativas, cárceles y lugares de detención.	1.20
IV	Hospitales, cuarteles policiales, estaciones terminales, torres de control, central eléctrica y telefónicas, radioemisoras, canales de televisión, plantas de agua potable y de bombeo y de más establecimientos cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe.	1.20

Nota: tomado de Terrones Muñoz and Vilca Tielia (2018) - Norma Chilena Nch433-2012

Tabla 40*Coeficiente de reducción sísmica R y Ro*

Sistema estructural	Material estructural	R	Ro
Pórticos	Hormigón armado	7	11
Muros y sistemas arriostrados	Hormigón armado	7	11
	Hormigón armado y albañilería confinada.		
	En cada piso, los muros de hormigón armado toman el 50%, como mínimo, de esfuerzo del corte del piso.	6	9
	En cada piso, los muros de hormigón armado toman el 50%, como mínimo, de esfuerzo del corte del piso.	4	4
	Madera	5.5	7
	Albañilería confinada	4	4
	Albañilería armada		
De bloques de hormigón que se llenan todos los huecos.	4	4	
De ladrillos cerámicos y bloques de hormigón que no se llenan todos los vacíos.	3	3	

Nota: tomado de (Terrones Muñoz and Vilca Ticia 2018) - Norma Chilena Nch 433-2012

Tabla 41*Tipos de terreno*

Terreno	$V_{s,30}$ m/s	Descripción
A	> 800	Roca compactada, suelo cementado o superficie menor de 5m.
B	360 – 800	Predominio de suelos granulares densos o suelos cohesivos duros, capas delgadas de suelos granulares o cohesivos blandos.
C	180 – 360	Suelos granulares de compacidad media o suelos cohesivos de consistencia firme en los primeros metros de superficie, capas de espesor grande de suelos granulares sueltos o cohesivos blandos.
D	< 180	Capas de gran espesor de suelos granulares sueltos o cohesivos blandos en las primeras decenas de metros superficiales.
S1	< 100	Suelos con una capa mayor a 10m de espesor, contiene arcilla o limos blandos, con plasticidad alta ($IP > 40$) y alta humedad.
S2		Suelos licuables o arcillas susceptibles.

Nota: tomado de Eurocódigo 08, parte 1**Tabla 42***Capa de terreno y velocidad de propagación V_s*

Terreno	Descripción	V_s:m/s
Tipo I	Roca compactada o suelo cementado.	$V_s > 800$
Tipo II	Roca muy alterada o fracturada.	$800 \geq V_s \geq 360$
Tipo III	Suelo granular de compacidad media o suelo cohesivo firme.	$360 \geq V_s \geq 180$
Tipo IV	Suelo granular suelto o suelo cohesivo blando.	$V_s \leq 180$

Nota: tomado de Eurocódigo 08, parte 1

Tabla 43*Recomendaciones para la forma espectral de respuesta Tipo 1*

Tipo de terreno o suelo	S	T_B	T_C	T_D
A	1.00	0.15	0.40	2.00
B	1.20	0.15	0.50	2.00
C	1.15	0.20	0.60	2.00
D	1.35	0.20	0.80	2.00
E	1.40	0.15	0.50	2.00

Nota: tomado de Acción sísmica en las normativas**Tabla 44***Recomendaciones para forma espectral de respuesta Tipo 2*

Tipo de superficie o suelo	S	T_B	T_C	T_D
A	1.00	0.05	0.25	1.20
B	1.35	0.05	0.25	1.20
C	1.50	0.10	0.25	1.20
D	1.80	0.10	0.30	1.20
E	1.60	0.05	0.25	1.20

Nota: tomado de Acción sísmica en las normativas

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma NEC-2015

Tabla 45

Perfil de Suelo A

Espectro Elástico	
Z	0.4
r	1.0
n	2.48
Fa	0.9
Fd	0.9
Fs	0.75
To	0.075
Tc	0.4125
Espectro Inelástico	
I	1.0
R	8
ØP	1.0
ØE	1.0

Tabla 46

Perfil de Suelo B

Espectro Elástico	
Z	0.4
r	1.0
n	2.48
Fa	1.0
Fd	1.0
Fs	0.75
To	0.075
Tc	0.4125
Espectro Inelástico	
I	1.0
R	8
ØP	1.0
ØE	1.0

Tabla 47*Perfil de Suelo C*

Espectro Elástico	
Z	0.4
r	1.0
n	2.48
Fa	1.2
Fd	1.11
Fs	1.11
To	0.103
Tc	0.565
Espectro Inelástico	
I	1.0
R	8
ØP	1.0
ØE	1.0

Tabla 48*Perfil de Suelo D*

Espectro Elástico	
Z	0.4
r	1.0
n	2.48
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28
To	0.127
Tc	0.698
Espectro Inelástico	
I	1.0
R	8
ØP	1.0
ØE	1.0

Tabla 49*Perfil de Suelo E*

Espectro Elástico	
Z	0.4
r	1.5
n	2.48
Fa	1.0
Fd	1.6

Fs	1.9
To	0.304
Tc	1.672
Espectro Inelástico	
I	1.0
R	8
ØP	1.0
ØE	1.0

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma ASCE 7-16

Tabla 50

Perfil de Suelo A

Espectro Elástico	
Ss	1.49
S1	0.503
Fa	0.8
Fv	0.8
SMS	1.194
SM1	0.402
SDS	0.796
SD1	0.268
To	0.067
Ts	0.337
TL	8
Espectro Inelástico	
Ie	1.0
R	8

Tabla 51

Perfil de Suelo B

Espectro Elástico	
Ss	1.49
S1	0.503
Fa	0.9
Fv	0.8
SMS	1.343
SM1	0.402
SDS	0.895
SD1	0.268
To	0.06

Ts	0.3
TL	8
Espectro Inelástico	
Ie	1.0
R	8

Tabla 52

Perfil de Suelo C

Espectro Elástico	
Ss	1.49
S1	0.503
Fa	1.2
Fv	1.5
SMS	1.79
SM1	0.755
SDS	1.194
SD1	0.503
To	0.084
Ts	0.421
TL	8
Espectro Inelástico	
Ie	1.0
R	8

Tabla 53

Perfil de Suelo D

Espectro Elástico	
Ss	1.49
S1	0.503
Fa	1.0
Fv	2.5
SMS	1.492
SM1	1.258
SDS	0.995
SD1	0.838
To	0.169
Ts	0.84
TL	8
Espectro Inelástico	
Ie	1.0
R	8

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma NTP E.030

Tabla 54

Perfil de Suelo S0

Espectro Elástico	
Z	0.4
U	1.0
S	0.8
Tp	0.3
TL	3.0
Espectro Inelástico	
Ia	1.0
Ip	1.0
Ro y R	8

Tabla 55

Perfil de Suelo S1

Espectro Elástico	
Z	0.4
U	1.0
S	1.0
Tp	0.4
TL	2.5
Espectro Inelástico	
Ia	1.0
Ip	1.0
Ro y R	8

Tabla 56

Perfil de Suelo S2

Espectro Elástico	
Z	0.4
U	1.0
S	1.05
Tp	0.6
TL	2.0
Espectro Inelástico	
Ia	1.0
Ip	1.0
Ro y R	8

Tabla 57*Perfil de Suelo S3*

Espectro Elástico	
Z	0.4
U	1.0
S	1.1
Tp	1.0
TL	1.6
g	9.81
Espectro Inelástico	
Ia	1.0
Ip	1.0
Ro	8
R	8

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Código Japones

Tabla 58*Perfil de Suelo Tipo I*

Z	1.0
Tc	0.4
Espectro Elástico	
Co	1.0
Espectro Inelástico	
Co	0.2

Tabla 59*Perfil de Suelo Tipo II*

Z	1.0
Tc	0.6
Espectro Elástico	
Co	1.0
Espectro Inelástico	
Co	0.2

Tabla 60*Perfil de Suelo Tipo III*

Z	1.0
Tc	0.8
Espectro Elástico	
Co	1.0
Espectro Inelástico	
Co	0.2

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Eurocódigo Tipo 1

Tabla 61*Perfil de Suelo A*

Espectro Elástico	
S	1.0
TB	0.15
TC	0.4
TD	2
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 62*Perfil de Suelo B*

Espectro Elástico	
S	1.2
TB	0.15
TC	0.5
TD	2.0
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 63*Perfil de Suelo C*

Espectro Elástico	
S	1.15
TB	0.2
TC	0.6
TD	2.0
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 64*Perfil de Suelo D*

Espectro Elástico	
S	1.35
TB	0.2
TC	0.8
TD	2.0
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 65*Perfil de Suelo E*

Espectro Elástico	
S	1.4
TB	0.15
TC	0.5
TD	2.0
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0

Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales del Eurocódigo Tipo 2

Tabla 66

Perfil de Suelo A

Espectro Elástico	
S	1.0
TB	0.05
TC	0.25
TD	1.2
n	1.0
agR	0.4
γ_I	1.0
Ag	0.4
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 67

Perfil de Suelo B

Espectro Elástico	
S	1.35
TB	0.05
TC	0.25
TD	1.2
n	1.0
agR	0.4
γ_I	1.0
Ag	0.4
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 68*Perfil de Suelo C*

Espectro Elástico	
S	1.5
TB	0.1
TC	0.25
TD	1.2
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Ag	0.4
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 69*Perfil de Suelo D*

Espectro Elástico	
S	1.8
TB	0.1
TC	0.3
TD	1.2
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Ag	0.4
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Tabla 70*Perfil de Suelo E*

Espectro Elástico	
S	1.6
TB	0.05

TC	0.25
TD	1.2
n	1.0
agR	0.4
γI	1.0
Ag	0.4
Espectro Inelástico	
q0	4.5
α_u/α_1	1.3
k	1.0
q	7.02

Parámetros Utilizados para la Obtención de las Formas Espectrales de la norma Nch 433

Tabla 71

Perfil de Suelo A

Espectro Elástico	
Ao	0.4
S	0.9
P	2.0
To	T
Espectro Inelástico	
I	1.0
T*	T
Ro	11
R*	variable

Tabla 72

Perfil de Suelo B

Espectro Elástico	
Ao	0.4
S	1
P	1.5
To	T
Espectro Inelástico	
I	1.0
T*	T
Ro	11
R*	variable

Tabla 73*Perfil de Suelo C*

Espectro Elástico	
Ao	0.4
S	1.05
P	1.6
To	T
Espectro Inelástico	
I	1
T*	T
Ro	11
R*	variable

Tabla 74*Perfil de Suelo D*

Espectro Elástico	
Ao	0.4
S	1.2
P	1.0
To	T
Espectro Inelástico	
I	1.0
T*	T
Ro	11
R*	variable

Tabla 75*Perfil de Suelo E*

Espectro Elástico	
Ao	0.4
S	1.3
P	1.0
To	T
Espectro Inelástico	
I	1.0
T*	T
Ro	11
R*	variable