



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL.**

TITULO:

**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.**

AUTOR:

Fortty Barberan George Anthony

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Dolly Delgado.

Manta, Julio del 2019

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO.	REVISIÓN: 1 Página i de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total de 400 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**, cuyo título del proyecto es **“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”**, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde al señor **Fortty Barberan George Anthony**, egresado de la carrera de **Ingeniería Civil**, período académico **2019-2020**, quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 31 de Julio del 2019.

Lo certifico,

Ing. Dolly Delgado Toala.
Docente Tutor(a)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, George Anthony Fortty Barberan, declaro que el siguiente trabajo de titulación en la modalidad “Proyecto de Investigación” es de mi autoría. Toda la información perteneciente a otros autores se encuentra respectivamente citada. El análisis de los resultados de esta investigación es de total responsabilidad del autor.

Manta, Julio del 2019

Sr. George Fortty Barberan

C.I. 131287947-9

DEDICATORIA.

A mi madre Estrella, quien nunca dejo de creer en mí, quien en largas noches se preocupaba por mí, quien me enseñó que todo es cuestión de percepción y que la felicidad es una decisión, a ella la reina de mi corazón, todos mis logros futuros.

A mi padre Denny, quien con firmeza me supo enseñar el valor y la gallardía de cumplir con los objetivos y enfocarme en cumplir mis promesas, quien me presionaba pues sabía que podía, y quien me brindaba la mano cuando caer me veía, de él son todos mis logros futuros.

A mis hermanos de quien me retroalimentó constantemente, quien con sus complicidades, amor, cariño y aprecio me han enseñado lo bello que es la vida cuando se es amado incondicionalmente, de ellos todos mis logros futuros.

A mi novia Kenya, pues a diario me alentaba, me ayudaba, me empujaba a cumplir con mi anhelo de ser Ingeniero Civil, con ella quiero compartir mis logros futuros.

George Fortty

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, a Dios todopoderoso pues con él todo y sin él nada.

A mis padres que con esfuerzo y ahínco me dieron apoyo y me empujaron a seguir aún en las noches más oscuras, haciéndome saber que en la oscuridad las estrellas brillan más fuerte, ambos son el atlas que sostiene mi mundo, y de ambos son mis mayores éxitos.

Al alma mater, La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por mantenerse como baluarte de los sueños de superación de todos quienes buscan a la educación como aquella luz que lleva al desarrollo de la ciudad, la provincia y el país entero. Lugar en donde dejamos recuerdos, y llevamos enseñanzas, en donde dejamos respeto y llevamos amistad, en donde nos convertimos en un compendio de cualidades de todos quienes en este camino buscaron formarnos como excelentes profesionales.

A todos los docentes, de la carrera de Ingeniería Civil los cuales me enseñaron el camino y me dieron las herramientas para recorrerlo, quienes con sus conocimientos forjaron carácter en mí, para afrontar la vida y disfrutar el reto de vivirla.

A la Ing. Dolly Delgado, tutora y eje fundamental para el desarrollo de la investigación, por su carácter y su amplio conocimiento en la temática, pues con tino supo guiarme por el camino de la investigación.

A mis queridos compañeros de aulas, su amistad, su cariño y su respeto, me empujó a ser quien soy, y quien seré en un futuro.

George Fortty.

RESUMEN.

La presente investigación tiene el objetivo de comparar el espectro de diseño de las normativas NEC-SE-DS y ASCE 7-16 frente al espectro de respuesta del sismo del 16 de abril del 2016 ocurrido en Ecuador, para el registro sísmico obtenido en la ciudad de Manta, para definir la pertinencia de la normativa NEC-SE-DS con las condiciones sísmicas de la ciudad. Para lo cual se llevó a cabo la construcción de los espectros de respuesta de aceleraciones de los registros sísmicos de la ciudad de Manta, aplicando los programas “DEGTRA A4” y el programa “Espectro_PSA_Reg_Acel” de la librería de MATLAB, con principios matemáticos como la integral de convolución, lo que garantiza la confiabilidad de los datos obtenidos en el cálculo. Se determinan los espectros de diseño de las normativas mediante los calculos propuestos en ambos reglamentos, programando cada una de las ecuaciones mediante la utilización de programas como “Espectros_Disenio” de la librería de MATLAB de autoría propia y en Excel, obteniendo las gráficas espectrales de diseño para los perfiles sísmicos A, B, C y D de ambas normas. Una vez obtenidas las gráficas espectrales de respuesta de las 3 componentes y de diseño de las normas las comparamos por perfil sísmico de los espectros de diseño de ambas normas frente a los espectros de respuesta de las 3 componentes del sismo del 16-A. Como resultado se muestran los gráficos comparativos de los espectros de diseño y su comportamiento frente a los espectros de respuesta de las 3 componentes del sismo del 16-A para la ciudad de Manta.

Palabras clave: Espectros de repuesta, Espectros de diseño, ASCE 7-16, NEC-SE-DS, Sismo, Sismo del 16-A, registros sísmicos.

ABSTRACT.

The present investigation is based on comparing the design spectrum of the NEC-SE-DS and ASCE 7-16 regulations against the response spectrum of the Ecuadorian earthquake occur on April 16th of 2016, for the seismic record obtained in the city of Manta, to define the pertinence of the norm NEC-SE-DS with the seismic conditions of the city. To this end, the construction of the acceleration response spectra of the seismic records of the city of Manta was carried out, applying the "DEGTRA A4" programs and the "Espectro_PSA_Reg_Acel" program of the MATLAB library, with mathematical principles such as Integral convolution, which guarantees the reliability of the data obtained in the calculation. The design spectra of the regulations are determined by the calculations proposed in both regulations, programming each one of the equations by using programs such as "Espectros_Disen0" from the own author MATLAB library and in Excel, obtaining the spectral design graphs for the seismic profiles A, B, C, and D of both standards. Once the spectral response graphs of the 3 components and the design of the standards were obtained, we compared them by seismic profile of the design spectra of both standards against the response spectra of the 3 components of the 16-A earthquake.

As a result, the comparative graphs of the design spectra and their behavior against the response spectra of the 3 components of the 16-A earthquake for the city of Manta are shown.

Key words: Response spectra, Design spectra, ASCE 7-16, NEC-SE-DS, Earthquake, 16-A earthquake, seismic records.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1. Antecedentes.....	6
1.1.1. Contexto Macro.....	7
1.1.2. Contexto meso.....	8
1.2. Sismicidad de la zona de estudio.....	10
1.2.1. Sismicidad del Ecuador.....	10
1.2.2. Sismicidad de Manta.....	12
1.3. Sismos históricos del área de influencia.....	13
1.4. Sismo del 16 de abril del 2016.....	14
1.5. Definiciones y Fundamentos.....	15

1.5.1. Espectros de diseño elástico.	15
1.5.2. Espectros de Respuesta.....	18
1.6. Tipos de Suelo y efectos en el espectro de diseño.....	21
1.7. Bases de diseño de las formas espectrales elásticas de las normativas.	21
1.7.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SD-DS.	21
1.7.2. American Society of Civil Engineers ASCE 7-16.....	22
1.7.3. Zonificación sísmica.....	24
1.7.4. Tipos de suelo.....	28
1.7.5. Factores de sitio.	32
1.7.6. Parámetros de aceleraciones espectrales para diseño.	34
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.	38
2.1. Metodología de la investigación.....	39
2.1.1. Tipo de Investigación	39
2.2. Técnicas e instrumentos de la investigación.	40
2.3. Descripción y caracterización de la ciudad de Manta.	41
2.4. Procedimiento y análisis.....	41
2.5. Estudio de las formas espectrales de las normativas.	41
2.5.1. NEC-SE-DS-15.	42
2.5.2. ASCE 7-16.....	44
2.5.3. Método para la construcción de los espectros de respuesta en la investigación.....	46
2.5.4. Construcción de Espectros de diseño de normativas mediante softwares.....	48
2.5.5. Procesamiento del registro sísmico del 16 de abril del 2016 mediante softwares.	54
2.5.6. Software “Espectro_PSA_Reg_Acel” de librería de MATLAB.....	58
CAPITULO III: RESULTADOS.	61

3.1. Análisis e interpretación de los resultados.	62
3.1.1. Análisis del espectro de respuesta del sismo del 16-A.	62
3.1.2. Análisis de espectros de diseño de las normativas.	68
3.1.3. Comparación de gráficos de espectros de diseño de las normativas y espectros de respuesta del sismo del 16-A.	77
CONCLUSIONES.	84
RECOMENDACIONES.	86
BIBLIOGRAFÍA.	87

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 1. Esquema estructural simplificado del área de estudio. (Fuente: Dumont).....	10
Imagen 2. Fuentes sísmicas de tipo Subducción. (Fuente: Parra, 2016)	11
Imagen 3. Fuentes sísmicas de tipo Corticales. (Fuente: Parra, 2016).....	11
Imagen 4. Ubicación geográfica referenciada del Cantón Manta. (Fuente: Google earth pro)	12
Imagen 5. Sismos instrumentales registrados por los catálogos del CERECIS, NEIC y del IG-EPN, y la proyección espacial de fallas geológicas sísmicamente activas de generar sismos con magnitudes mayores a 6. (Fuente: Chunga 2010, Ego 1996 y 1997).	13
Imagen 6. Registro de sismos interplaca tipo thrust en el litoral del Ecuador, desde 1906 hasta 2016. (Fuente: Hayes et al. (2016)).....	14
Imagen 7. Demostración de cálculo de Espectros de Respuesta. (Fuente: (Aguiar R, 2018)).	19
Imagen 8. Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y determinación del valor de factor de zona sísmica (Z). (Fuente: (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción., 2014.))	26
Imagen 9. Factores Ss y S1 para Quito- Ecuador de acuerdo lo dispone el ASCE 7-16 (Fuente: http://geohazards.usgs.gov/designmaps/ww/).....	33
Imagen 10. Suma de impulsos en integral de convolución. (Fuente: (Aguiar R. 2018))	47
Imagen 11. Programa en Excel para cálculo de espectro de diseño NEC-SE-DS-15 (Fuente: elaboración propia).....	49
Imagen 12. Casillas a ser modificadas en programa de cálculo de espectro de diseño de la Nec-Se-Ds-15. (Fuente: elaboración propia).....	49

Imagen 13. Programa en Excel para cálculo de espectro de diseño ASCE 7-16 (Fuente: elaboración propia).....	50
Imagen 14. Celdas a modificarse para cálculo de espectro de diseño ASCE 7-16 (Fuente: elaboración propia).....	51
Imagen 15. Selección de archivo con valores de acelerograma del sismo. (Fuente: ELaboracion propia).....	55
Imagen 16. Apertura de interfaz de carga de datos en DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia).....	55
Imagen 17. Configuración de archivo de acelerograma de sismo seleccionado. (Fuente Elaboración propia).	56
Imagen 18. Configuración de cálculo de espectro de respuesta a generarse. (Fuente: Elaboración propia).....	57
Imagen 19. Espectro de respuesta generado por DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia).	57
Imagen 20. Ubicación y tipos de archivos. (Fuente: Elaboración propia).....	59
Imagen 21. Carga de archivo de entrada en programa. (Fuente: Elaboración propia).	59
Imagen 22. Líneas por editar para el cálculo de espectros. (Fuente: Elaboración propia)..	60
Imagen 23. Ejecución de programa y muestra de resultados. (Fuente: Elaboración propia).....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Estructura del Espectro de Newmark & Hall. (fuente: (Crisafulli & Villafañe, 2002)).	17
Gráfico 2. Espectro de diseño NEC-SE-DS-15. Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)	42
Gráfico 3. Espectro de diseño ASCE 7-16 Fuente: (ASCE 7-16, 2016)	45
Gráfico 4. Caso general de aplicación de la fuerza $F(t)$. (Fuente: (Aguiar R. 2018))	46
Gráfico 5. Espectro de aceleraciones componente E-W calculado en MATLAB. (Fuente: (Ceballos, 2007))	63
Gráfico 6. Espectro de aceleraciones componente N-S calculado en MATLAB. (Fuente: (Ceballos, 2007))	63
Gráfico 7. Espectro de aceleraciones componente V calculado en MATLAB. (Fuente: (Ceballos, 2007))	64
Gráfico 8. Espectro de aceleraciones componente E-W calculado en DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia)	64
Gráfico 9. Espectro de aceleraciones componente N-S calculado en DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia)	65
Gráfico 10. Espectro de aceleraciones componente V calculado en DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia)	65
Gráfico 11. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente E-W obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia)	66
Gráfico 12. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente N-S obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia)	66

Gráfico 13. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente V obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).....	67
Gráfico 14. Espectros de respuesta de aceleraciones de las componentes E-W, N-S y V del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).....	68
Gráfico 15. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).	69
Gráfico 16. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).....	70
Gráfico 17. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).....	71
Gráfico 18. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).....	72
Gráfico 19. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).	73
Gráfico 20. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).	74
Gráfico 21. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).	75
Gráfico 22. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI del ASCE 7-16 (Fuente: Elaboración propia).	76
Gráfico 23. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).	78

Gráfico 24. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A.(Fuente: Elaboración propia).....	79
Gráfico 25. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A.(Fuente: Elaboración propia).....	80
Gráfico 26. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A.(Fuente: Elaboración propia).....	81

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Valores propios de la zona sísmica (Z) adoptada. (Fuente: (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción., 2014.)).....	26
Tabla 2. Clasificación de perfiles sísmicos del suelo. (Fuente: NEC-SE-DS-15).....	29
Tabla 3. Caracterización de tipos de perfiles sísmicos de la ASCE 7-16. (Fuente: (Noriega, 2016)).....	31
Tabla 4. Valores propios de la zona sísmica (Z) adoptada. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015))	32
Tabla 5. Factor F_a y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).	34
Tabla 6. Factor F_d y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).	35
Tabla 7. Factor de comportamiento inelástico del suelo F_s y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).	35
Tabla 8. Coeficiente de aceleraciones para periodos cortos F_a (Fuente: (ASCE 7-16, 2016)).	36
Tabla 9. Coeficiente de aceleraciones para periodos largos F_v (Fuente: (ASCE 7-16, 2016)).	37
Tabla 10. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo A para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).	69
Tabla 11. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo B para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).	70
Tabla 12. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo C para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).	71

Tabla 13. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo D para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).	72
Tabla 14. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo A para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).	73
Tabla 15. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo B para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).	74
Tabla 16. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo C para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).	75
Tabla 17. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo D para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).	76

INTRODUCCIÓN.

El Ecuador se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona altamente sísmica y de actividad volcánica, en América del Sur la placa de Nazca está en proceso de subducción debajo de la placa Continental, de igual manera se encuentra en un territorio con numerosas fallas geológicas, pudiendo ser cualquiera de estos factores el origen de actividad sísmica en el país. (Noriega, 2016).

Esto motiva a que en el Ecuador se genere una zona donde existe una alta probabilidad de ocurrencia de sismos, corroborando esto la historia sísmica del país, aunque contradictoriamente se tienen pocos registros sísmicos de ellos, los evidentes daños causados por estos son bien sabidos por la comunidad y cuantiosos por las pérdidas económicas generadas. El objetivo central de la ingeniería sísmo resistente ha sido la protección de las obras civiles contra el colapso, con el fin de resguardar la vida en grandes terremotos. Hoy se suman nuevos objetivos que persiguen proteger el contenido de los edificios en sismos leves y reducir el daño en terremotos severos. (Angulo & Azadeno, 2013)

La importancia de los espectros en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: los valores de respuesta máxima, que son usualmente los requeridos por el diseñador para el cálculo de estructuras. Los espectros de respuesta omiten información importante dado que los efectos del terremoto sobre la estructura dependen no solo de la respuesta máxima sino también de la duración del movimiento y del número de ciclos con demanda significativa de desplazamientos. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

En el presente trabajo de investigación se evalúan las formas espectrales de diseño construidas en base a los requerimientos de las normativas NEC-SE-DS y ASCE 7-16, frente a los espectros de respuesta de las 3 componentes de desplazamientos E-W, N-S y V, para determinar la pertinencia que tiene el espectro de diseño de la norma NEC-SE-DS en relación a las aceleraciones que van a soportar las estructuras debido a un evento sísmico y aquellas para las cuales fueron diseñadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Alrededor del mundo gran parte de las estructuras construidas están sometidas a distintos tipos de acciones dinámicas como las derivadas de las actividades humanas, los motores de maquinarias, el tránsito de vehículos, el viento, el oleaje, los sismos, los choques o impactos, las explosiones, etc. Estas acciones, cuya magnitud, posición, dirección y sentido pueden ser variables en el tiempo, provocan una respuesta de la estructura también variable en el tiempo y que puede ocasionar efectos de distinta importancia: desde vibraciones no perceptibles por los sentidos hasta grandes desplazamientos, fisuras, ruidos molestos, daños parciales o el colapso total de la estructura. (Tejada, 2011). La construcción en el país responde a la realidad económica de la gente, lo que deriva en la autoconstrucción; esto, pese a que entre 1970 y 1980 ya se comenzó a medir el peligro sísmico y sus consecuencias y desde el 2001, rigen en el país las normas CEC con zonificación sísmica, al igual que la NEC-11 y la NEC-SE-DS siendo esta la más actual de todas. (Jaramillo & Rocha, 2013)

Ecuador al encontrarse en una zona de alto peligro sísmico, acompañado de su progresivo crecimiento e incremento en el sector constructivo, demanda análisis sismo-resistentes y diseños de estructuras con un alto grado de exactitud, motivo por el cual se propone comparar los espectros de diseño calculados bajo las consideraciones de la NEC-SE-DS con los obtenidos de la ASCE 7-16, y a su vez para los espectros de respuesta de las 3 componentes del sismo del 16 de abril del 2016, a fin de verificar que los espectros de diseño de la NEC-SE-DS sean razonables a la realidad de nuestro país. Ante la naturaleza variable de los sismos y al complejo comportamiento estructural de las edificaciones frente a estos, es conveniente tomar cartas en el asunto para continuar con investigaciones que busquen comprobar la veracidad y exigencia de las normativas de diseño sísmico nacionales, como la NEC-SE-DS, con el fin de reducir la vulnerabilidad estructural ante la acción de eventos sísmicos.

FORMULACION DEL PROBLEMA.

¿Cómo se correlaciona el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril del 2016 con los espectros de diseño de la NEC-SE-DS-15 y ASCE 7-16 para la ciudad de Manta?

JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación justifica su importancia por realizarse una evaluación de la pertinencia de las formas espectrales de diseño de la norma NEC-SE-DS usando el registro sísmico del sismo del 16 de abril del 2016, obtenido en la ciudad de Manta, practica poco común en el medio ingenieril, debido a la falta de un catálogo surtido de registros sísmicos de la zona, y con limitaciones de información y en casos hasta la imposibilidad de acceder a esta por los profesionales de nuestro país.

Los terremotos más importantes son los tectónicos, pues son los que traen consecuencias más desastrosas en las estructuras a las que afectan, debido a esto, son los sismos que se tienen en cuenta en la creación de normas para analizar y diseñar estructuras sismo-resistentes. Por ello con los registros existentes se pueden realizar algunos estudios de valiosa importancia para conocer el verdadero comportamiento de edificaciones. (Lagos, 2015)

Cuando ocurre un evento sísmico, la información obtenida se conoce con el nombre de acelerograma, esta información es de suma importancia debido a que determina los movimientos de los suelos y las amplificaciones sísmicas de estos, datos que luego son introducidos en las normas de diseño sismo-resistente y contrastados con éstas, de ahí la importancia de la presente investigación que busca el aseguramiento de la calidad y la pertinencia de la NEC-SE-DS con las exigencias sísmicas de la zona en estudio.

La importancia de contar con una norma de diseño sismo resistente para edificaciones que cumpla o asegure el cumplimiento de los estándares mínimos producidos por un sismo es imprescindible para salvaguardar la vida de quienes vayan a hacer uso de las mismas, sin embargo, sobreestimar estos efectos puede tener un impacto impositivo en los costos de una construcción, por lo que es decisivo conocer el nivel de rigurosidad de la norma NEC-SE-DS comparándola con una de las normas más relevantes, actualizadas y estudiadas del mundo, la ASCE 7-16.

OBJETIVO GENERAL.

Conocer la relación entre los espectros de diseño de la NEC-SE-DS-15 y ASCE 7-16 con el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril del 2016 en la ciudad de Manta.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Analizar los espectros de diseños de las normativas NEC-SE-DS-15 y ASCE 7-16.
- Diseñar el espectro de respuesta para el registro sísmico del 16 de abril del 2016 de la ciudad de Manta.
- Diseñar los espectros de diseño elásticos de las normativas NEC-SE-DS-15 y ASCE 7-16 para las condiciones sísmicas de la ciudad de Manta.
- Correlacionar los espectros de diseño de las normativas NEC-SE-DS-15 y ASCE 7-16 y el espectro de respuesta del registro sísmico del 16 de abril del 2016 en la ciudad de Manta.

HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.

El espectro de diseño elástico de la norma NEC-SE-DS tiene pertinencia con la realidad sísmica de la ciudad de Manta.

CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE.

1.1. ANTECEDENTES.

Los países ubicados en zonas de alta amenaza sísmica deben contar con estudios de peligro sísmico, la primera fase de estos estudios consiste en la construcción de espectros de diseño que se acomoden a las características sísmicas del lugar de interés, comparándolos a su vez con espectros de respuesta generados en el sitio.

Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que su actividad sísmica es alta, incluyendo eventos tales como el de 1906, que alcanzó una magnitud de 8.8, colocándolo dentro de los sismos más grandes de la historia. Salvo los sismos de Bahía de Caráquez en agosto de 1997 con una magnitud de 7.1 Mw y el del 16 de abril del 2016 con una magnitud de 7.8Mw y que dejaron en evidencia un sinnúmero de problemas relacionados al diseño sismorresistente en el Ecuador, en esta nación no han existido eventos catastróficos más recurrentes, lo que ha provocado que no se le preste la atención debida a esta problemática. Si bien es cierto, existe una Norma Ecuatoriana de la Construcción, también lo es el hecho que los estudios acerca del tema en el país son escasos. (Quinde & Reinoso, 2016)

La comparación de los espectros de diseños frente a los espectros de respuesta de sismos en determinados sitios se ha ido incrementando a lo largo de los años, tanto a nivel mundial como local, con fines investigativos variados, pero que ponen en tela de juicio las normativas que proponen el cálculo de estos espectros, y en muchos casos marcan el camino de mejoras de las mismas. Los espectros de diseño en su concepción no responden a un solo espectro de respuesta, siendo estos la envolvente de diversos espectros de respuesta de muchos eventos sísmicos, pero frente a la evaluación con determinado espectro de respuesta debe desempeñarse de forma aceptable, asegurando así su pertenencia, caso contrario su pronta mejora.

1.1.1. CONTEXTO MACRO.

Es necesario realizar investigaciones científicas que busquen comparar los espectros de respuesta propios de alguna zona en específico con espectros de diseño propuestos por normativas, con el objetivo de determinar la rigurosidad y pertinencia de los gráficos espectrales con las condiciones sísmicas de la zona, determinando si las aceleraciones, periodos, amortiguamientos y en general el comportamiento es correcto y aplicable. A continuación, se presentan algunos estudios a nivel mundial:

- **Comparación entre espectros de sitio y espectros de diseño para las zonas sísmicas II, IIIa y IIIb del Distrito Federal.**

En la investigación el cálculo de los espectros de respuesta se realiza en base a los registros acelerográficos de cada estación y con la ayuda del método β de Newmark. Debido a que el cálculo para obtener la aceleración máxima debe tomar en cuenta la totalidad de datos contenidos dentro de un acelerograma (varias decenas de miles, dependiendo de la estación y de su intervalo de muestreo) y a que este proceso se debe repetir tantas veces sea necesario, para cubrir un intervalo de periodo (5 s) el cálculo de las aceleraciones máximas se realizó con un programa de computadora, en lenguaje FORTRAN. Los espectros asociados a cada acelerograma de cada estación se muestran en forma gráfica y agrupados por zona sísmica. Para cada estación se obtuvo el espectro correspondiente a los valores de aceleración de las componentes horizontales (E-W y N-S). (Silva, 2011)

- **Calculo del espectro elástico de la actual norma peruana de diseño sismo resistente.**

En este trabajo de investigación se desarrolló una propuesta para los espectros de diseño en la zona de periodos mayores a 2.5 s. Para construir estos espectros no fue posible emplear el método de Newmark & Hall, ya que actualmente en el país no se cuenta con una estimación apropiada de los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo. El estudio se desarrolló estudiando tendencias y empleando regresiones basadas en promedios espectrales de la zona de periodos largos. (Angulo & Azadeno, 2013)

- **Determinación de los espectros de respuesta sísmica para los suelos de Colombia.**

El presente proyecto determinó el espectro de respuesta sísmica para las siete zonas sísmicas de la ciudad de Pereira, con base en la información geotécnica de los suelos contenida en el estudio de Microzonificación sísmica elaborado por la universidad de los Andes en el año de 1999 y en la información de respuesta sísmica disponible en los acelerógrafos locales, nacionales y mundiales, las simulaciones, se realizaron con el algoritmo SHAKE91 que evalúa la respuesta sísmica del suelo mediante el análisis unidimensional de propagación de ondas. Los espectros fueron comparados con los espectros teóricos propuestos en la norma sismo resistente NSR-10. Durante las simulaciones se logró determinar que la mayor parte de la ciudad corresponde a suelos derivados de cenizas volcánicas pertenecientes a la zona de microzonificación 3, estos tienen una respuesta dinámica entre 0.4 seg y 0.8 seg con una amplificación promedio de 7.42g. Dichos suelos Son más susceptibles a ser excitados por sismos de fuentes intermedias con una distancia hipocentral entre 50 y 60 km. (Cano, 2013).

1.1.2. CONTEXTO MESO.

Es relevante que la normativa NEC-15 sea renovada, en donde se evidencien parámetros coherentes al diseño de estructuras seguras y que sean pertinentes a las condiciones sísmicas en la actualidad, analizando e incrementando de ser pertinente las sollicitaciones mínimas de diseño sísmico que por consiguiente se traducen en el incremento de las aceleraciones máximas alcanzadas por el espectro de diseño de la actual normativa. Más, sin embargo, como lo cita el Dr. Jaime Argudo:

“No basta solamente que se perfeccione la NEC-15, sino fundamentalmente que esta sea usada y controlada pertinentemente” (Argudo, 2018).

Los presentes estudios relacionan espectros de respuesta alcanzados en distintas ciudades del territorio nacional durante eventos sísmicos y los comparan con los espectros de diseño de la normativa en perfiles de suelos propios de la zona.

- **“Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 y la norma American Society of Civil Engineers 07-10”.**

En la investigación se realizaron análisis sísmicos para la determinación del cortante basal entre las normativas NEC-11 y la ASCE7-10, para estos se calcularon los espectros de diseño de ambas normativas de las ciudades de Quito, Manta y Esmeraldas y establecidas sobre los tipos de suelos B, C y D más presentes en estas ciudades, determinando que las curvas de los espectros según la norma ASCE7-10 presentan un mismo valor de aceleración S_a para los 3 tipos de suelos analizados, en cambio en la norma NEC-11 los valores máximos de los espectros son diferentes entre sí, además de que las gráficas de los espectros según la norma ASCE7-10 tiene mayores valores de aceleraciones (S_a) que varían entre un 14% hasta un 80% más, a diferencia de las gráficas de la norma NEC-11. (Jaramillo & Rocha, 2013)

- **“Estudio comparativo de espectros para diseño sísmico de la norma NEC SE DS con otras normas internacionales.”**

Este trabajo propone comparar los espectros de respuesta obtenidos en el NEC-SE-DS, con otras normas internacionales, con el fin de verificar que los espectros de respuesta del NEC-SE-DS sean razonables a la realidad de nuestro país. Se realizó una comparación de los espectros de las diferentes normas para cada tipo de suelo, además de una comparación de los espectros del suelo tipo B (roca madre) con los espectros de sismos ocurridos en el Ecuador obtenidos de acelerogramas en roca madre, datos obtenidos de la IGEPN. (Noriega, 2016)

- **“Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca”.**

En este trabajo se presenta un estudio de peligro sísmico para el Ecuador. La falta de catálogos sísmicos completos, o en muchos casos la poca información relacionada al tema hace que sea necesario un análisis probabilista de amenaza sísmica de manera que sea posible considerar las diferentes incertidumbres que se presentan en el proceso de cálculo. Esta metodología ha sido empleada en el presente trabajo para el estudio de peligro sísmico del Ecuador. Se debe partir de un catálogo que sea lo suficientemente depurado, homogéneo y

completo, de manera que los parámetros sísmicos de las diferentes fuentes no presenten grandes desviaciones en sus resultados. Posteriormente, se estudiaron diferentes modelos de atenuación, los mismos que son necesarios para conocer las intensidades en cualquier punto de interés. En este estudio se obtienen resultados de peligro sísmico como curvas de peligro, espectros de peligro uniforme (EPU) y mapas de peligro sísmico, para diferentes periodos de retorno. Como aplicación de estos resultados, se obtienen espectros de diseño sísmico para la ciudad de Cuenca, partiendo de un estudio previo de efectos de sitio realizado por la Universidad de Cuenca en el año 2000. (Quinde & Reinoso, 2016)

1.2.SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO.

1.2.1. SISMICIDAD DEL ECUADOR.

La ubicación del Ecuador en el Cinturón de Fuego del Pacífico, genera que la actividad sísmica y volcánica de la zona sea elevada, sumado a esto el constante proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Continental, y la numerosa cantidad de fallas geológicas propician la importante actividad sísmica del país.

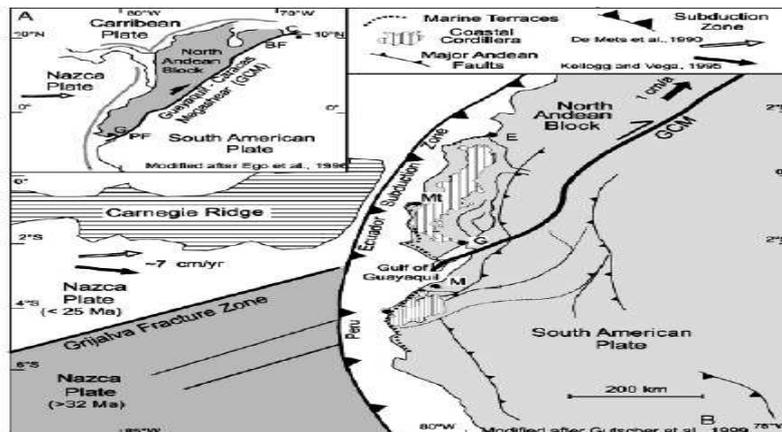


Imagen 1. Esquema estructural simplificado del área de estudio. (Fuente: Dumont)

El peligro sísmico en Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del

que ocurre en las demás fuentes. Los sismos interplaca (profundidad < 40 km) corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia. Los sismos intraplaca (profundidad entre 40 y 300 km) corresponden a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana. Los sismos corticales (profundidad < 40 km) corresponden a los sismos someros que ocurren dentro de la placa Sudamericana. (Quinde & Reinoso, 2016)

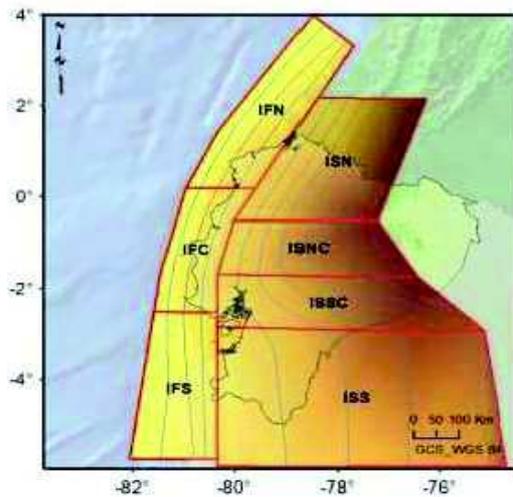


Imagen 2. Fuentes sísmicas de tipo Subducción. (Fuente: Parra, 2016)

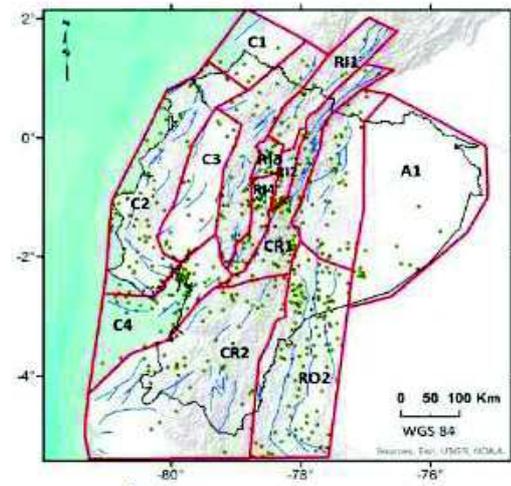


Imagen 3. Fuentes sísmicas de tipo Corticales. (Fuente: Parra, 2016).

La principal fuente sísmica para el territorio ecuatoriano y en particular para la costa, es la zona de subducción que tiene 576 kilómetros de longitud, pero si consideramos la geodinámica de subducción desde la costa norte de Perú alcanzando la parte sur andina del territorio continental del Ecuador, la zona de subducción tiene 756 kilómetros de longitud. (Chunga, 2016)

La estructura sismogénica (fuente sísmica, zona de subducción) de la costa central del Ecuador (referente al sitio de Manta) tiene registros históricos de fuertes terremotos acontecidos en los últimos 120 años, iniciando con el terremoto del 3 de mayo de **1896 (Mw**

7.1), 1 de junio de 1907 (Mw 7.4), 14 de mayo de 1942 (Mw 7.9), 16 de enero de 1956 (Mw 7.4), 4 de agosto de 1998 (Mw 7.1) y 16 de abril de 2016 (Mw 7.8). (Chunga, 2016)

Todos aquellos factores propician un alto porcentaje de ocurrencia de sismos, y la historia sísmica del país han comprobado que numerosos eventos de gran magnitud e intensidad han dejado como antecedente una corriente de daños importantes a las estructuras y huella en la sociedad en general.

1.2.2. SISMICIDAD DE MANTA.

El cantón Manta tiene una extensión de 306 Km², su ubicación geográfica se encuentra referenciada mediante las componentes WGS 1984 UTM 17 M 531576 E, 9894993 S.

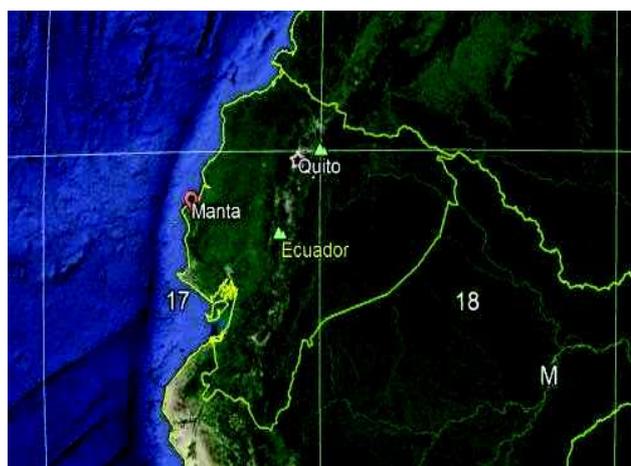


Imagen 4. Ubicación geográfica referenciada del Cantón Manta.
(Fuente: Google earth pro)

La ubicación geográfica y la tectónica activa de la zona posicionan a Manta en un área de alto peligro sísmico, por su cercanía a la zona de subducción (ver imagen 2), estructura sismogénica importante donde son usuales los sismos de magnitudes mayores a 7 grados.

La tectónica activa del sitio nos muestra que en un área seleccionada 40 Km al Noroeste de la zona, incluyendo la plataforma continental - marina a lo largo de 100 años han sucedido eventos telúricos importantes que gracias a las siguientes fuentes podemos identificarlos:

- i. “National Earthquake Information Center” - NEIC.
- ii. “Centro Regional de Sismología para América del Sur” – CERECIS.
- iii. Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Ejército.

1.3.SISMOS HISTÓRICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Gracias a la información provista por las fuentes descritas se logra establecer que 109 sismos se han generado muy próximos al área de análisis, con un rango de magnitudes que varía de entre 4 Mw hasta 7.2 Mw y con profundidades focales que van desde 0.1 Km hasta 40Km.

Es relevante citar que magnitudes menores a 4 no se han considerado debido a que sus efectos no comprometen la seguridad de las edificaciones, contrario a los sismos de magnitudes superiores que pueden generar un sinnúmero de problemas varios en las estructuras y en la geología del sitio.

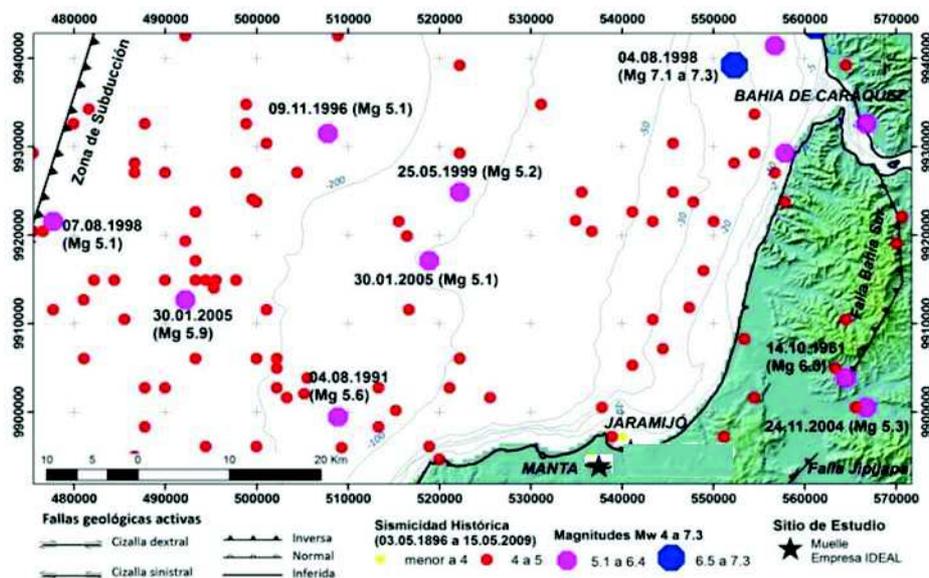


Imagen 5. Sismos instrumentales registrados por los catálogos del CERECIS, NEIC y del IG-EPN, y la proyección espacial de fallas geológicas sísmicamente activas de generar sismos con magnitudes mayores a 6. (Fuente: Chunga 2010, Ego 1996 y 1997).

La recurrencia sísmica para esta estructura sismogénica es cada 20 años de los cuales dos han sido muy fuertes. La estimación de la máxima magnitud considerando los 280 kilómetros de longitud estructural podría alcanzar terremotos en el orden de 8 a 8.1 grados de magnitud. Las terrazas marinas en la costa de Manabí son la evidencia más notoria de los potenciales fuertes terremotos acaecidos en el pasado, lamentablemente la historia sísmica para esta parte de la costa inicia en 1896 (Mw 7.1). Datos más antiguos han sido reportados por Chunga et al. (2015), y Mulas et al. (2015), donde se describe un potencial fuerte terremoto local acontecido hace 1.170 ± 30 años, donde un tsunami con run-up de 6 a 7 metros pudo alcanzar las costas de Manabí. (Chunga, 2016)

1.4. SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.

El sismo del 16 de abril del 2016 (sismo del 16-A), registrado a las 18:58 hora local tuvo su epicentro en pedernales, a una profundidad de 19Km, con 7.8 grados en la escala de Richter, dejando como resultado un total de 671 personas fallecidas en tan solo 75 segundos, a pesar del esfuerzo de los cuerpos de rescate y el apoyo de civiles, considerado a la fecha el peor sismo del Ecuador en décadas, se presenciaron 3249 réplicas en los días siguientes, de los cuales 9 de ellos tuvieron magnitudes mayores a 6.0.

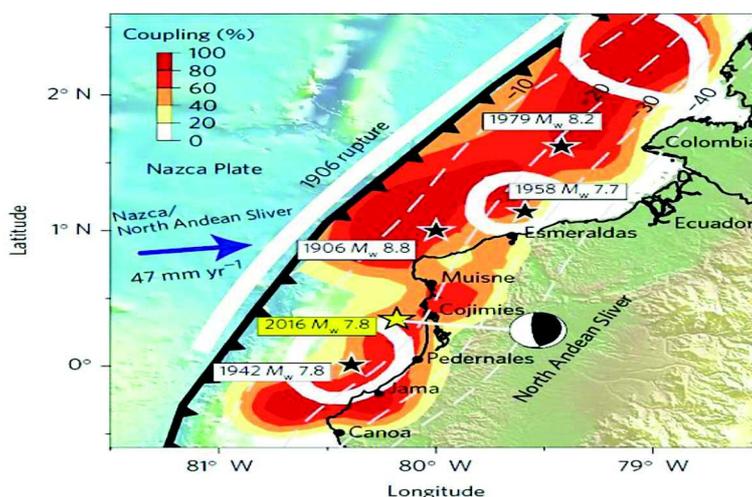


Imagen 6. Registro de sismos interplaca tipo thrust en el litoral del Ecuador, desde 1906 hasta 2016. (Fuente: Hayes et al. (2016))

En la imagen 6 se puede apreciar con línea y flechas negras la zona de subducción, los epicentros de sismos con magnitudes más importantes se representan con estrellas negras, la zona de ruptura generada durante el gran terremoto de 1906 (8.8 Mw) se representa mediante la línea blanca paralela a la costa ecuatoriana, y la estrella amarilla ubica el epicentro del sismo del 16-A en el territorio nacional. El sismo de Pedernales rompió un segmento de cerca de 100 km de longitud por 40 km de ancho de la placa principal en profundidades entre 15 y 30 km, esto dio lugar a un deslizamiento sísmico de norte-sur de uno a seis metros lo que ocasionó como resultado la ruptura de dos asperezas adyacentes distintas. La segunda aspereza de 40×40 km² se rompió en un lapso de tiempo de 10 s con un deslizamiento superior a 5 m y generó más de la mitad de la liberación total de la energía sísmica, esta parte de la ruptura situada a 20 km de profundidad de la zona poblada de la costa oeste hace relación al extenso daño sufrido de Pedernales a Canoa. (Nocquet, 2016)

El terremoto de Pedernales en 2016 (Mw 7.8) supone una nueva etapa de eventos sísmicos, debido a que se encuentra en el mismo lugar del segmento ya roto en el terremoto de 1942 (Mw 7.8) estos acontecimientos fueron el resultado del empuje de fallas poco profundas en el límite de las placas de Nazca y Sudamérica; en el lugar del terremoto, la placa de Nazca subduce hacia el este por debajo de la placa Sudamericana a una velocidad de 47 mm / año. (Aguiar & Ortiz, 2017)

1.5.DEFINICIONES Y FUNDAMENTOS.

1.5.1. ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICO.

Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descritos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismorresistente. Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una

zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos, cuya descripción detallada escapa al alcance de este trabajo. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

Es muy importante que distingamos entre espectros de respuesta, que se obtienen para un terremoto dado, y espectros de diseño, los cuales se aplican al cálculo y verificación de estructuras y representan la sismicidad probable del lugar. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

Representa la amenaza o el peligro sísmico, y más específicamente la respuesta de la estructura al sismo. El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en una norma. Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. (NEC-SE-DS, 2015)

- **Métodos para la construcción de espectros de diseño.**

Dado que en general los espectros de diseño se obtienen del estudio estadístico de registros que por su naturaleza propia no pueden ser iguales, esto conduce a que se tengan que normalizar de alguna manera; para lo cual existen diferentes procedimientos, dentro de los que se destacan la normalización respecto de una intensidad espectral y la normalización en relación con algunos de los “parámetros máximos del terreno”, ya sea aceleración, velocidad o desplazamiento (*Ate, Vte o Dte*). (Tiguila, 2012)

Tal vez el primer espectro de diseño, dentro del sentido actual, fue desarrollado por Housner a comienzos de la década de 1950 (Housner, 1952), (Housner, 1959) y (Housner y Hudson, 1961). Housner desarrolló el concepto del espectro promedio, el cual fue el que concibió el espectro suavizado. (Tiguila, 2012)

Método de Newmark-Hall

El método de Newmark y Hall para el espectro de diseño se basa en que sea posible estimar independientemente, la máxima aceleración horizontal del terreno, A_{te} , la máxima velocidad horizontal del terreno, V_{te} y el máximo desplazamiento horizontal del terreno, D_{te} para el sismo de diseño. (Tiguila, 2012)

Con base en el estudio de numerosos sismos, los autores encontraron que dentro de las tres zonas del espectro en las cuales la aceleración es aproximadamente constante; la velocidad es aproximadamente constante y el desplazamiento es aproximadamente constante, es posible definir coeficientes de amplificación que permiten dibujar un espectro normalizado.

El formato mediante el cual se construye el espectro de diseño mediante el método de Newmark y Hall se relaciona con el gráfico 1, en donde se tiene el eje horizontal en periodos, y el eje vertical tripartito donde se tienen velocidades en el centro y dos ejes inclinados para las aceleraciones y los desplazamientos. El gráfico 1 describe el formato tripartito y los valores máximos del movimiento del suelo y el espectro obtenido al multiplicar por los factores de amplificación pertinentes.

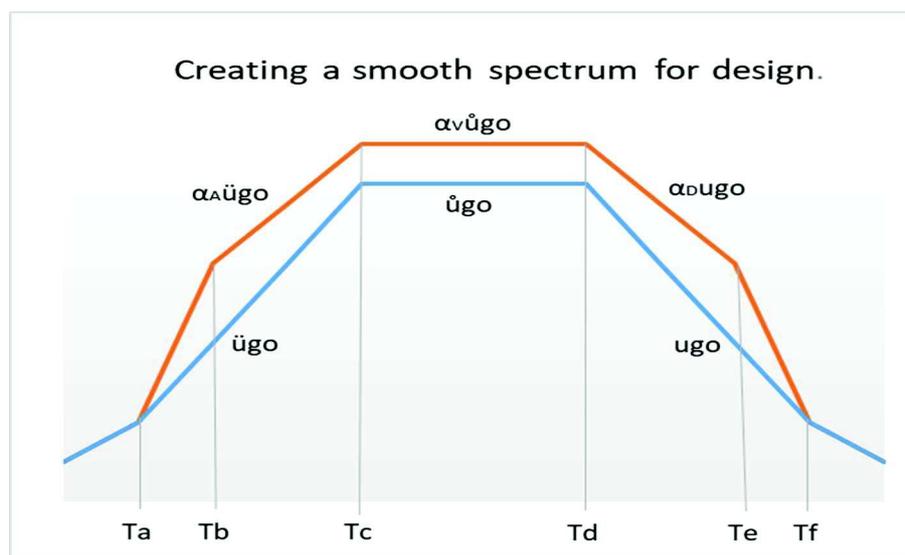


Gráfico 1. Estructura del Espectro de Newmark & Hall. (fuente: (Crisafulli & Villafañe, 2002)).

Para poder construir un espectro de diseño usando el método de Newmark & Hall, se debe contar con los valores máximos esperados del movimiento del suelo y con los respectivos factores de amplificación. (Angulo & Azadeno, 2013)

- **Método en base a promedio de espectros (Basados en señales).**

Para este método es necesario contar con acelerogramas para cada tipo de suelo. Con los acelerogramas se calculan los espectros de aceleración y desplazamiento, se construyen curvas de espectros promedio y espectros promedio más algún factor de la desviación estándar. (Angulo & Azadeno, 2013)

1.5.2. ESPECTROS DE RESPUESTA.

Se define el espectro de respuesta como la respuesta máxima de un conjunto de osciladores de 1 gdl que tienen el mismo amortiguamiento, sometidos a un sismo determinado. (Aguilar, 2018) . Estas máximas respuestas que gobiernan el diseño pueden ser expresadas en parámetros como velocidad, desplazamiento, aceleración entre otros (Crisafulli & Villafañe, 2002) , el espectro de respuesta es de gran utilidad para el análisis estructural bajo diferentes acciones dinámicas. (Noriega, 2016)

Para los gráficos de espectro de respuesta se representan las abscisas con el periodo o frecuencia de la estructura, y en el eje de las ordenadas las máximas respuestas de los registros sísmicos del evento.

Los registros sísmicos se toman de los acelerogramas, que son registros de la aceleración en función del tiempo, en un sitio determinado, como el suelo o las estructuras. Es registrado por acelerógrafos. Comúnmente, la historia de las aceleraciones se registra en tres componentes: dos en el plano horizontal (llamadas longitudinal y transversal) y otra en sentido vertical. Muchas veces el instrumento se orienta de manera que la componente longitudinal coincida con la dirección Norte-Sur (Sauter, 1989)

Es decir que el acelerograma se expresa como una serie de puntos en los que se indica el tiempo y el valor de aceleración correspondiente. Para lograr una adecuada representación

del acelerograma se trabaja usualmente con intervalos de tiempo del orden de 0.01 a 0.05 segundos. (Aguiar, 2018)

Estos registros pueden ser expresados y calculados en los parámetros antes mencionados para distintos factores de amortiguamiento. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

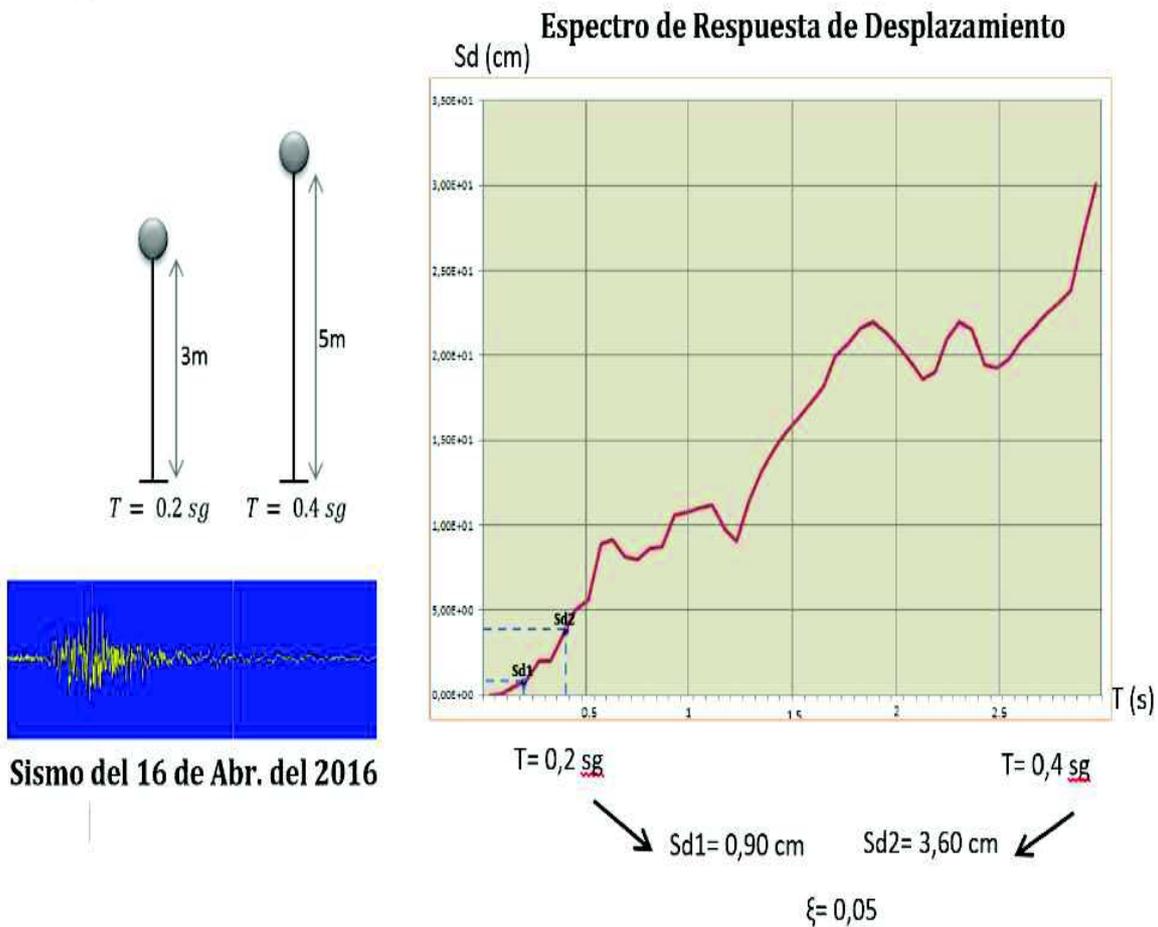


Imagen 7. Demostración de cálculo de Espectros de Respuesta. (Fuente: (Aguiar R, 2018)).

En la gráfica 7 se demuestra el principio de cálculo de los espectros de respuesta, en donde los dos péndulos de 1GDL (Estructuras), con un mismo factor de amortiguamiento pero con propiedades distintas y por ende periodos diferentes, son sometidos a un sismo (acelerograma del 16-A) que generara movimiento en ellos, originando a su vez desplazamientos (por referirnos al espectro de desplazamientos en la imagen), de los cuales los valores máximos de estos se configuraran en el llamado espectro de respuesta elástico de desplazamientos.

- **Importancia de los espectros de respuesta.**

Los espectros de respuesta proporcionan información muy valiosa para el Proyectista Estructural, ya que se puede inferir los edificios que van a estar sujetos a mayores fuerzas sísmicas, en función de donde se hallan los picos principales de los espectros de aceleración y desplazamientos. Por este motivo es importante conocer las formas espectrales que tomen en cuenta las condiciones de sitio y de la fuente sísmica. (Aguar, 2018)

Los espectros de respuesta juegan un rol importante en el estudio de los movimientos del suelo por efectos de sismos, es importante citar que el espectro de respuesta varía de acuerdo al tipo de perfil sísmico en el que se haya realizado la medición, adhiriéndose al criterio de los factores de sitio y la amplificación de ondas por tipos de suelo, de ahí la importancia del estudio riguroso de los acelerogramas y sus espectros de respuesta.

- **Tipos de Espectros de respuesta.**

- **Espectros de respuesta elástica:** representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto. (Crisafulli & Villafañe, 2002)
- **Espectros de respuesta inelástica:** son similares a los anteriores, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en campo plástico. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

1.6. TIPOS DE SUELO Y EFECTOS EN EL ESPECTRO DE DISEÑO.

El suelo influye directamente en los espectros de diseño dependiendo si la estructura se encuentra situada sobre roca, suelo firme o suelo blando debido a que la respuesta dinámica del suelo es distinta en cada caso. (Noriega, 2016)

Es por eso tan importante saber en qué perfil sísmico de suelo se realizó la datación del registro sísmico, del cual dependerá los valores que se obtengan del mismo, de acuerdo con factores de sitio, propiedades del suelo del sitio, velocidades de onda de corte, etc., dependerá el resultado obtenido en las componentes espectrales del espectro de respuestas.

1.7. BASES DE DISEÑO DE LAS FORMAS ESPECTRALES ELÁSTICAS DE LAS NORMATIVAS.

1.7.1. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN – NEC-SD-DS.

El NEC SE DS es una actualización del NEC 11, y fue publicado oficialmente el 10 de enero del 2015 por un acuerdo ministerial con el registro N 413, este contiene parámetros necesarios de diseño sismo resistente para las edificaciones, siendo así un compendio de requerimientos mínimos de diseño incluyendo evaluaciones y medidas para valorar los daños ocasionados por sismos en edificaciones, al igual que su posible reparación. (Noriega, 2016)

La norma ecuatoriana de la construcción está compuesta de 8 tomos diferentes los cuales abordan temáticas específicas en tanto a construcción se trata:

Normas ecuatorianas de la construcción.

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas).
- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismo resistente.
- NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras.
- NEC-SE-GC: Geotecnia y Cimentaciones.
- NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado.

- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero.
- NEC-SE-MP: Mampostería Estructural.
- NEC-SE-MD: Estructuras de Madera.
- NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m.

La actual normativa ecuatoriana NEC-SE-DS-15 por su nombre “Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente”, es el reglamento que contiene todos los requisitos mínimos, métodos y restricciones para el diseño sismo resistente de edificaciones, y para estructuras especiales recomienda la complementación con normas internacionales especializadas en el mismo campo como las principales ASCE 7-16 (Minimum Design Loads for Buildings and other Structures), ASTM (American Society of Testing Materials) y FEMA 450 (Federal Emergency Management Agency).

Esta norma es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional y aplica la filosofía de diseño basada en desempeño. El objetivo de esta filosofía es evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructura. Se añade el objetivo de protección en mayor medida y de garantía de funcionalidad luego de un evento sísmico extremo para las estructuras de ocupación especial y esencial. (CAMICON & MIDUVI, 2014)

Determina que los procedimientos y requisitos descritos a lo largo de la normativa se llevan a cabo considerando:

- El factor Z, o zona sísmica del Ecuador donde se construirá y las curvas de peligro sísmico.
- La tipología del suelo del sitio.
- Categoría de uso de la estructura e importancia de esta, lo que en resumen determina el coeficiente de importancia “I”.

1.7.2. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ASCE 7-16

Esta norma fue desarrollada por un proceso de implementación de estándares de consenso que ha sido acreditado por el American National Standards Institute (ANSI). La acreditación

de ANSI, un organismo de acreditación voluntaria que representa a las organizaciones de desarrollo de estándares del sector público y privado en los Estados Unidos y en el extranjero, significa que el proceso de desarrollo de estándares utilizado por ASCE ha cumplido con los requisitos de ANSI de apertura, equilibrio, consenso y debido proceso. (ASCE 7-16, 2016)

Si bien el proceso de la ASCE está diseñado para promover estándares que reflejen un consenso justo y razonado entre todos los participantes interesados, al tiempo que se preserva la salud pública, la seguridad y el bienestar que son fundamentales para su misión, no se ha realizado una evaluación independiente y no garantiza la exactitud, integridad, idoneidad o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso discutido en este documento. La ASCE no pretende, ni se debe interpretar, los estándares de esta reemplazar el buen juicio de un profesional competente, tener conocimiento y experiencia en el (los) campo (s) de práctica apropiado, ni sustituir el estándar de cuidado requerido por dichos profesionales en la interpretación y aplicando los contenidos de esta norma. (ASCE 7-16, 2016)

Esta norma proporciona cargas mínimas, niveles de peligro, criterios asociados y objetivos de rendimiento previstos para edificios, otras estructuras y sus componentes no estructurales que están sujetos a los requisitos del código de construcción. Las cargas, las combinaciones de carga y los criterios asociados que se proporcionan en este documento se deben utilizar con resistencias de diseño o límites de tensión permisibles contenidos en las especificaciones de diseño para materiales estructurales convencionales. Usados juntos, se considera que son capaces de proporcionar los niveles de rendimiento previstos para los cuales se han desarrollado las disposiciones de esta norma. También se describen los procedimientos para aplicar medios alternativos para demostrar un rendimiento aceptable. (ASCE 7-16, 2016)

El capítulo 11 presenta los criterios para el diseño y construcción de edificaciones y otras estructuras sujetas a movimientos producto de un terremoto. Las cargas especificadas del terremoto se basan alrededor de la disipación postelástica de la energía en la estructura. A causa de este factor, los requerimientos para el diseño, detallamiento, y construcción deben ser satisfechos, incluso para estructuras y miembros para los cuales las combinaciones de

cargas no incluyen las cargas sísmicas indicando largas demandas en vez de combinaciones que incluyan cargas sísmicas. (ASCE 7-16, 2016)

Estructuras y sus componentes no estructurales deben ser diseñados y construidos en base con los requerimientos de los capítulos siguientes basados en el tipo de estructura y sus componentes:

- Construcciones: Capítulo 12.
- estructuras no constructivas: Capítulo 15.
- componentes no estructurales: Capítulo 13.
- Estructuras con aislamiento sísmico: Capítulo 17.
- Estructuras con sistemas de amortiguamiento: Capítulo 18.

Construcciones que tienen como propósito contener equipamiento o maquinaria y donde sus ocupantes están encargados del mantenimiento o monitoreo de ese equipo, maquinaria o de sus procesos asociados se permiten clasificar como estructuras no constructivas y ser diseñadas y detalladas de acuerdo con la sección 15.5 de esta normativa. (ASCE 7-16, 2016)

1.7.3. ZONIFICACIÓN SÍSMICA.

Los mapas de zonificación sísmica tienen su construcción en diversos métodos y técnicas, como lo son los mapas de isosistas, representación gráfica de curvas con un nivel de intensidad igual al de un evento independiente pasado.

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

El procedimiento más utilizado es el método probabilístico el cual se basa en construcción de espectros de aceleración elásticos en suelos de tipo roca, en base a aceleraciones máximas las cuales provienen de mapas de regionalización sísmica conseguidos en curvas de

aceleración para una probabilidad de excedencia de diez por ciento y una vida útil de cincuenta años. (Aguiar, 2008)

- **NEC-SE-DS-15.**

Para el Ecuador el mapa de zonificación del NEC NS DS, se obtuvo mediante un estudio de peligro sísmico actualizado al 2011 tomando en cuenta los factores del territorio ecuatoriano como origen de los sismos, además de criterios de uniformidad de peligro en algunas zonas del país, ciudades importantes, irregularidad en curvas de definición de zonas sísmicas, suavizado de inter- zonas y también toma en cuenta los mapas de peligro sísmico de Perú y Colombia. (Noriega, 2016).

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

El valor de zona sísmica (Z) determinado en la imagen 8, en el mapa de zonificación sísmica presentado es el pico de aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño, y es una fracción de la gravedad (g).

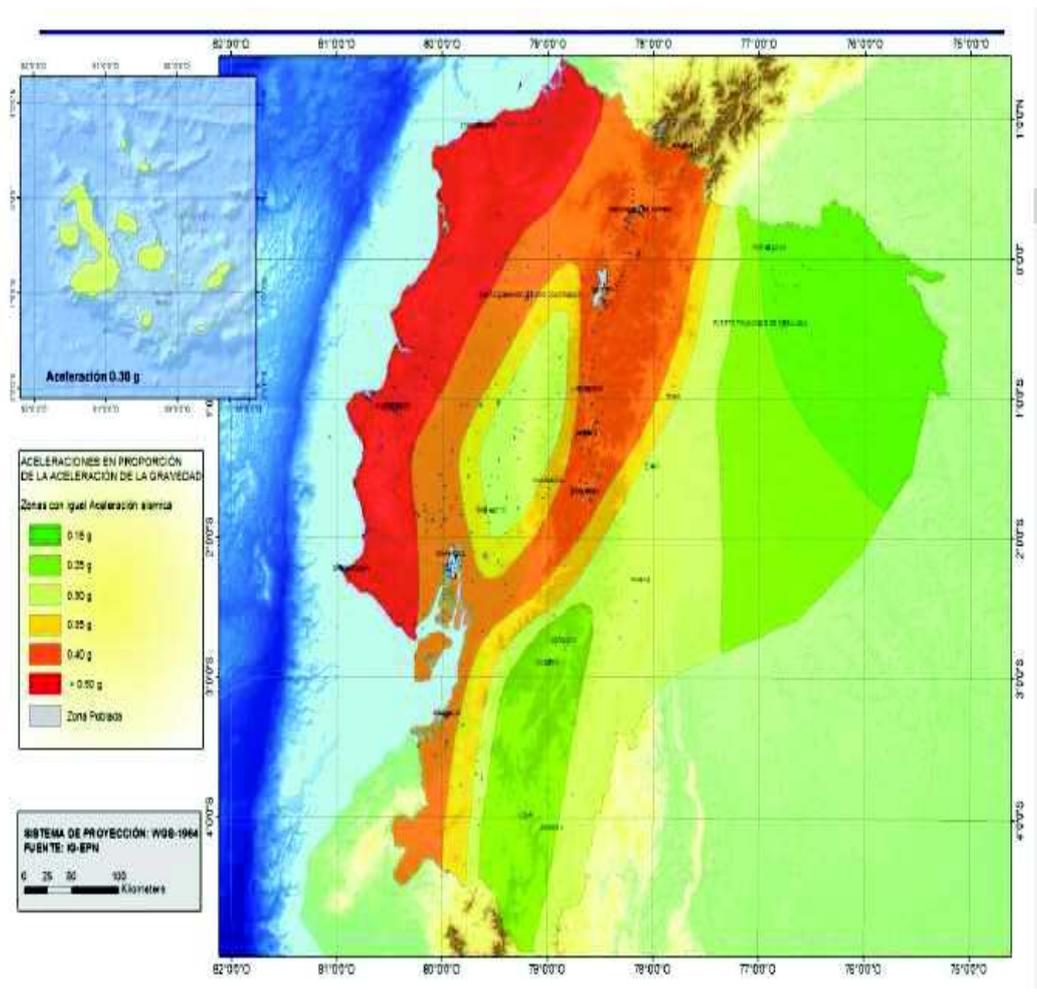


Imagen 8. Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y determinación del valor de factor de zona sísmica (Z). (Fuente: (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción., 2014.))

Tabla 1. Valores propios de la zona sísmica (Z) adoptada. (Fuente: (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción., 2014.))

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

La tabla 1 determina los valores propios del factor de zona sísmica (Z) que se adopten para el cálculo sísmico, para valores de Z que correspondan a zonas sísmicas VI, se recomienda realizar microzonificaciones sísmicas o en su defecto elegir valores mayores a 0.50 tal como lo dictamina explícitamente.

Para facilitar la determinación del valor de Z , en la **Tabla 16 (numeración de la normativa)**: Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z de la **Sección 10.2 (acápito de la normativa)** se incluye un listado de algunas poblaciones del país con el valor correspondiente. (NEC-SE-DS, 2015)

Si se ha de diseñar una estructura en una población o zona que no consta en la lista y que se dificulte la caracterización de la zona en la que se encuentra utilizando el mapa (**véase Figura 1 numeración de la normativa**), debe escogerse el valor de la población más cercana. (NEC-SE-DS, 2015)

- **ASCE 7-16.**

Los parámetros S_s y S_1 deben determinarse desde 0.2 y 1s de las aceleraciones del espectro de respuestas que se muestran en las **figuras 22-1, 22-3, 22-5, 22-6, 22-7, y 22-8 (numeración de la normativa) para S_s y figuras 22-2, 22-4, 22-5, 22-6, 22-7, y 22-8 (numeración de la normativa) para S_1** . Donde S_1 es menor o igual a 0.04 y S_s es menor o igual a 0.15, la estructura se le permite ser asignada a la categoría de diseño sísmico A y solo requiere seguir la **sección 11.7 (acápito de la normativa)**. (ASCE 7-16, 2016)

En este capítulo se encuentran los parámetros S_s y S_1 que deben determinarse desde 0.2 y 1s de las aceleraciones del espectro de respuestas que se muestran en las **figuras 22-1 a 22-8 (numeración de la normativa)**; Las **figuras 22-18 y 22-19 (numeración de la normativa)**, que proporcionan los **coeficientes de riesgo CR_S y CR_1** ; y las **figuras 22-14 a 22-17 (numeración de la normativa)**, que proporcionan los **periodos de transición de largo período T_L** para uso en la aplicación de las disposiciones sísmicas de esta norma. (ASCE 7-16, 2016)

- SS es el MCER mapeado, con 5% de amortiguamiento, es el parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos como se define en la Sección 11.4.2.
- S1 es el MCER mapeado, con 5% amortiguamiento, es el parámetro de aceleración de respuesta espectral en un período de 1 s como se define en la Sección 11.4.2.
- CRS es el coeficiente de riesgo mapeado en períodos cortos utilizados en la Sección 21.2.1.1.
- CR1 es el coeficiente de riesgo mapeado en un período de 1 s utilizado en la Sección 21.2.1.1.
- TL es el período de transición del período largo mapeado utilizado en la Sección 11.4.6.

Estos mapas fueron preparados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en colaboración con el Comité de Actualización de Disposiciones del Consejo de Seguridad Sísmica del Edificio (BSSC) y el Subcomité Sísmico de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) 7 y se han actualizado para esta norma. (ASCE 7-16, 2016)

1.7.4. TIPOS DE SUELO.

- **NEC-SE-DS-15.**

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la tabla 1.4.

Tabla 2. Clasificación de perfiles sísmicos del suelo. (Fuente: NEC-SE-DS-15)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia o ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

La caracterización de los tipos de suelos se la realiza para los 30 metros primeros del perfil para los suelos tipo A, B, C, D y E. Los perfiles con estratos de suelo diferenciables deben subdividirse, asignándoles a estos un subíndice de 1 que va desde 1 en la superficie hasta los 30 metros de profundidad del perfil en análisis.

Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección **10.6.4 de la normativa**.

El objeto del estudio de los suelos tipo “**F**” es analizar la **respuesta dinámica** del sitio y su potencial de **licuefacción**.

Para el caso de perfiles clasificados como “**F**”, se realizarán investigaciones geotécnicas específicas de suelo, que permitirán conocer y modelar su comportamiento dinámico.

Estas investigaciones deberán incluir:

- perforaciones con obtención de muestras,
- ensayos de penetración estándar SPT,
- penetrómetro de cono CPT (ensayo de penetración estática)
- y otras técnicas de investigación de suelos y de laboratorio que permitan establecer las características y propiedades del suelo en estudio, así como también el contacto entre capas de suelo y roca.

Se recomienda la estimación de:

- las velocidades de ondas de corte por medio de ensayos Sísmica de Refracción de acuerdo con el ASTM D5777.
- el periodo elástico del subsuelo mediante mediciones de la vibración ambiental, aplicando la técnica de Nakamura (Nakamura, 1989).

Finalmente, para caracterizar las propiedades dinámicas de los suelos, se debe realizar ensayos de columna resonante y/o triaxiales dinámicos de muestras características de los

estratos, a fin de obtener los parámetros que permitan realizar un análisis de respuesta dinámica de sitio. (NEC-SE-DS, 2015)

- **ASCE 7-16.**

El **capítulo 20 de la norma ASCE 7-16** contiene los procedimientos para la clasificación de suelos, donde los divide en 6 diferentes tipos de acuerdo cumplan estos con cada una de las características propias de la categoría, donde se considera:

- \bar{V}_s : Velocidad de Propagación de onda.
- \bar{N} : Promedio de la resistencia a la penetración estándar en campo.
- \bar{N}_{ch} : Promedio de la resistencia a la penetración estándar en campo para capas de suelos de baja cohesión.
- \bar{S}_u : Resistencia al corte del suelo en condición no drenado.

Tabla 3. Caracterización de tipos de perfiles sísmicos de la ASCE 7-16.
(Fuente: (Noriega, 2016))

CLASE DE SUELOS	\bar{V}_s	\bar{N} o \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u
A. ROCA DURA	>5000ft/s (1524m/s)	NA	NA
B. ROCA	2500 a 5000 ft/s (762 a 1524 m/s)	NA	NA
C. SUELO MUY DENSO Y ROCA SUAVE	1200 a 2500 ft/s (365.76 a 762 m/s)	>50	>2000 psf (95,76kN/m ²)
D. SUELO RÍGIDO	600 a 1200 ft/s (182.88 a 365,76 m/s)	15 A 50	1000 a 2000 psf (47,88 a 95,76kN/m ²)
E. SUELO BLANDO Y ARCILLOSO	<600 ft/s (182,88 m/s)	<15	<1000psf (47,88 kN/m ²)
Cualquier perfil de suelo que tenga más de 3m de las siguientes características:			
Índice Plástico PI >20			
Contenido de Humedad $w \geq 40\%$			
Resistencia al corte no drenado $\bar{S}_u < 500$ psf (23,94 kN/m ²)			
F. SUELOS QUE REQUIEREN UN ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO, DE ACUERDO CON LA SECCIÓN 21,1	SECCIÓN 20.3.1		

El suelo del sitio se clasificará de acuerdo con la tabla 3 (**Tabla 20.3-1 y la Sección 20.3 de acuerdo a la numeración de la normativa**) basada en los 100 pies (30 m) superiores del sitio perfil. Donde los datos específicos del sitio no están disponibles para una profundidad de 100 pies (30 m), las propiedades apropiadas del suelo pueden ser estimadas por el profesional del diseño registrado que prepara el suelo. Debe además realizarse un informe de investigación basado en condiciones geológicas conocidas. Donde las propiedades del suelo no se conocen con suficiente detalle para determinar la clase de sitio, y si la Clase de sitio es D, sujeto a los requisitos de Sección 11.4.4 (**de acuerdo a la numeración de la normativa**), se utilizará a menos que la autoridad que tiene a jurisdicción o los datos geotécnicos determinan que los suelos E o F están presentes en el sitio. Las Clases de Sitio A y B no serán asignado a un sitio si hay más de 10 pies (3.1 m) de suelo entre la superficie de la roca y la parte inferior de la zapata extendida o base de fundación.

1.7.5. FACTORES DE SITIO.

- **NEC-SE-DS-15.**

De acuerdo con la NEC-SE-DS-15 los factores z determinados se describen en la tabla 4:

Tabla 4. Valores propios de la zona sísmica (Z) adoptada. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015))

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

- **ASCE 7-16.**

La normativa ASCE 7-16 gracias a la realización de estudios ha determinado factores de sitios propios para los Estados Unidos y muchas otras partes del mundo, incluido el Ecuador, mapa en el cual podemos extraer factores S_s y S_1 tanto para 0.1 y 1s.

Estos mapas los realiza la United States Geological Survey (USGS) y además de la norma se los puede encontrar en la página <http://earthquake.usgs.gov/designmaps/>. (ASCE 7-16, 2016)

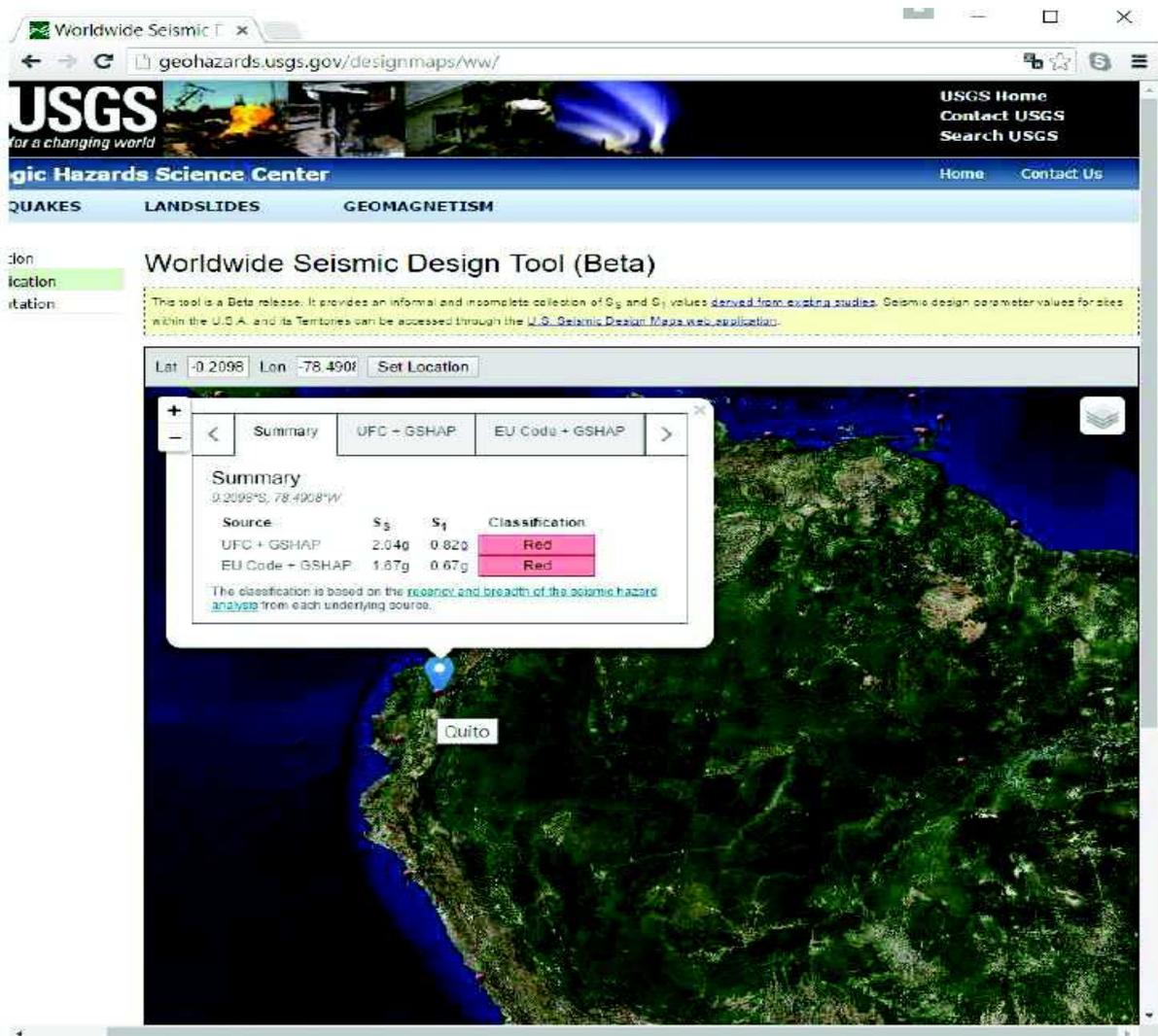


Imagen 9. Factores S_s y S_1 para Quito- Ecuador de acuerdo lo dispone el ASCE 7-16 (Fuente: <http://geohazards.usgs.gov/designmaps/ww/>)

1.7.6. PARÁMETROS DE ACELERACIONES ESPECTRALES PARA DISEÑO.

- **NEC-SE-DS-15.**

Según la zona sísmica y el factor Z se determinan los parámetros Fa, Fd y Fs para todos los suelos excepto para el suelo F que requiere un estudio especial. (NEC-SE-DS, 2015)

Fa es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto, los valores de Fa amplifican las ordenadas del espectro elástico de aceleraciones en roca, con los efectos de sitio. (NEC-SE-DS, 2015)

Tabla 5. Factor Fa y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Fd es un factor que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, con los efectos de sitio. (NEC-SE-DS, 2015)

Tabla 6. Factor F_d y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Factor F_s el cual toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos, el contenido de frecuencia del movimiento sísmico, la degradación del periodo de sitio que depende de la intensidad del movimiento sísmico además de los desplazamientos relativos del suelo. (NEC-SE-DS, 2015)

Tabla 7. Factor de comportamiento inelástico del suelo F_s y tipo de suelo. (Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

- **ASCE 7-16.**

Los parámetros de aceleración y los factores de sitio se encuentran publicados en la normativa norteamericana, al igual que en la USGS, donde se obtiene los datos S_s y S_1 de factores de sitio.

Los parámetros de aceleración del riesgo del mayor sismo considerado, de periodos cortos (SMS) y de 1s (SM1) con ajuste de factores de sitio se obtienen con la aplicación de las formula:

$$SMS = FaS_s$$

Ecuación (0.1)

$$SM1 = F_v S_1$$

Ecuación (0.2)

De los cuales F_v y F_a se obtienen de las siguientes tablas:

➤ **Valor de coeficiente de aceleraciones espectrales para periodos cortos F_a .**

Tabla 8. Coeficiente de aceleraciones para periodos cortos F_a
(Fuente: (ASCE 7-16, 2016)).

Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE _R) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period						
Site Class	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	2.4	1.7	1.3	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8
F	See Section 11.4.8					

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_s .

Recomienda utilizar interpolación lineal para valores intermedios de S_s .

➤ Valor de coeficiente de aceleraciones espectrales para periodos largos Fv

Tabla 9. Coeficiente de aceleraciones para periodos largos Fv
(Fuente: (ASCE 7-16, 2016)).

Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE ₀) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period						
Site Class	S ₁ ≤ 0.1	S ₁ = 0.2	S ₁ = 0.3	S ₁ = 0.4	S ₁ = 0.5	S ₁ ≥ 0.6
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D	2.4	2.2 ^a	2.0 ^a	1.9 ^a	1.8 ^a	1.7 ^a
E	4.2	See Section 11.4.8				
F	See Section 11.4.8					

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S₁.
^aAlso, see requirements for site-specific ground motions in Section 11.4.8.

Recomienda utilizar interpolación lineal para valores intermedios de S1.

Los coeficientes de diseño SDS y SD1 para periodos tanto cortos como largos respectivamente se deben obtener mediante la utilización de las siguientes ecuaciones:

$$SDS = \frac{2}{3} S M S \quad \text{Ecuación (0.3)} \quad SD1 = \frac{2}{3} S M 1 \quad \text{Ecuación (0.4)}$$

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.

2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

Para determinar los espectros de diseño de las normativas NEC-SE-DS y ASCE 7-16, así como los espectros de respuesta del sismo del 16-A se realizó un tipo de investigación que dio validez a los resultados obtenidos, logrando responder a interrogantes en torno a la problemática de forma, ordenada, concisa y sistematizada.

2.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

- **Investigación descriptiva.**

La investigación descriptiva encaja en las dos definiciones de las metodologías de investigación, cuantitativas y cualitativas, incluso dentro del mismo estudio. La investigación descriptiva se refiere al tipo de pregunta de investigación, diseño y análisis de datos que se aplica a un tema determinado. La estadística descriptiva responde a las preguntas quien, que, cuando, donde y como. (Abreu, 2012)

La investigación descriptiva consiste en la recopilación de datos que describen los acontecimientos y luego organiza, tabula, representa y describe la recopilación de datos. (Glass & Hopkins, 1984)

Es frecuente que se valga de referencias visuales como tablas, gráficos y multimedia en general que ayude en la comprensión de la distribución de datos. Esto se determina gracias a que, a la imposibilidad de la mente humana en extraer el significado completo de una cantidad considerable de datos, las estadísticas descriptivas son relevantes en la forma en la que se deseen manejar los datos. Cuando el análisis se vuelve más riguroso, las descripciones narrativas de una pequeña muestra están involucradas, la investigación hace uso de la descripción como una herramienta para ordenar los datos en términos de conducta o patrones que se originan durante el análisis.

La investigación descriptiva es excepcional en el número de variables estudiadas. Al igual que otros tipos de investigación, la investigación descriptiva puede incluir múltiples variables

para el análisis, sin embargo, a diferencia de otros métodos, requiere de una sola variable. (Borg, 1989)

Los tres objetivos principales de la investigación son: describir, explicar y validar los resultados. La descripción surge después de la exploración creativa, y sirve para organizar los resultados con el fin de encajar con las explicaciones, y luego probar o validar las explicaciones (Krathwohl, 1993)

La gran mayoría de los estudios de tipo investigativo necesitan de la descripción de distintos fenómenos tanto naturales como provocados por el hombre, en forma, estructura interna y externa, tipo de actividad, su cambio en el tiempo, su correlación con otros procesos similares y así sucesivamente. El proceso descriptivo a menudo sirve de plataforma para otras investigaciones que no podrían hacerse notar de otra manera.

2.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Con el fin de realizar un levantamiento de información pertinente se aplicará en la investigación la técnica e instrumento a continuación citado.

Revisión documental:

Revisión de investigaciones y artículos científicos correspondientes al tema, normas de la construcción y sus bases de diseño, conceptos relevantes al entendimiento de la investigación, uso de programas para el cálculo de los parámetros de estudio, y demás conceptos que se asocien a la temática a tratar.

Instrumento

- Ficha bibliográfica.
- Análisis y evaluación de información relevante.

2.3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE MANTA.

La ciudad de Manta (ver acápite 1.2.2) fue elegida como la localidad para realizar la investigación, debido a que esta ciudad presentó grandes valores de aceleraciones producto del sismo del 16 de abril del 2016, y gracias a que en ella se encuentra ubicada una estación sismológica, lo que permite realizar un espectro de respuestas propio del acelerograma registrado para la ciudad, además de diversos estudios que caracterizan los tipos de suelo encontrados en la zona, lo que permite realizar la construcción de los espectros de diseño tanto del ASCE 7-16 como de la NEC-SE-DS-15 sin ningún impedimento o problema mayor.

2.4. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.

El procedimiento adoptado para el cumplimiento de los objetivos y tareas específicas de la investigación está direccionado a la construcción de dos espectros de diseño, uno de la ASCE 7-16 y otro de la NEC-SE-DS-15 con ayuda de una programación en “EXCEL” y en “MATLAB” con las consideraciones y recomendaciones propias de cada normativa realizando este procedimiento para cada tipo de perfil sísmico presente en la ciudad de Manta una vez obtenido este Gráfico se procedió a construir un espectro de respuestas con el acelerograma obtenido para el sismo del 16 de abril del 2016 para la ciudad de Manta con ayuda de los programas de análisis “DEGTRA A4” y “MATLAB”, una vez realizado estos cálculos se procedió a comparar los espectros de diseño y respuesta construidos previamente donde se determinó y analizó cada uno de los parámetros claves y su correlación unos con otros.

2.5. ESTUDIO DE LAS FORMAS ESPECTRALES DE LAS NORMATIVAS.

Se presenta el proceso, ecuaciones y recomendaciones para la construcción de cada uno de los espectros de las normativas en estudio, con los perfiles sísmicos propios de la zona de estudio.

La gran mayoría de los espectros de diseño se construyen dentro de un intervalo de periodos que va de 0 seg a 4 seg, ya que gran parte de las estructuras se encuentran dentro de estos periodos, en nuestro caso lo extenderemos hasta los 5 seg, para coincidir en tiempo con los espectros de respuesta.

2.5.1. NEC-SE-DS-15.

El espectro de diseño elástico propuesto por la NEC-SE-DS-15 sigue la siguiente figura:

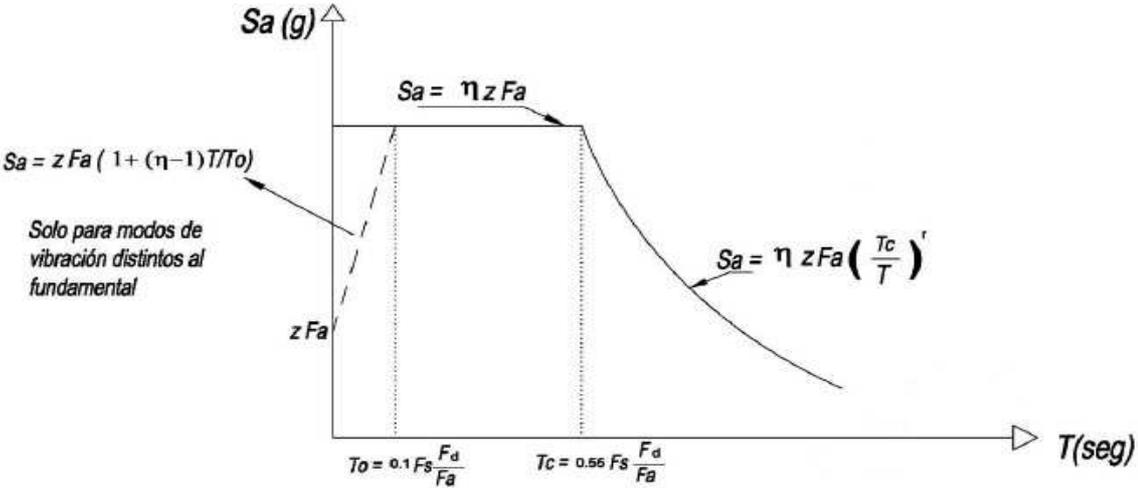


Gráfico 2. Espectro de diseño NEC-SE-DS-15. Fuente: (NEC-SE-DS-15, 2015)

Donde:

Z: Es el factor de zona sísmica.

Debido al mapa de zonificación sísmica usado por la NEC-SE-DS-15 ya referenciado propiamente en el documento y por la ciudad de Manta encontrarse en el litoral del Ecuador, se usará un valor de Z=0.6 para los cálculos de los espectros de diseño sísmico para la presente norma.

F_a: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_d: Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_s: Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

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

- **η=1.80:** Provincias de la costa (Excepto Esmeraldas)
- **η=2.48:** Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- **η=2.60:** Provincias del Oriente

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

r: Factor para el espectro de diseño elástico

- **r=1** Para todos los suelos excepto el suelo E
- **r=1.5** Para el suelo E

T: Periodo fundamental de la estructura.

T₀: Periodo Límite de vibración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$$\bullet \quad T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ecuación (0.5)}$$

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

$$\bullet \quad T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ecuación (0.6)}$$

Para un periodo T menor que T₀ (Especificado en la norma solo para análisis dinámico y, únicamente para evaluar respuestas diferentes al modo fundamental. (NEC-SE-DS, 2015)

$$S_a = Z F_a \left[1 + (n-1) \frac{T}{T_0} \right]$$

$$\text{Para } 0 \leq T \leq T_c \quad S_a = \eta Z F_a \quad \text{Ecuación (0.7)}$$

$$\text{Para } T > T_c \quad S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \quad \text{Ecuación (0.8)}$$

2.5.2. ASCE 7-16.

Las consideraciones para tomar al realizar el Gráfico del espectro de respuesta de la ASCE 7-16 empiezan con el cálculo de T₀, T_s, T_L mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{Ecuación (0.9)}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{Ecuación (1.0)}$$

T_L: Periodo largo de transición (s), en la norma se encuentran determinados en las figuras 22-14 hasta la figura 22-17.

S_a: la aceleración espectral, se determina según las siguientes fórmulas:

- Cuando el Periodo T (Periodo fundamenta de la estructura), es menor que To, Sa se calcula como:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

- Cuando T es mayor o igual a To y menor o igual que Ts:

$$S_a = S_{DS} \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

- Cuando T es mayor que Ts y menor o igual a TL entonces:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

- Cuando T es mayor que TL entonces:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

Los valores a usarse para la ciudad de Manta de Ss y S1 obtenidos de la página del USGS son 1.97 y 0.79 respectivamente.

Obteniéndose un gráfico de la siguiente forma:

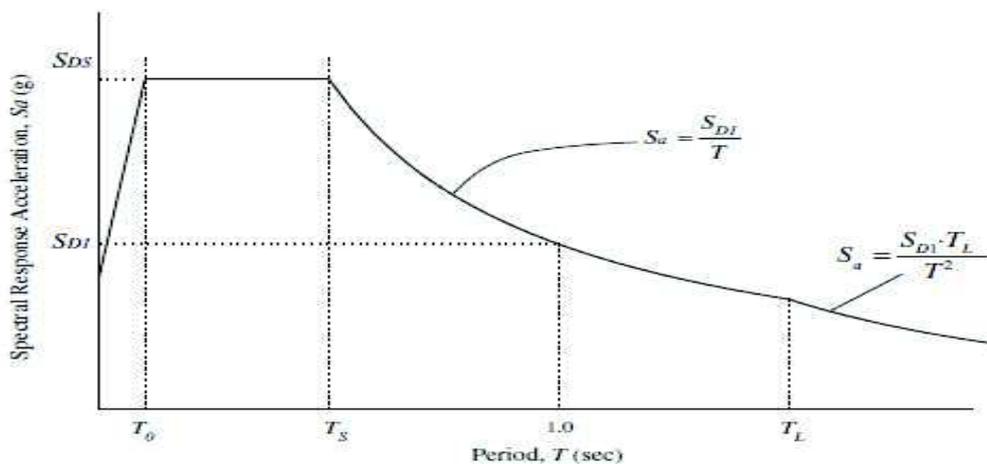


Gráfico 3. Espectro de diseño ASCE 7-16 Fuente: (ASCE 7-16, 2016)

2.5.3. MÉTODO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN.

Existen varios métodos utilizados para el cálculo de los espectros de respuesta, entre los que destacan:

- Método de Newmark
- Método de la transformada de Fourier
- Método de la Teoría de Vibraciones Aleatorias.
- Método de la integral de convolución.

- **Integral de convolución.**

En la presente investigación se usó el procedimiento de la integral de convolución para encontrar la respuesta del sistema en el tiempo, la excitación se divide en una serie de impulsos, cada uno de ellos tiene un intervalo de tiempo $\Delta\tau$. Mientras más pequeño es el valor de $\Delta\tau$ los impulsos se van a aproximar a la función $F(t)$.

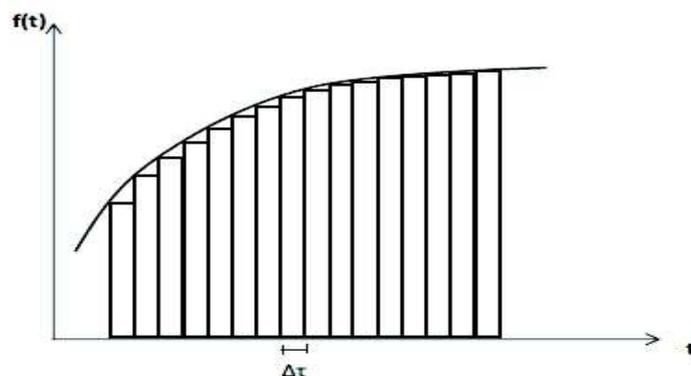


Gráfico 4. Caso general de aplicación de la fuerza $F(t)$. (Fuente: (Aguilar R. 2018))

La Fuerza Impulsiva valdrá $\Delta\tau f(\tau)$. Siendo $f(\tau)$ el valor de la fuerza del pulso rectangular que debe ser aproximada al valor de $F(t)$ en ese instante de tiempo. A la derecha de la imagen

2.1 se presenta el aporte del Primer Impulso y del segundo Impulso, debiendo proceder en igual forma todos los demás impulsos. (Aguiar, 2018)

La respuesta de desplazamiento para un pulso cualquiera será:

$$\Delta\tau f(\tau) h(t-\tau).$$

Para todos los pulsos la respuesta se configura en una sumatoria.

$$q(t) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \sum f(\tau) h(t-\tau) \Delta\tau$$

$$q(t) = \int f(\tau) h(t-\tau) d\tau$$

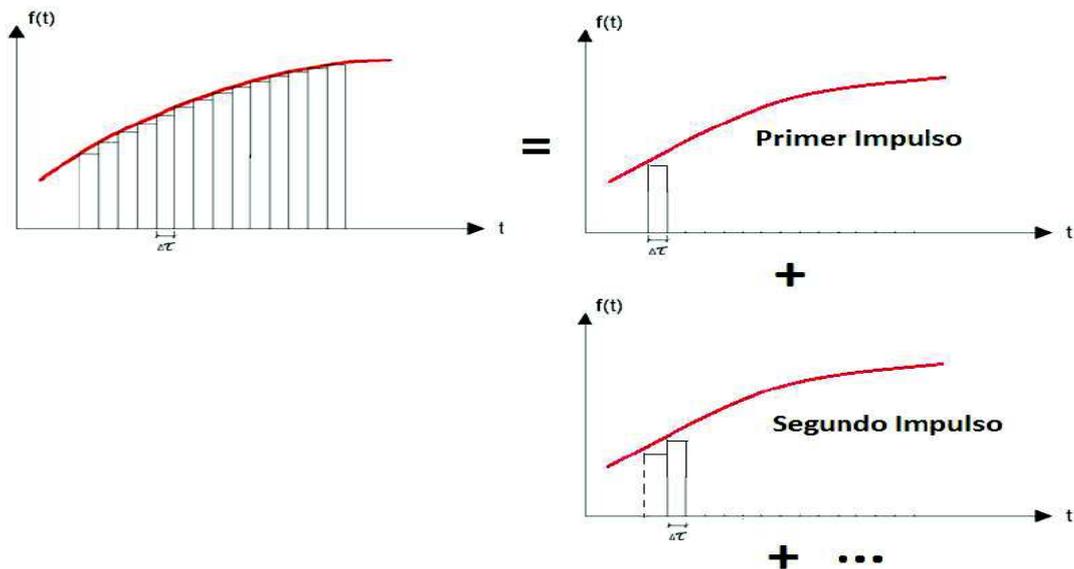


Imagen 10. Suma de impulsos en integral de convolución. (Fuente: (Aguiar R. 2018))

La integral de convolución no es más que la integral de la fuerza arbitraria $f(\tau)$ expresada mediante un vector; por la respuesta ante un pulso unitario $h(t-\tau)$, indicada en forma de vector, que depende de los cuatro casos que a continuación se presentan:

➤ **Sistema Sin Amortiguamiento $\xi=0$**

$$h(t) = \frac{1}{m \omega_n} \text{Sen}(\omega_n t)$$

➤ **Sistema Sub amortiguado $\xi < 1$**

$$h(t) = \frac{1}{m \omega_n} e^{-\xi \omega_n t} \sin(\omega_d t)$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

➤ **Sistema Sobre amortiguado $\xi > 1$**

$$h(t) = \frac{1}{m \omega_n} e^{-\xi \omega_n t} \sinh(\omega_d t)$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}$$

➤ **Sistema Críticamente Amortiguado $\xi = 1$**

$$h(t) = \frac{t}{m} \exp(-\omega_n t)$$

El programa de **MATLAB** que obtiene la integral de convolución se denomina **conv**.

➤ **$c = \text{conv}(a, b)$**

Donde **a** es un vector que contiene $f(\tau)$; **b** es otro vector con $h(t-\tau)$

2.5.4. CONSTRUCCIÓN DE ESPECTROS DE DISEÑO DE NORMATIVAS MEDIANTE SOFTWARES.

- **Software Excel.**

Microsoft Excel es un programa con funciones propias de hoja de cálculo, con herramientas de creación de tablas, cálculo y análisis de datos; pertenece a la librería de Microsoft Office lo que la convierte en una aplicación de pago que funciona bajo los algoritmos del sistema operativo de la familia Windows y es comúnmente utilizada tanto por empresas como por particulares.

El cálculo y Gráfico de los espectros de diseño de ambas normativas se realizó mediante la configuración de cada una de las sentencias y ecuaciones propias de las formas espectrales de cada reglamentación en este software, el Gráfico resultante corresponde a la forma

espectral de aceleraciones, a continuación, se presenta la hoja de cálculo de la programación de los espectros de diseño de ambas normativas:

➤ **NEC-SE-DS-15.**

El programa realizado en Excel tiene las siguientes características:

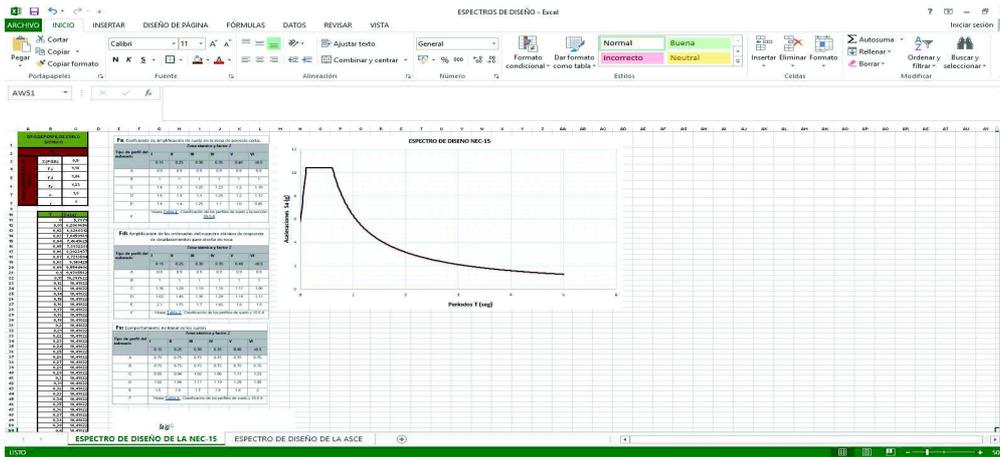


Imagen 11. Programa en Excel para cálculo de espectro de diseño NEC-SE-DS-15 (Fuente: elaboración propia)

Las casillas hábiles a ser modificadas para el cálculo de algún espectro de diseño mediante la norma NEC-SE-DS-15 son:

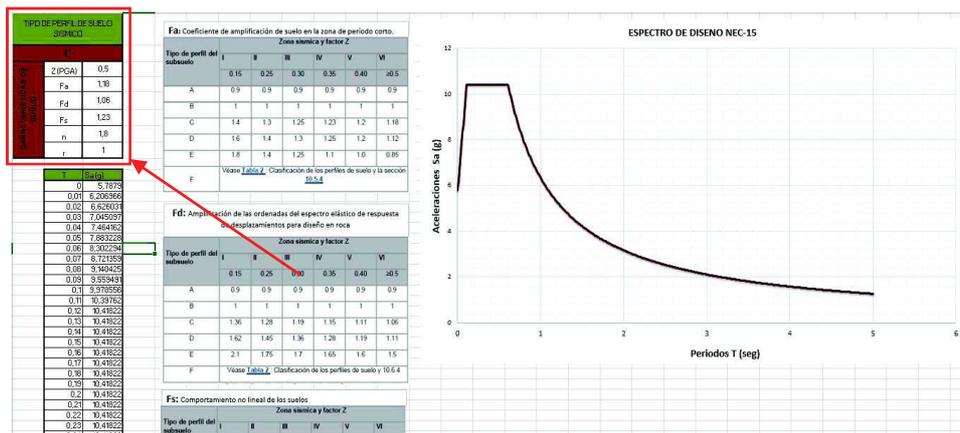


Imagen 12. Casillas a ser modificadas en programa de cálculo de espectro de diseño de la Nec-Se-Ds-15. (Fuente: elaboración propia)

En las cuales se deben cambiar los valores correspondientes al tipo de suelo que está presente en la localidad a ser analizada y elegir los valores de Z , F_a , F_d , F_s , n y r propios para el correcto cálculo del espectro de diseño, vale mencionar que el periodo va desde los 0seg hasta los 5 seg con un incremento de 0.01seg.

➤ **ASCE 7-16.**

El programa de cálculo del espectro de respuesta del ASCE 7-16 tiene las siguientes características:

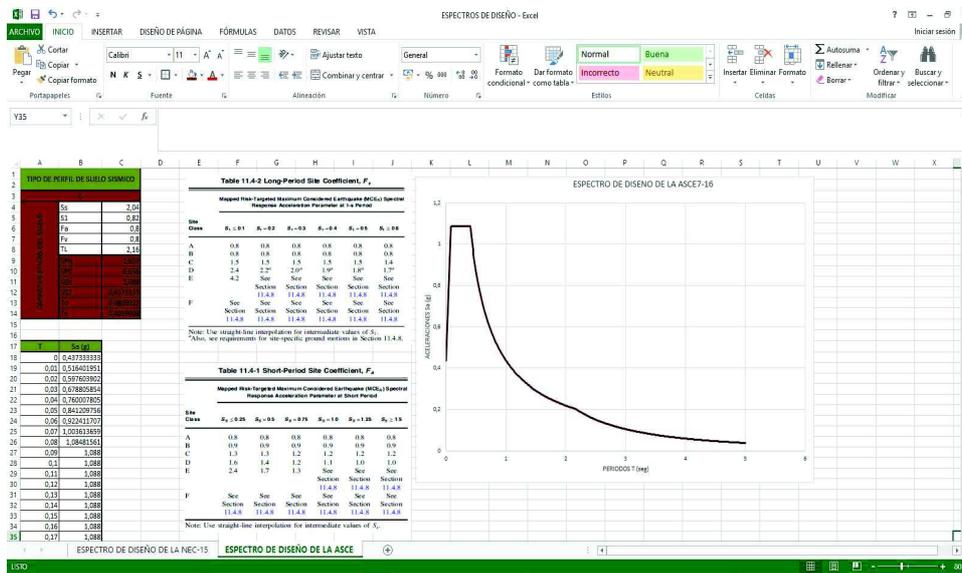


Imagen 13. Programa en Excel para cálculo de espectro de diseño ASCE 7-16 (Fuente: elaboración propia)

Las celdas que deben modificarse para el cálculo del espectro de respuesta de forma pertinente al tipo de perfil sísmico del suelo presente son las siguientes:

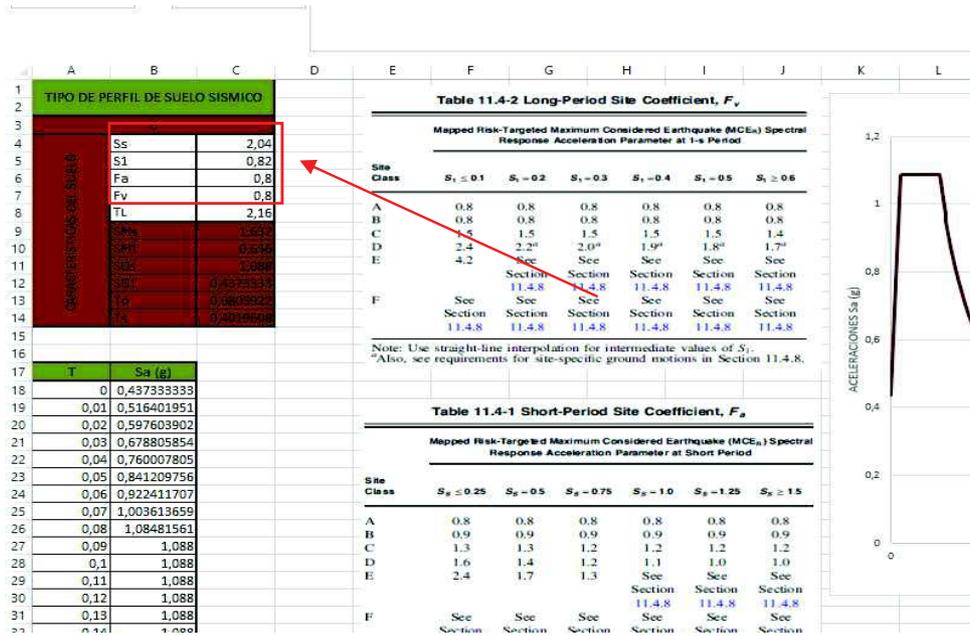


Imagen 14. Celdas a modificarse para cálculo de espectro de diseño ASCE 7-16 (Fuente: elaboración propia)

Los coeficientes a ser modificados para el correcto cálculo del espectro de diseño de la ASCE 7-16 que corresponde al tipo de perfil sísmico propio del sitio por analizar, son S_s , S_1 , F_a , F_v , y T_L , de aquellos parten los demás cálculos y ecuaciones propios de las formas espectrales de la norma bajo análisis, vale enunciar que el periodo va desde los 0seg hasta los 5 seg con un incremento en el tiempo de 0.01seg.

- **Software MATLAB.**

El espectro de diseño de ambas normativas se realizó mediante sentencias if y for con las ecuaciones propias de las formas espectrales en el programa MATLAB, considerando al igual que las programaciones en Excel, los mismos periodos de tiempo, y coeficientes a ser modificados en ellos, obteniendo espectros de diseño de ambas normativas de forma más sencilla y rápida, a continuación, se presenta la codificación de ambas normativas en programa de MATLAB:

➤ **NEC-SE-DS-15.**

%ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NEC-SE-DS-15
%PROGRAMA DE CALCULO PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO DE ACELERACIONES DE %LA
NEC-SE-DS-15.

%ELABORADO POR: GEORGE FORTTY

%% VALORES PROPIOS DE SITIO.

Z=0.5;	%Factor de zona sísmica.
Fa=1.18;	%Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.
Fd=1.06;	%Coeficiente de amplificación de suelo en roca.
Fs=1.23;	%Coeficiente de comportamiento no-lineal de los suelos.
n=1.8;	%Razón entre aceleración espectral y el PGA.
r=1;	%Factor para espectro de diseño elástico por tipo de suelo.
T=(0.00:0.01:5);	%Periodo fundamental de la estructura.

%% VALORES PROPIOS DE SITIO -NO MODIFICABLES-

To= 0.1*(Fs*(Fd/Fa))	%Periodo Límite de vibración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
Tc=0.55*(Fs*(Fd/Fa))	%Periodo Límite de vibración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

%% CODIFICACION DE PROGRAMA -NO MODIFICAR-

```
t= size(T,2);  
Sa= zeros(1,t);  
for i=1:t  
    if T(i)==0.00  
        Sa(i)=Z*Fa*9.81*100  
    elseif (T(i)>0) && (T(i)<To)
```

```

    Sa(i)=Z*Fa*(1+(n-1)*((T(i))/To))*9.81*100
elseif (T(i)>=To) && (T(i)<=Tc)
    Sa(i)=n*Z*Fa*9.81*100
else
    Sa(i)=n*Z*Fa*((Tc/(T(i)))^(r))*9.81*100
end
end

%% GRÁFICO DE ESPECTRO DE DISEÑO ELÁSTICO.
plot (T,Sa)

```

➤ **ASCE 7-16.**

```

                %PROGRAMA ESPECTRO DE DISEÑO DE LA ASCE 7-16
%PROGRAMA DE CALCULO PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO DE ACELERACIONES DE %LA
                ASCE 7-16.

                %ELABORADO POR: GEORGE FORTTY.

%% VALORES PROPIOS DE SITIO.
Ss=1.97;                %Parámetro de aceleración para periodos cortos.
S1=0.79;                %Parámetro de aceleración para periodos de 1 seg.
Fa=0.8;                %Coeficiente de aceleraciones para periodos cortos.
Fv=0.8;                %Coeficiente de aceleraciones para periodos largos.
TL=4;                %Periodo de transición para periodos largos.
T=(0.00:0.01:5);        %Periodo de espectro de diseño.

%% VALORES PROPIOS DE SITIO -NO MODIFICABLES-.
SMs=Ss*Fa;                %Parámetros de aceleración del riesgo del mayor sismo
                        considerado para periodos cortos.
SM1=S1*Fv;                %Parámetros de aceleración del riesgo del mayor sismo
                        considerado para periodos largos.
SDs=SMs*(2/3);            %Coeficiente de diseño para periodos cortos.

```

```

SD1=SM1*(2/3);           %Coeficiente de diseño para periodos largos.
To= 0.2*(SD1/SDs);      %Periodo Límite de vibración del espectro sísmico
                        %elástico de aceleraciones que representa el sismo de
                        %diseño.
Ts=(SD1/SDs);          %Periodo Límite de vibración del espectro sísmico
                        %elástico de aceleraciones que representa el sismo de
                        %diseño.

%% CODIFICACION DE PROGRAMA -NO MODIFICAR-.

t= size(T,2);
Sa= zeros (1,t);
for i=1:t
    if T(i)< To
        Sa(i)=SDs*(0.4+0.6*((T(i))/To))*1000
    elseif (T(i)>=To) && (T(i)<=Ts)
        Sa(i)=SDs*1000
    elseif (T(i)>Ts) && (T(i)<=TL)
        Sa(i)= (SD1/(T(i)))*1000
    else
        Sa(i)= ((SD1*TL)/((T(i))^2))*1000
    end
end

%% GRÁFICO DE ESPECTRO DE DISEÑO ELASTICO.

Plot (T, Sa)

```

2.5.5. PROCESAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016 MEDIANTE SOFTWARES.

- **Software DEGTRA A4 v5.1**

El Software libre DEGTRA A4 lleva más de dos décadas en desarrollo por investigadores y estudiantes de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM), es un

software libre (sin costo) que aparte de configurarse en sus principios como una herramienta académica, también es usada por profesionales e investigadores, que constantemente aportan al mejoramiento y optimización de este, convirtiendo a DEGTRA A4 en un software “Sui Generis” debido a que se desarrolla y evoluciona gracias al aporte de sus usuarios.

DEGTRA A4 es un programa que resulta de gran utilidad en la visualización y manipulación de señales, sirve entre varias cosas para el cálculo de espectros de respuesta tanto lineales como no lineales, de igual manera la respuesta de osciladores de un grado de libertad o intensidad de Arias, por esto y muchos otros aspectos es fundamental para sismólogos e ingenieros sísmicos.

Los pasos del programa DEGTRA A4 v5.1 para el cálculo de espectros de respuesta mediante registros sísmicos, son los detallados a continuación:

1. Se escoge el registro sísmico del cual se pretende generar el espectro de respuesta.
2. Si el archivo seleccionado es de Excel se debe asegurar que los valores trabajan con el divisor de decimales siendo un punto y posterior a estos copiamos los mismos a un bloc de notas.
3. Se selecciona con doble clic el icono  para iniciar el programa DEGTRA.
4. Una vez dentro del programa, se da clic en la pestaña  para entrar en la ventana donde se colocará el registro sísmico.

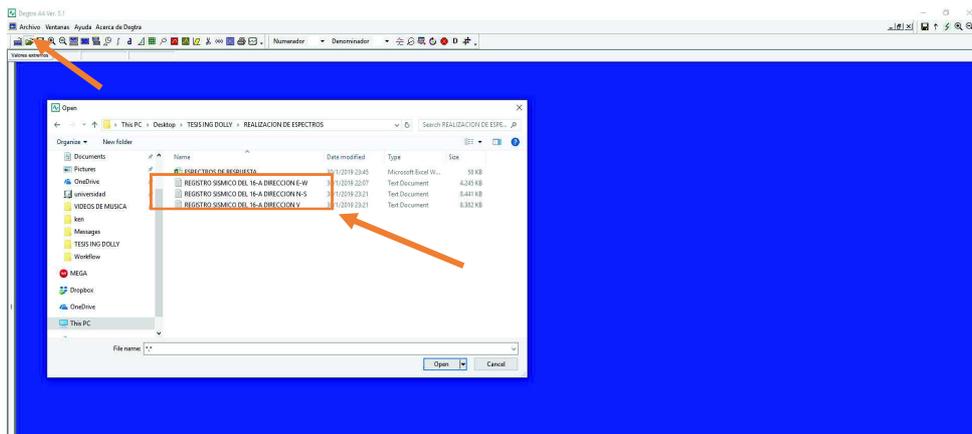
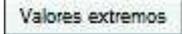


Imagen 15. Selección de archivo con valores de acelerograma del sismo.
(Fuente: ELaboracion propia)

5. Se hace clic en el icono  y buscamos el archivo de “bloc de notas” con el registro sísmico seleccionado.
6. Se selecciona el tipo de archivo que se pretende será leído por el programa DEGTRA A4 en este caso ASCII, el número de líneas inútiles (10), el factor de diezmado (1) y el incremento en el tiempo del registro sísmico (0.01).



Imagen 17. Configuración de archivo de acelerograma de sismo seleccionado.
(Fuente Elaboración propia).

7. Se hace clic en  y se visualizará el registro sísmico seleccionado, como medio de comprobación podemos hacer clic en el icono  para visualizar las componentes máximas y mínimas del registro, las cuales deben coincidir con el registro sísmico seleccionado.
8. Se da clic en el icono  y se deberá configurar la información pertinente para el cálculo correcto del espectro de respuesta, como el número de puntos que se consideran para el espectro (por lo general es 50 puntos), el T_{min} (periodo mínimo), el T_{max} (periodo máximo) y el C_{si} (factor de amortiguamiento) que por lo general es del 5%.

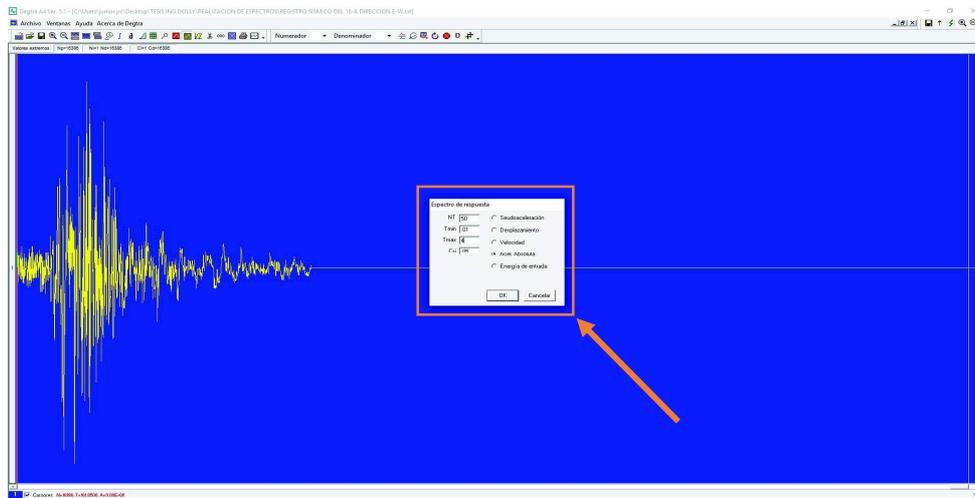


Imagen 18. Configuración de cálculo de espectro de respuesta a generarse.
(Fuente: Elaboración propia)

9. Se da clic en  y se obtiene el espectro de respuestas del registro sísmico especificado, haciendo clic en la pantalla del espectro de respuesta se podrá copiar y graficar en algún otro programa como Excel.

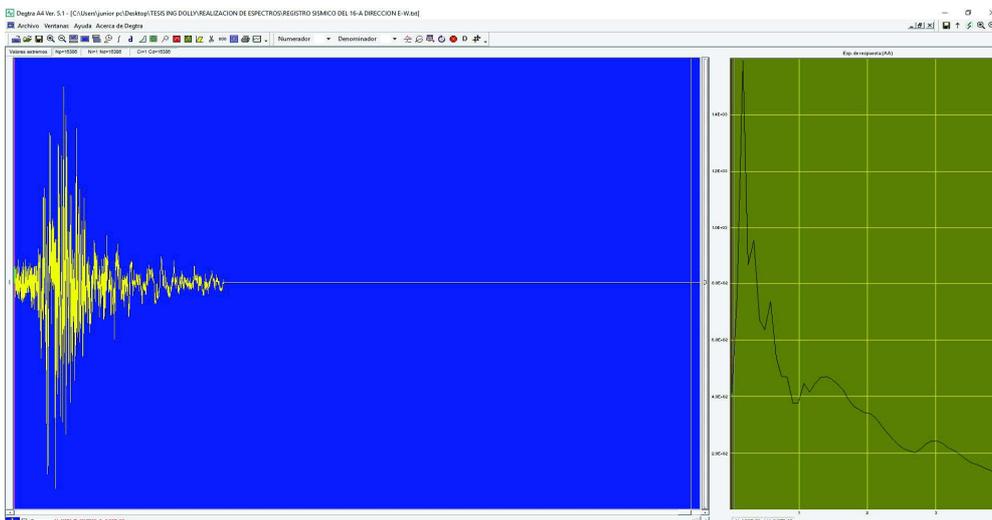


Imagen 19. Espectro de respuesta generado por DEGTRA A4. (Fuente: Elaboración propia).

2.5.6. SOFTWARE “ESPECTRO_PSA_REG_ACEL” DE LIBRERÍA DE MATLAB.

El programa Espectro_PSA_Reg_Acel está elaborado en el software “MATLAB” con una programación que sirve para determinar el espectro de aceleraciones y pseudoaceleraciones con la respuesta en el tiempo de un sismo cualquiera, el lenguaje de programación del mismo no resuelve la ecuación diferencial de movimiento de 1GDL de manera explícita, y se vale de la función de respuesta a impulso unitario realizando la integral de Convolución lo que ahorra tiempo computacional.

Fue elaborado por el Docente F. Manuel Ceballos PhD de la Universidad del Cauca en Colombia en el 2007, como instrumento educativo y de comprobación de conocimientos por parte de la Vicerrectoría de investigación científica de la facultad de Ingeniería de la misma Universidad.

Al ser un programa con carácter de lenguaje de programación se puede modificar su codificación, aunque la configuración del mismo resulta muy agradable a la vista y la obtención de los resultados es fiel y se contrasta con los de otros programas de creación de espectros de respuesta.

Los pasos del programa Espectro_PSA_Reg_Acel para el cálculo de espectros de respuesta mediante registros sísmicos, son los siguientes:

1. El archivo con la respuesta en el tiempo (acelerograma del sismo) debe contener el tiempo y la aceleración en formato .DAT y debe encontrarse en el mismo directorio del programa Espectro_PSA_Reg_Acel de MATLAB.

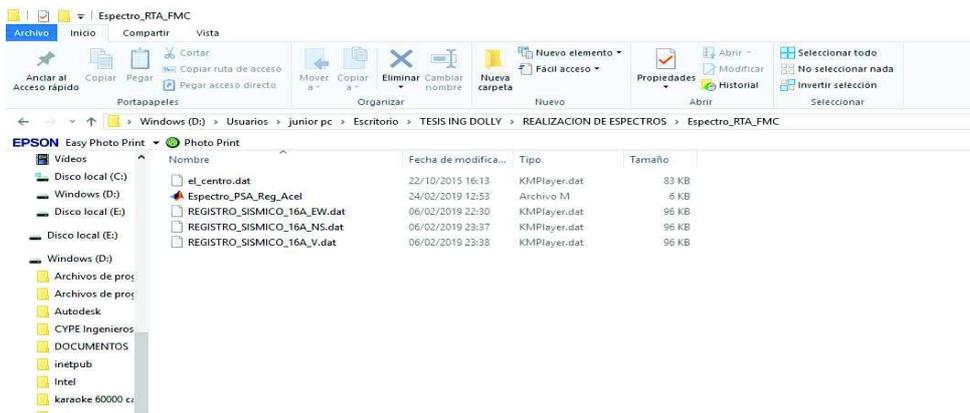


Imagen 20. Ubicación y tipos de archivos. (Fuente: Elaboración propia).

- Una vez que el programa se ha iniciado, el archivo de entrada (acelerograma) lo cargamos en la línea 21 de la codificación, correspondiente a la variable A, tal como se muestra en la siguiente imagen:

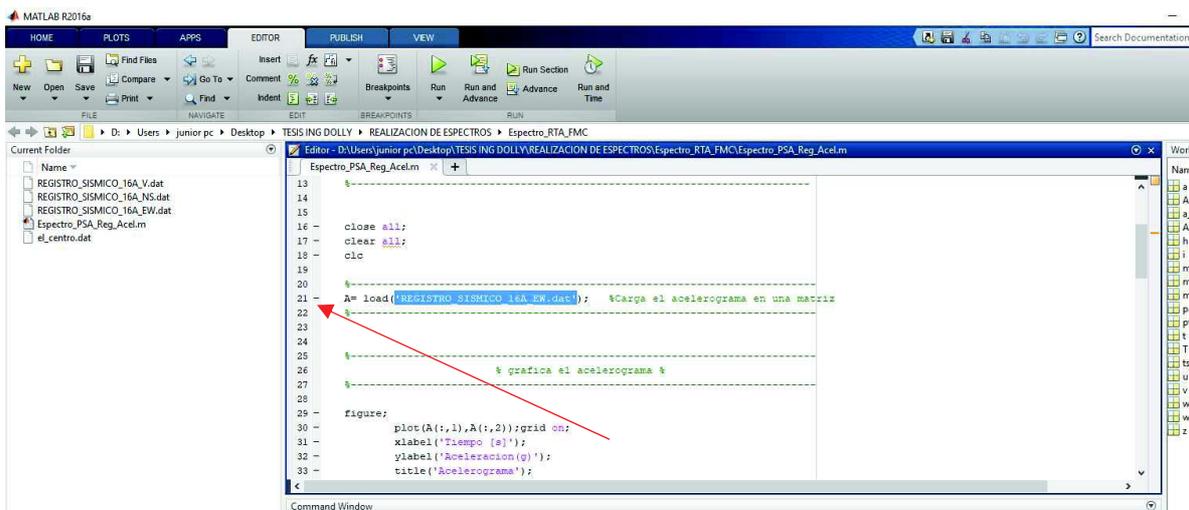


Imagen 21. Carga de archivo de entrada en programa. (Fuente: Elaboración propia).

- Las líneas 39 y 49 de la programación se deben configurar, en la primera el rango de periodos que se tomaran para el cálculo del registro sísmico y de los espectros de respuesta y en la línea 49 el factor de amortiguamiento de la estructura, que por lo general se mantiene en el 5%.

```

37 %CALCULO DEL ESPECTRO DE ACCELERACION Y PSEUDEACELERACION%
38 -----
39 T=0.01:0.01:5; %Definición del intervalo de periodo
40 ts=A(2,1)-A(1,1); %Definición del intervalo de tiempo del acelerograma
41 t=A(:,1); %vector de tiempo del acelerograma
42 Ac=A(:,2); %vector de Aceleraciones
43 pv=zeros(size(T)); %vector para cargar Pseudovelocidades
44 pa=zeros(size(T)); %vector para cargar Pseudoaceleraciones
45 maxu=zeros(size(T)); %vector para cargar desplazamientos maximas
46 maxv=zeros(size(T)); %vector para cargar velocidades maximas
47 maxa=zeros(size(T)); %vector para cargar aceleraciones maximas
48 *****
49 z=5/100; %porcentaje de amortiguamiento de la estructura
50 *****
51 for i=1:length(T);
52     clear u v a; % (borra todas las variables)
53     wn=2*pi/T(i); %calcula la frecuencia natural para el periodo dado
54     wd=(wn)*sqrt(1-z^2); %calcula la frecuencia amortiguada
55     h=(1/wd).*(exp(-z*wn*t)).*sin(wd.*t); %Funcion de respuesta del sma de 1GDL (obtenida mediante un impulso unita
56     u=ts*conv(h,-Ac); %se calcula los desplazamientos mediante la convolucion entre h(t) y las
57     maxu(i)=max(abs(u)); %Acumula en un vector los desplazamientos maximos

```

Imagen 22. Líneas por editar para el cálculo de espectros. (Fuente: Elaboración propia).

- Una vez configuradas estas líneas se hace clic en “RUN” y se obtienen los espectros de respuesta de aceleraciones y el registro sísmico ingresado en forma gráfica.

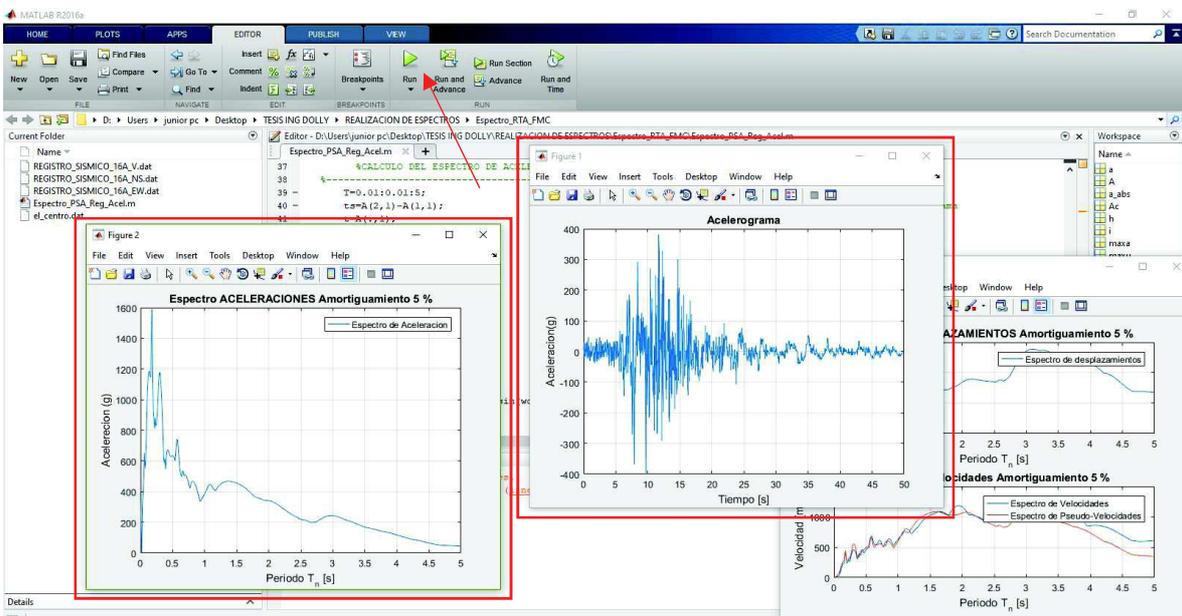


Imagen 23. Ejecución de programa y muestra de resultados. (Fuente: Elaboración propia).

CAPITULO III: RESULTADOS.

3.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Tomando en consideración el tipo de metodología de investigación que, coadyuvante y planificada ha determinado el camino a seguir de la exploración, se corroboran los resultados obtenidos de la misma. Es importante citar que los resultados se han clasificado por tipo de norma usada de forma técnica y se han contrastado para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

3.1.1. ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DEL SISMO DEL 16-A.

Lo resultados obtenidos del cálculo de los espectros de respuesta del sismo del 16-A para la ciudad de Manta dejaron ver grandes picos de aceleraciones en los valores de tiempos desde 0 seg hasta 1seg, en las tres componentes de desplazamientos obtenidos de los registros, considerando la componente V como despreciable en cuestión de alcance de aceleraciones obtenidas siendo estas aproximadamente 4 veces menores a las aceleraciones obtenidas por la componente E-W y 3 veces menores a las obtenidas por la componente N-S, a continuación se presentan los espectros de respuesta de las 3 componentes de desplazamientos para los dos programas de cálculo usados.

Los espectros de respuesta calculados con el programa DEGTRA A4 se expresaron con ayuda del software EXCEL debido a que su interfaz es más amigable y lúdica para mostrar los gráficos pertinentes.

Cabe mencionar que las unidades usadas para expresar los resultados en las gráficas son de (cm/s²) para las ordenadas siendo estas las aceleraciones y de (seg) para las abscisas siendo estas a su vez los periodos.

MATLAB.

- **Componente E-W.**



Gráfico 5. Espectro de aceleraciones componente E-W calculado en MATLAB.
(Fuente: (Ceballos, 2007))

- **Componente N-S.**



Gráfico 6. Espectro de aceleraciones componente N-S calculado en MATLAB.
(Fuente: (Ceballos, 2007))

- **Componente V.**

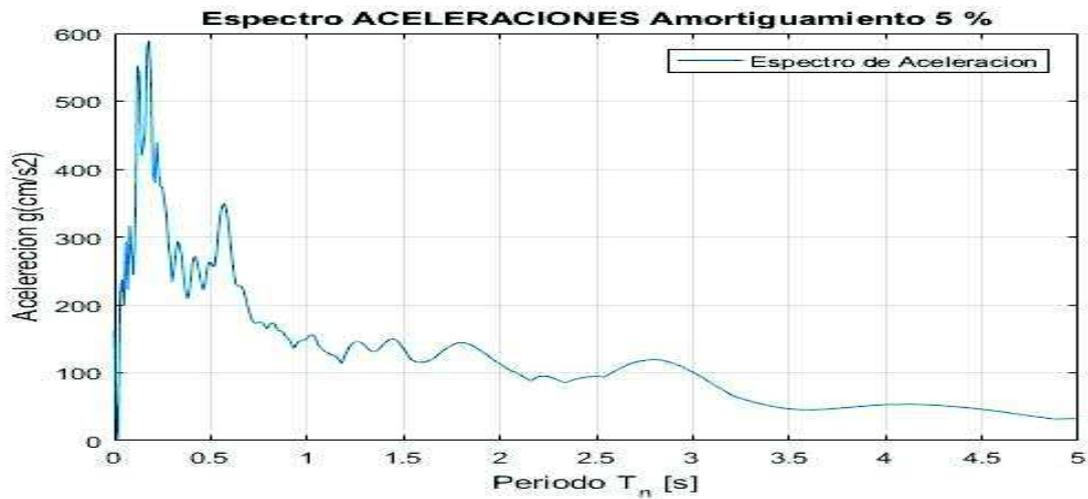


Gráfico 7. Espectro de aceleraciones componente V calculado en MATLAB.
(Fuente: (Ceballos, 2007))

DEGTRA A4.

- **Componente E-W.**



Gráfico 8. Espectro de aceleraciones componente E-W calculado en DEGTRA A4.
(Fuente: Elaboración propia)

- **Componente N-S.**

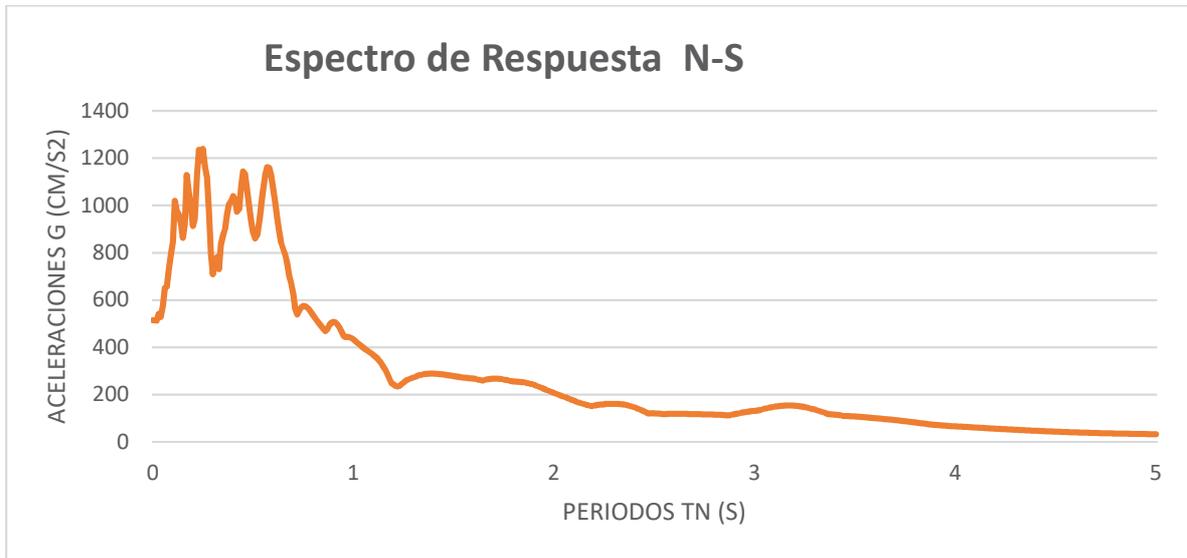


Gráfico 9. Espectro de aceleraciones componente N-S calculado en DEGTRA A4.
(Fuente: Elaboración propia)

- **Componente V.**

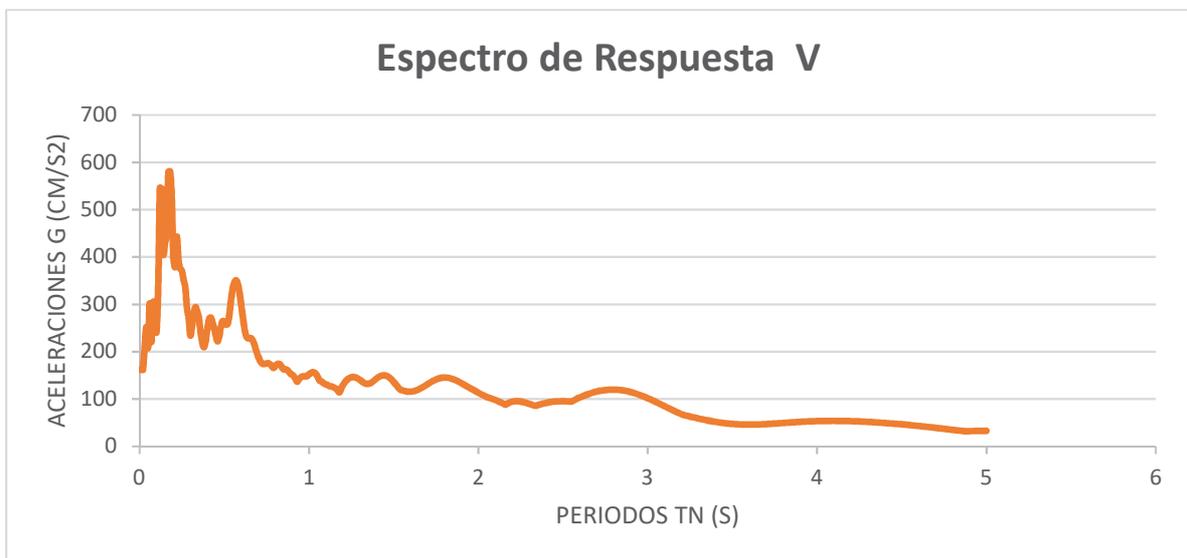


Gráfico 10. Espectro de aceleraciones componente V calculado en DEGTRA A4.
(Fuente: Elaboración propia)

A modo de comprobación de las formas espectrales calculadas del sismo del 16-A, se agruparon en un gráfico por componente calculada y por programa de cálculo usado.

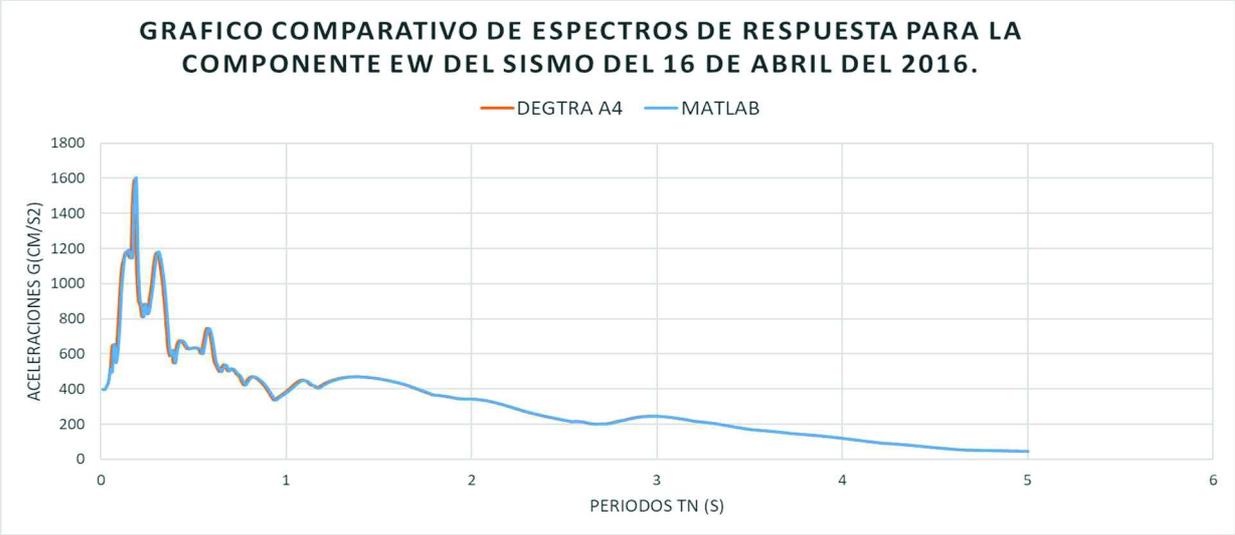


Gráfico 11. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente E-W obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

Las formas espectrales calculadas para la componente EW del sismo del 16-A obtenidas de los softwares MATLAB y DEGTRA A4 se comportan de la misma manera, con mínimas variaciones en relación a las aceleraciones alcanzadas por un programa sobre el otro.

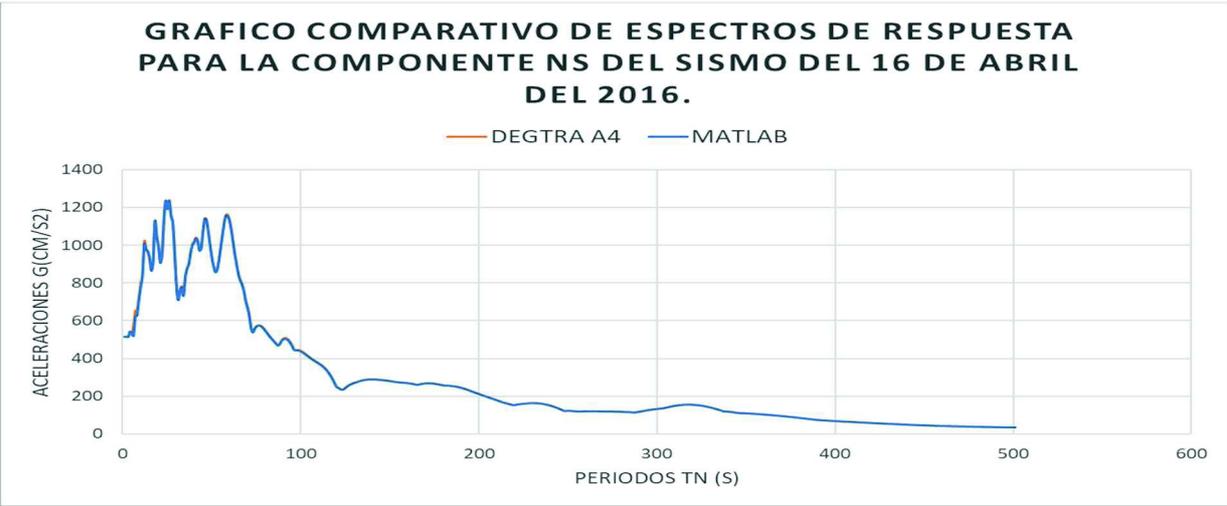


Gráfico 12. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente N-S obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

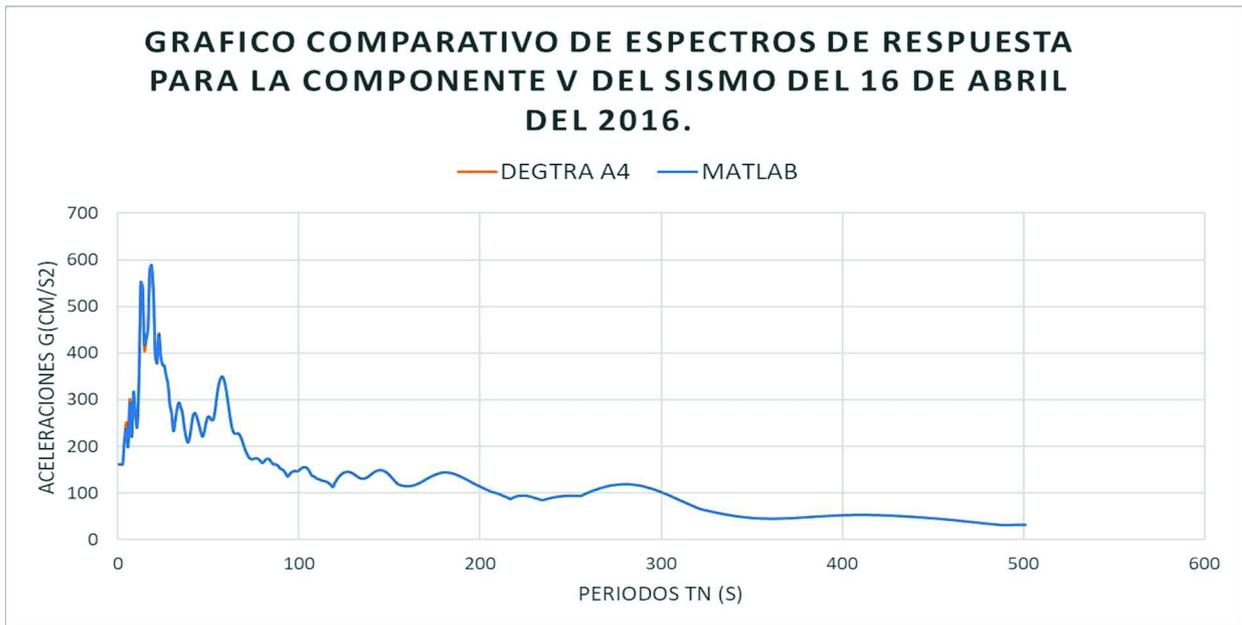


Gráfico 13. Espectros de respuesta de aceleraciones de la componente V obtenidos de MATLAB y DEGTRA A4 del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

Al igual que con el espectro de respuesta para la componente NS, para la componente V del sismo del 16-A, se comportan de la misma forma en ambos programas de cálculo, con mínimas variaciones entre uno y otro, eligiendo para los posteriores cálculos, cualquiera de las formas espectrales obtenidas de los programas MATLAB o DEGTRA A4.

En la siguiente grafica se aprecian cada uno de los espectros de respuesta calculados, y partiendo de la consideración de que en ambos programas de cálculo los espectros son similares en forma y aceleraciones alcanzadas, se cargaron en un gráfico condensado en el que se podrán visualizar mejor las diferencias entre ellos.

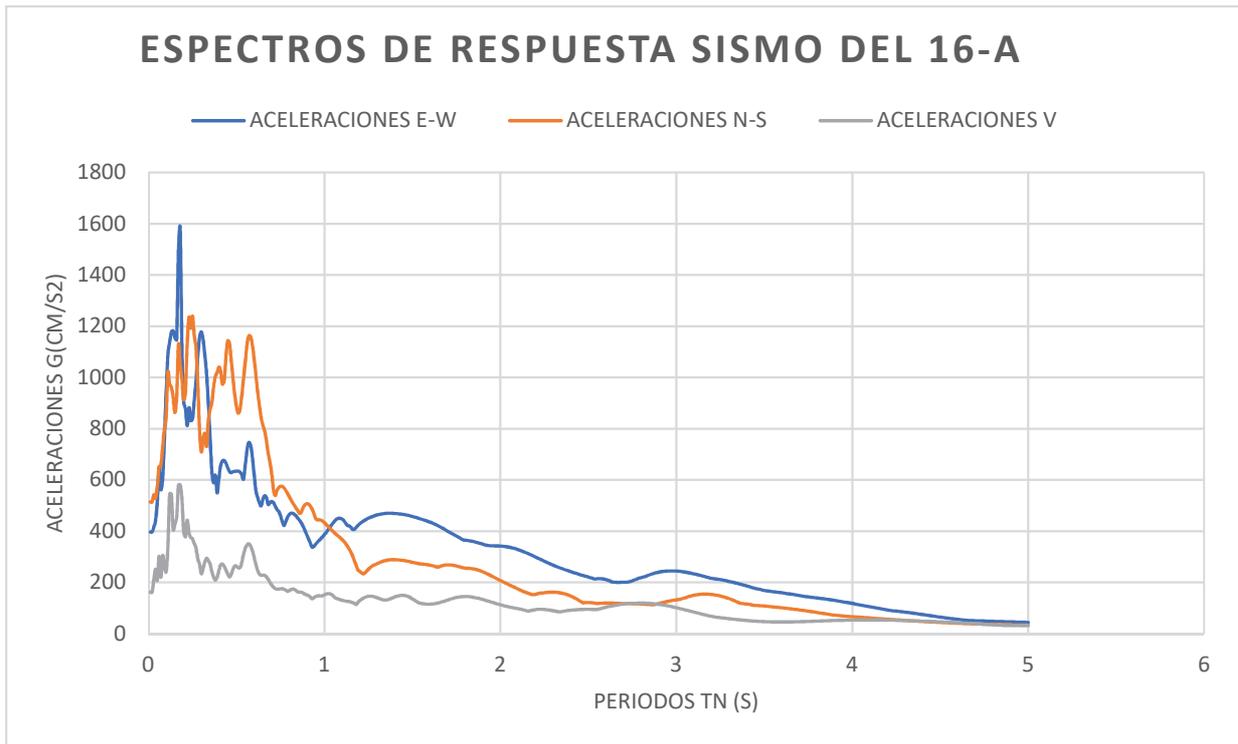


Gráfico 14. Espectros de respuesta de aceleraciones de las componentes E-W, N-S y V del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

En el gráfico 14 se puede apreciar que para la componente E-W las aceleraciones espectrales son las que mayor valor presentan tanto para periodos cortos menores a 0.5seg con una aceleración máxima de 1581.67cm/s², y para periodos largos mayores a 1 seg con aceleraciones de 470.14 cm/s², y las aceleraciones espectrales que menor valor presentan son las correspondientes a la componente V, tanto para periodos cortos menores a 0.5 seg y periodos largos mayores a 1 seg, de 581.02 cm/s² y 143.85 cm/s² respectivamente, mientras que para la componente N-S los valores se encuentran entre las dos componentes anteriores, más tendientes a las aceleraciones de las componentes E-W.

3.1.2. ANÁLISIS DE ESPECTROS DE DISEÑO DE LAS NORMATIVAS.

NEC-SE-DS-15.

- Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A.

Tabla 10. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo A para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO		
A		
CARACTERISTICAS DE SUELO	Z (PGA)	0,6
	Fa	0,9
	Fd	0,9
	Fs	0,75
	n	1,8
	r	1

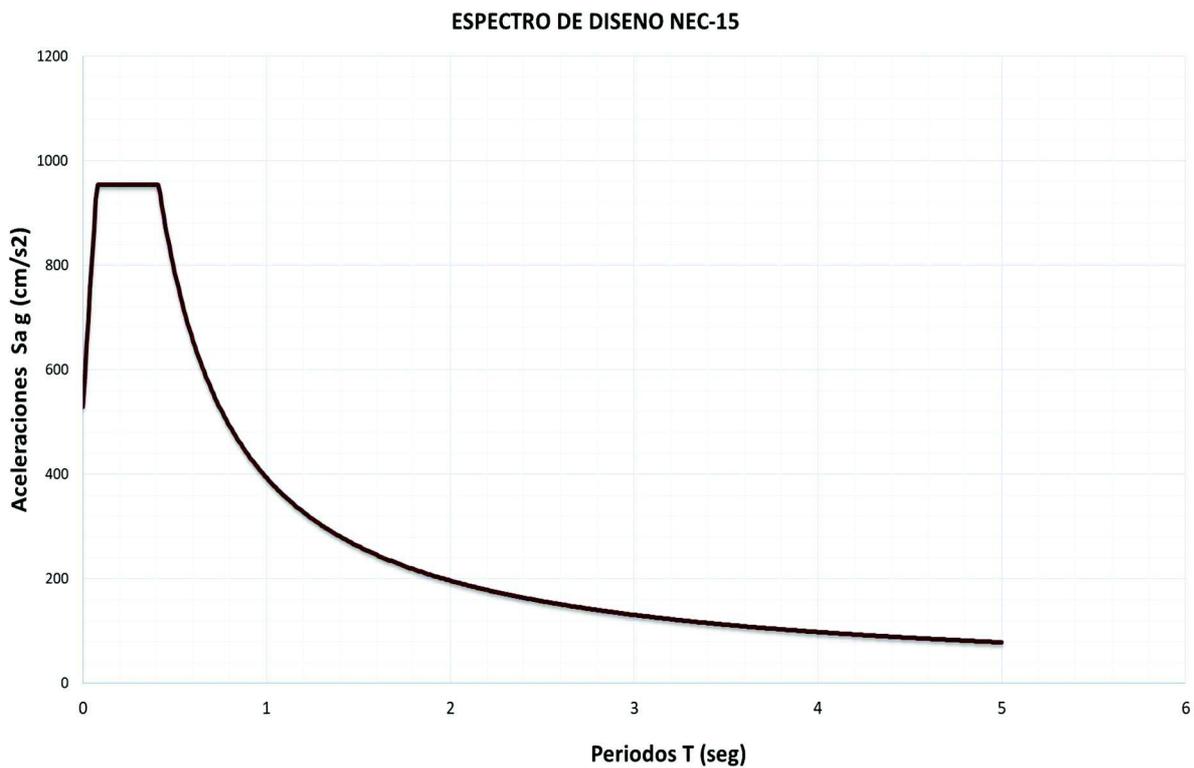


Grafico 15. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmico tipo B.

Tabla 11. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo B para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO		
B		
CARACTERISTICAS DE SUELO	Z (PGA)	0,6
	Fa	1
	Fd	1
	Fs	0,75
	n	1,8
	r	1

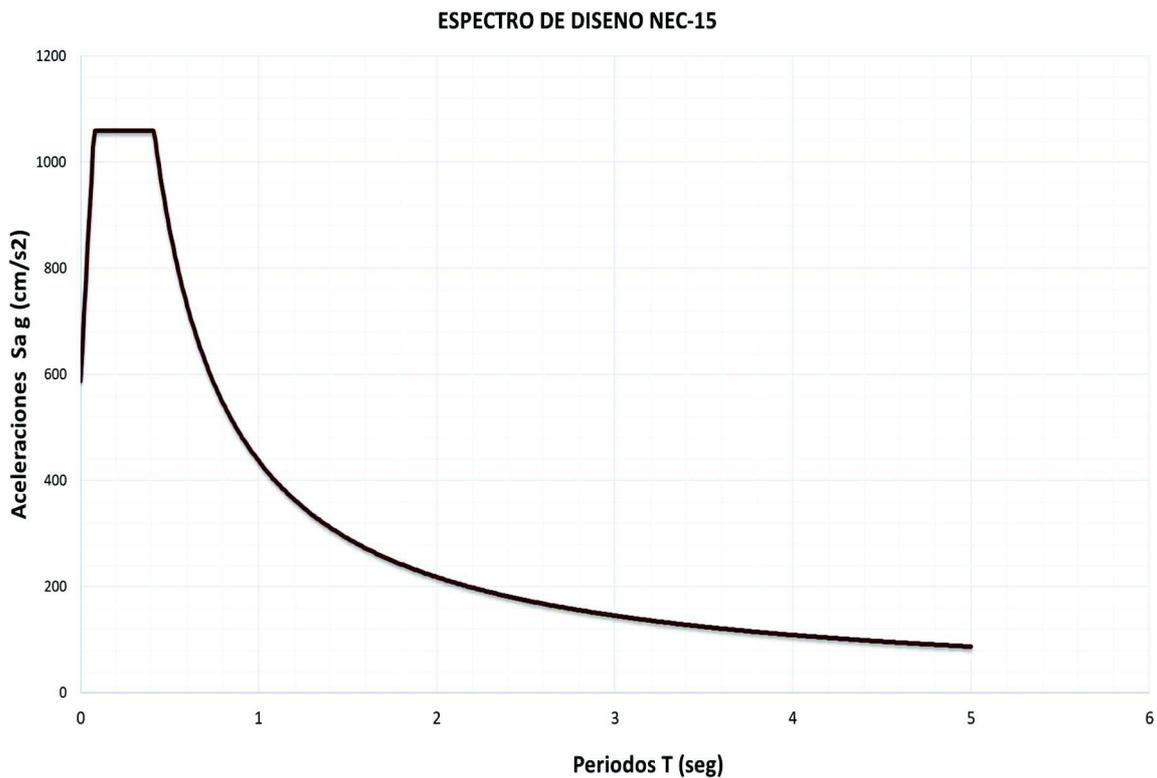


Gráfico 16. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmico tipo C.

Tabla 12. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo C para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO		
C		
CARACTERISTICAS DE SUELO	Z (PGA)	0,6
	Fa	1,18
	Fd	1,06
	Fs	1,23
	n	1,8
	r	1

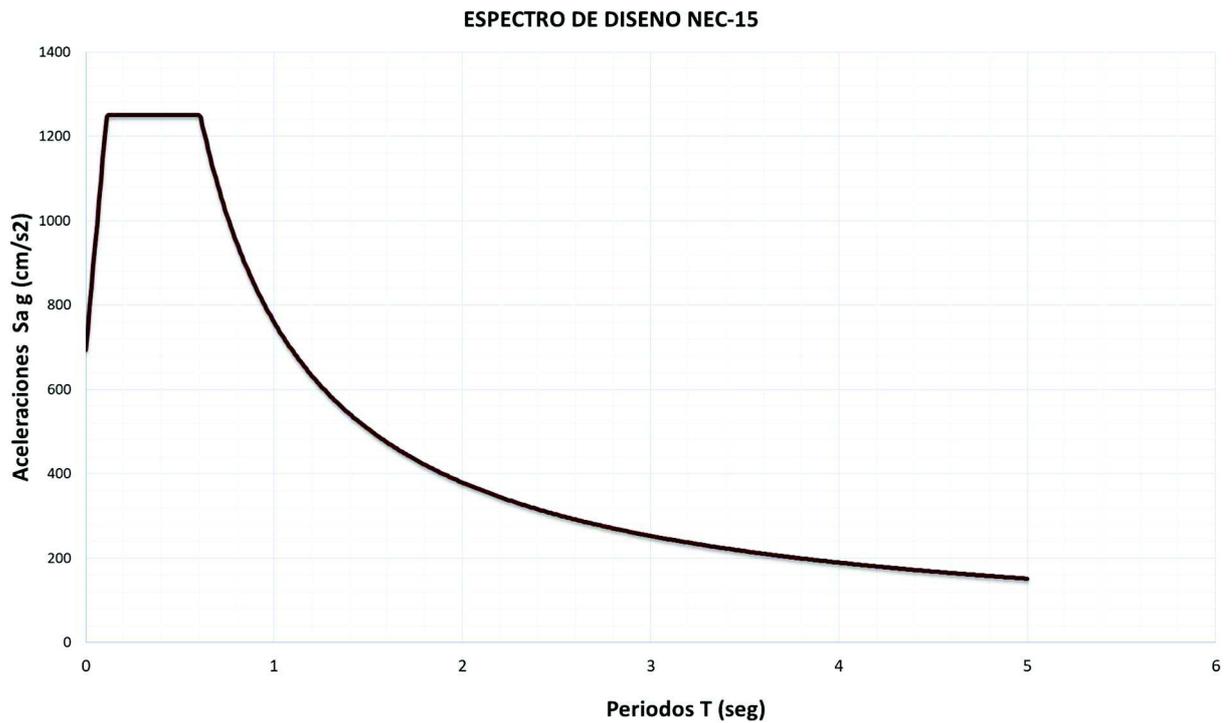


Gráfico 17. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmico tipo D.

Tabla 13. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo D para zona sísmica VI. (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO		
D		
CARACTERISTICAS DE SUELO	Z (PGA)	0,6
	Fa	1,12
	Fd	1,11
	Fs	1,4
	n	1,8
	r	1

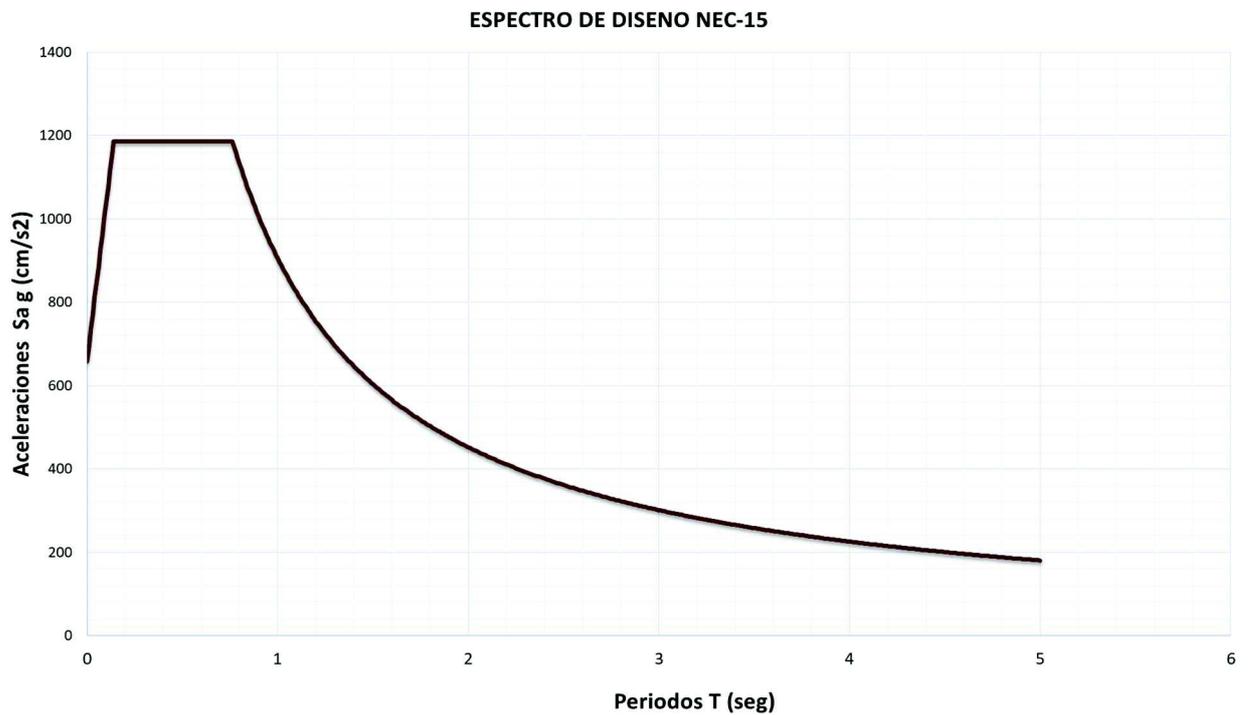


Gráfico 18. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI del NEC-SE-DS-15. (Fuente: Elaboración propia).

ASCE-7 16.

- Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A.

Tabla 14. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo A para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO				
A				
CARACTERISTICAS DEL SUELO	Ss	1,97	SMs	1,576
	S1	0,79	SM1	0,632
	Fa	0,8	SDs	1,05066667
	Fv	0,8	SD1	0,42133333
	TL	4	To	0,08020305
			Ts	0,40101523

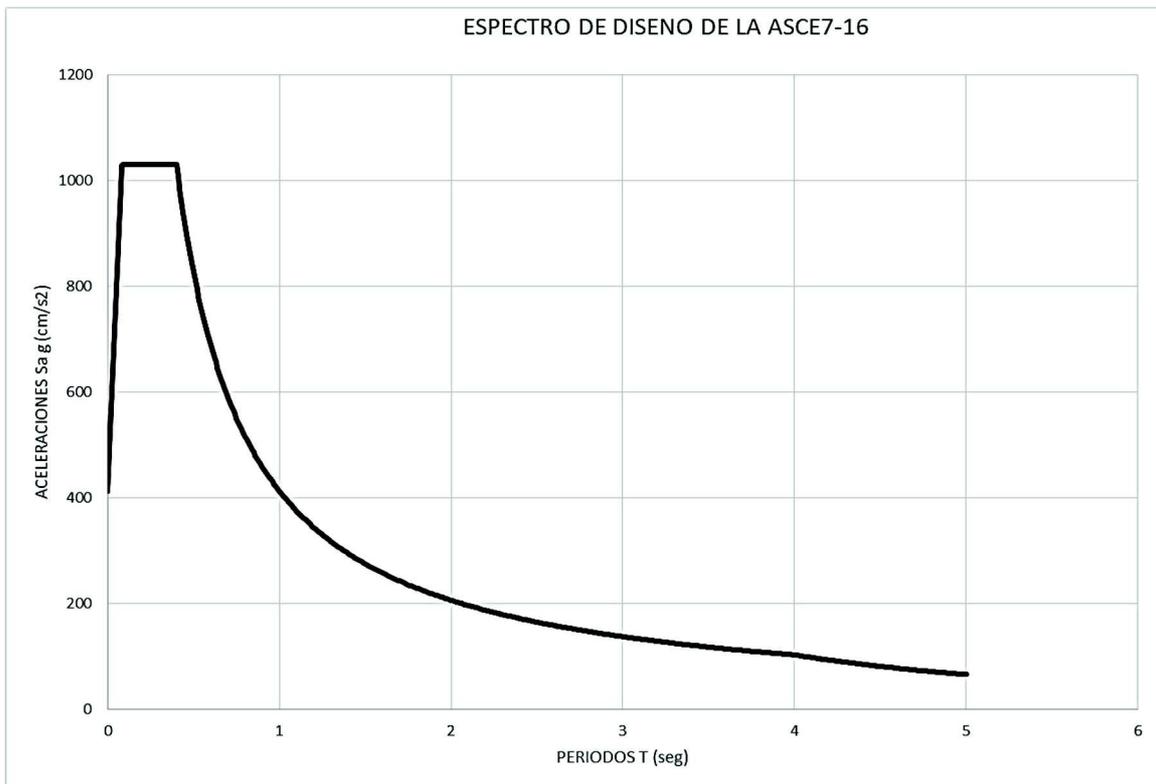


Gráfico 19. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmica tipo B.

Tabla 15. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo B para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO				
B				
CARACTERISTICAS DEL SUELO	Ss	1,97	SMs	1,773
	S1	0,79	SM1	0,632
	Fa	0,9	SDs	1,182
	Fv	0,8	SD1	0,42133333
	TL	4	To	0,0712916
			Ts	0,35645798

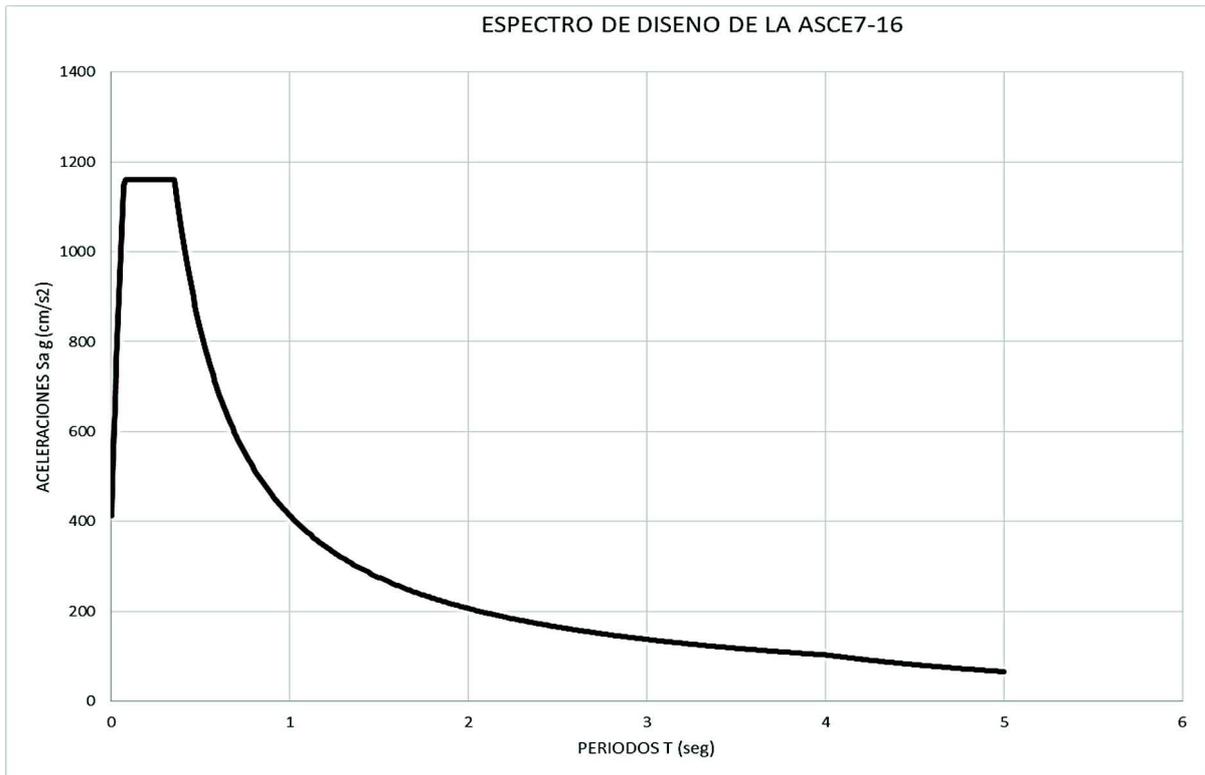


Gráfico 20. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmica tipo C.

Tabla 16. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo C para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO				
C				
CARACTERISTICAS DEL SUELO	Ss	1,97	SMs	2,364
	S1	0,79	SM1	1,106
	Fa	1,2	SDs	1,576
	Fv	1,4	SD1	0,73733333
	TL	4	To	0,09357022
			Ts	0,4678511

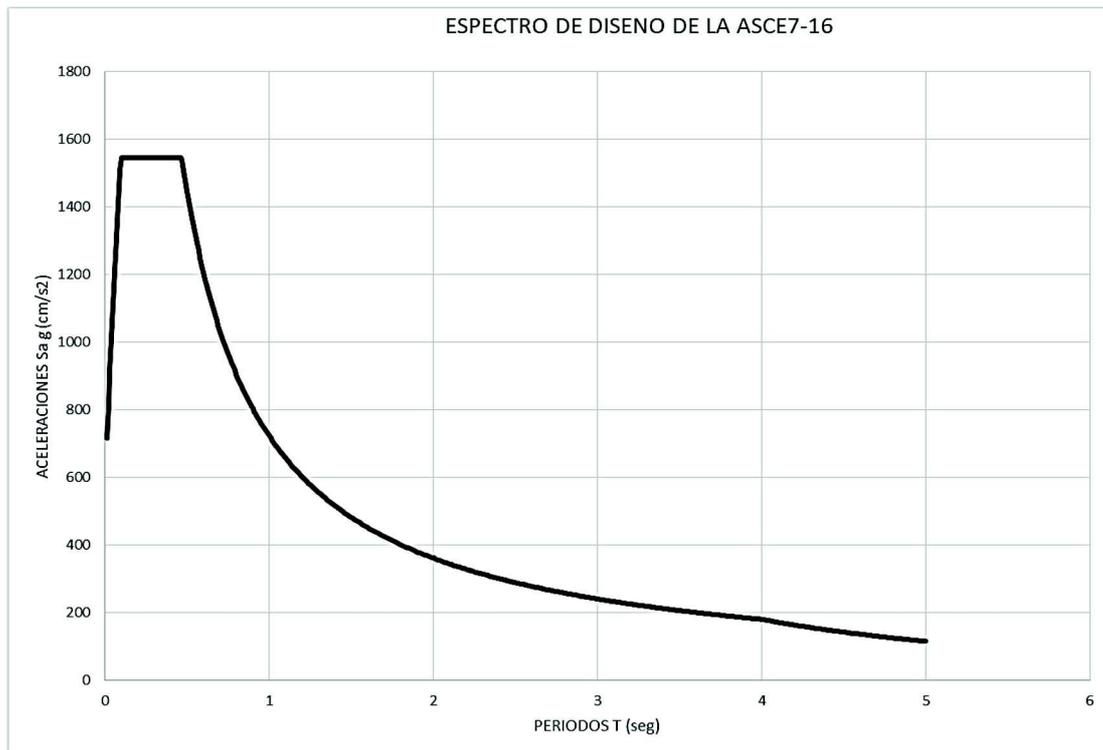


Gráfico 21. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI del ASCE 7-16. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectro de diseño para perfil sísmica tipo D.

Tabla 17. Factores usados para cálculo de espectro de diseño en suelo tipo D para zona sísmica VI (Fuente: elaboración propia).

TIPO DE PERFIL DE SUELO SISMICO				
D				
CARACTERISTICAS DEL SUELO	Ss	1,97	SMs	1,97
	S1	0,79	SM1	1,343
	Fa	1	SDs	1,31333333
	Fv	1,7	SD1	0,89533333
	TL	4	To	0,13634518
			Ts	0,68172589

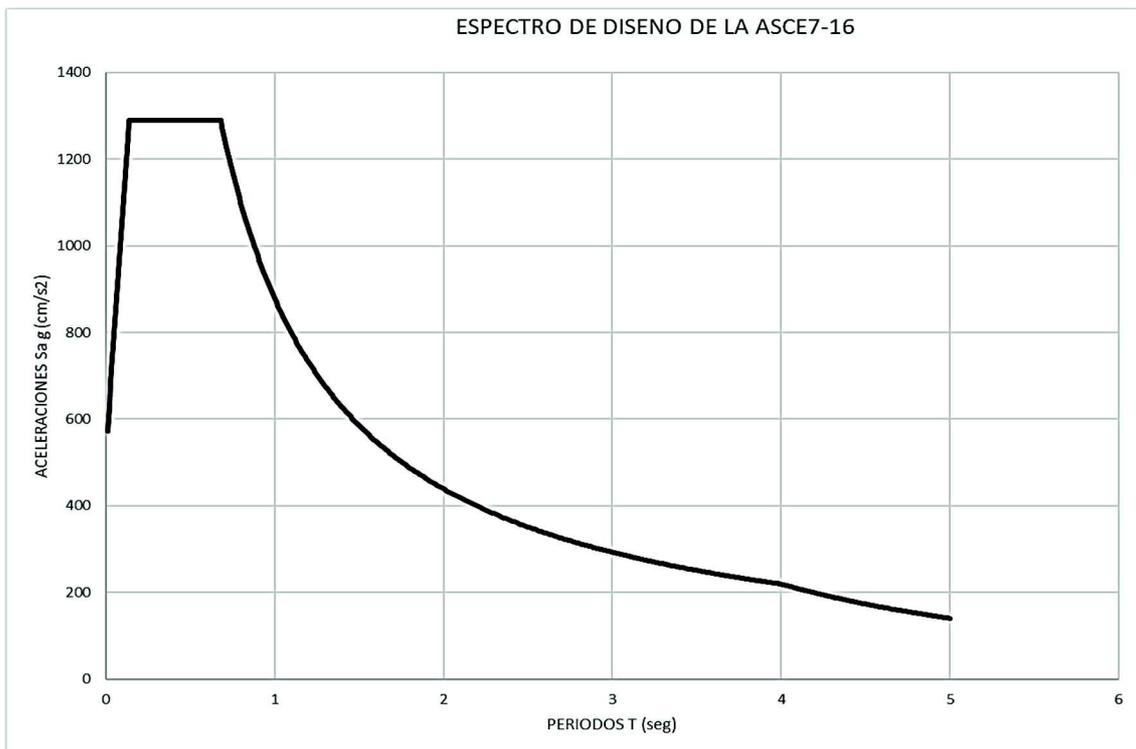


Gráfico 22. Espectro de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI del ASCE 7-16 (Fuente: Elaboración propia).

Los gráficos de espectros de diseño solo se realizaron para suelos A, B, C, D, se evitó el cálculo para el suelo tipo E y F debido a que ambas normativas exigen estudios de comportamiento de los suelos más a fondo para construcciones que se encuentren en suelos de este tipo. Se encontró con la particularidad de que en la normativa ASCE 7-16 los valores correspondientes a F_a y F_v para perfiles sísmicos tipo D no se determinan en su totalidad y se optó por recurrir a la guía NEHRP-2015, en las tablas 11.4.1 y 11.4.2 en donde se determinan estos valores y además se tomaron en consideración las recomendaciones de la sección 11.4.7 para la construcción de espectros de diseño en este tipo de suelos.

Los espectros de diseño calculados son espectros de diseño elástico, no tienen ningún tipo de reducción por algún factor, obteniendo graficas de grandes aceleraciones, así mismo los espectros de respuesta para los que se van a comparar son elásticos. Los espectros de diseño de la norma ASCE 7-16 son más conservadores que los de la NEC-SE-DS debido a que las aceleraciones que resultan de estos son más grandes.

Es interesante determinar que para la zona de periodos largos los espectros de diseño de la ASCE 7-16 se mantienen similares a las curvas de los espectros de diseño de la NEC-SE-DS hasta el periodo TL que es donde empiezan a decaer en relación a los demás.

Los espectros de diseño de ambas normativas se relacionan en los periodos de inicio y fin de la meseta, en los perfiles sísmicos A, B, C y D, cualidad de las formas espectrales ampliamente visibles en las gráficas de espectros realizadas.

3.1.3. COMPARACIÓN DE GRÁFICOS DE ESPECTROS DE DISEÑO DE LAS NORMATIVAS Y ESPECTROS DE RESPUESTA DEL SISMO DEL 16-A.

Se realizaron las comparaciones entre los espectros de diseño de ambas normativas con los espectros de respuesta de las 3 componentes del sismo del 16-A, y por tipo de perfil sísmico, a continuación, se presentan los resultados:

- Espectros de diseño para perfil sísmica tipo A y espectros de respuesta.

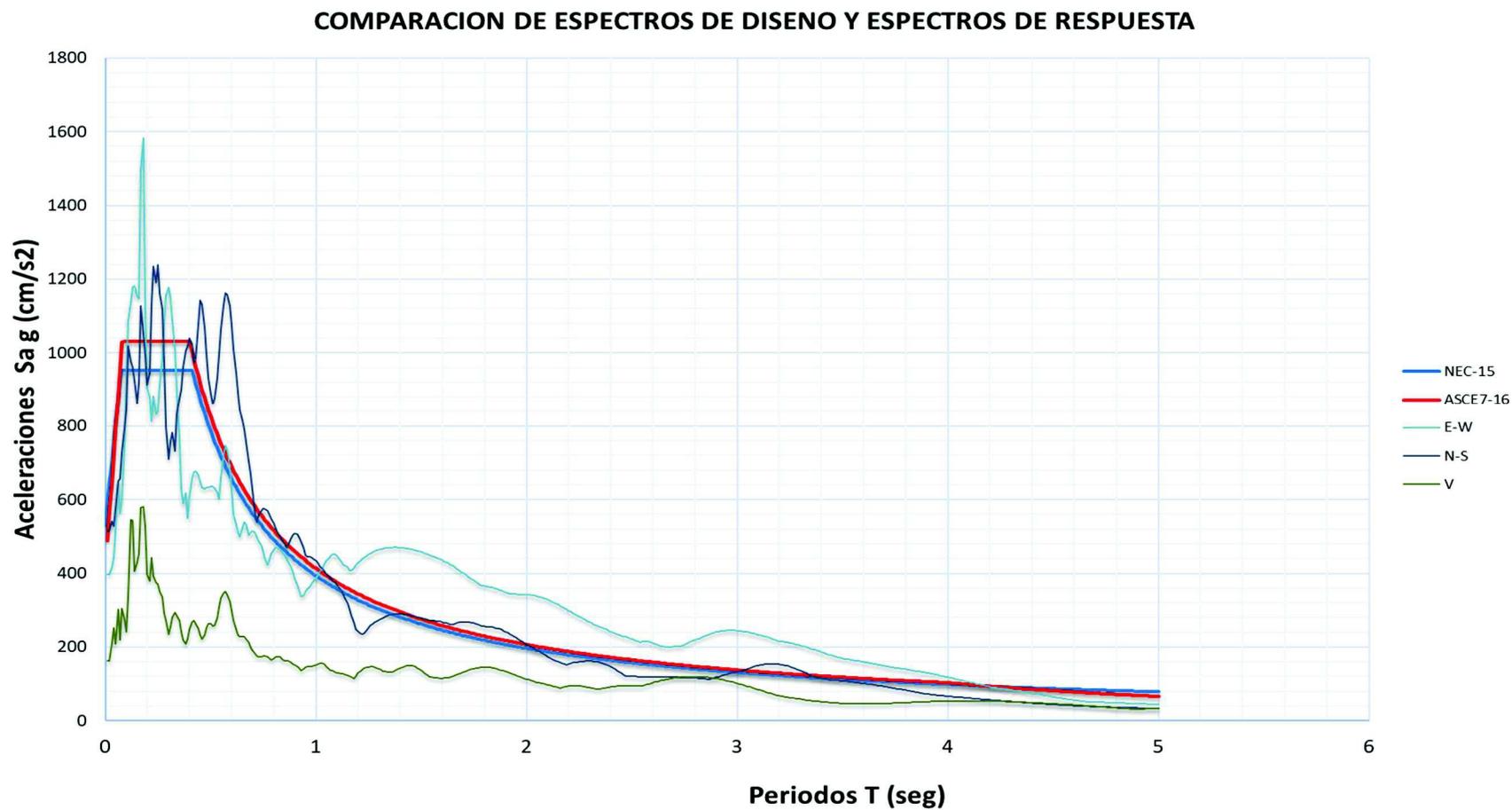


Gráfico 23. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo A en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A.
(Fuente: Elaboración propia).

- Espectros de diseño para perfil sísmica tipo B y espectros de respuesta.

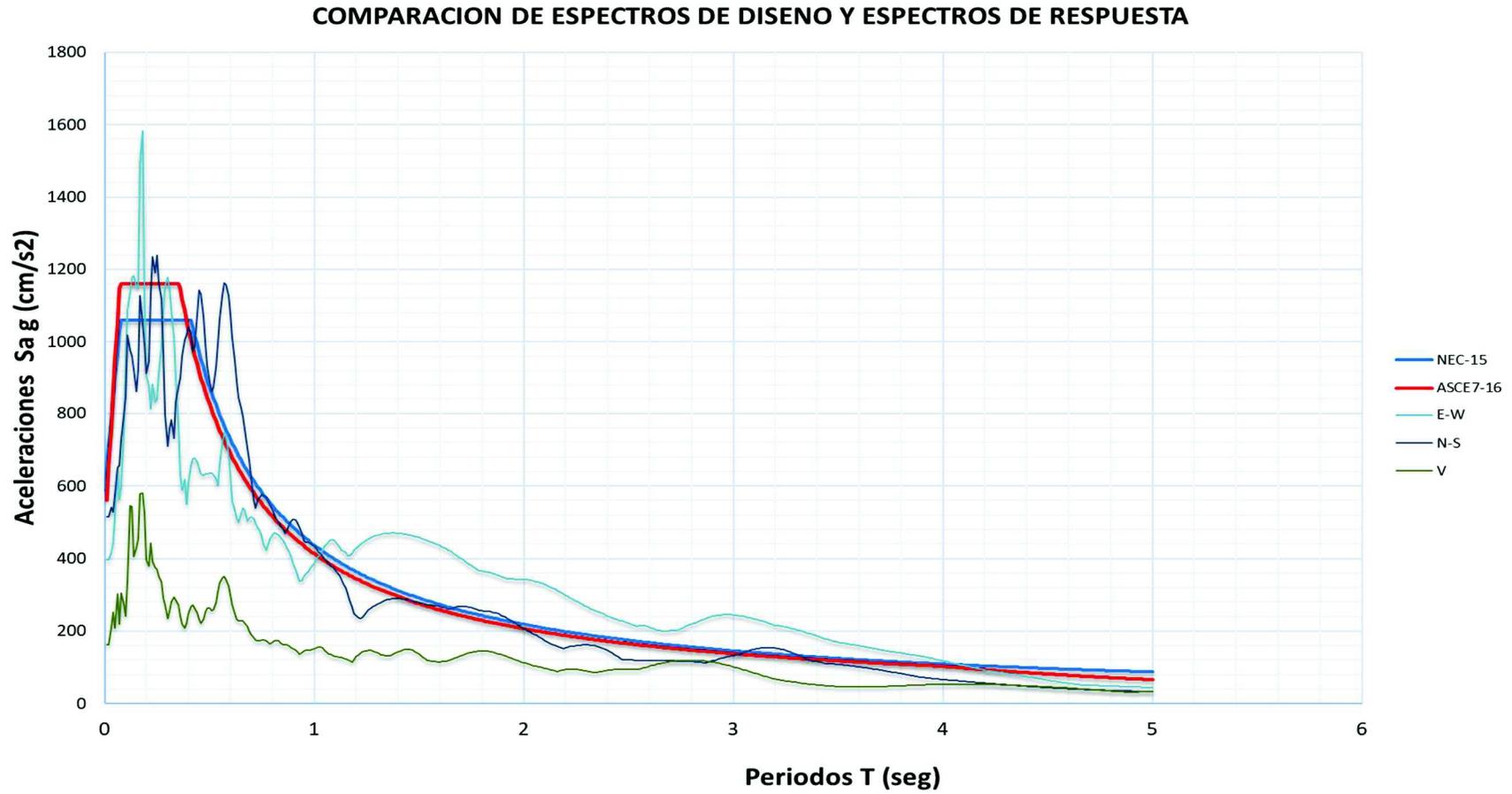


Gráfico 24. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo B en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A.
(Fuente: Elaboración propia).

- Espectros de diseño para perfil sísmico tipo C y espectros de respuesta.

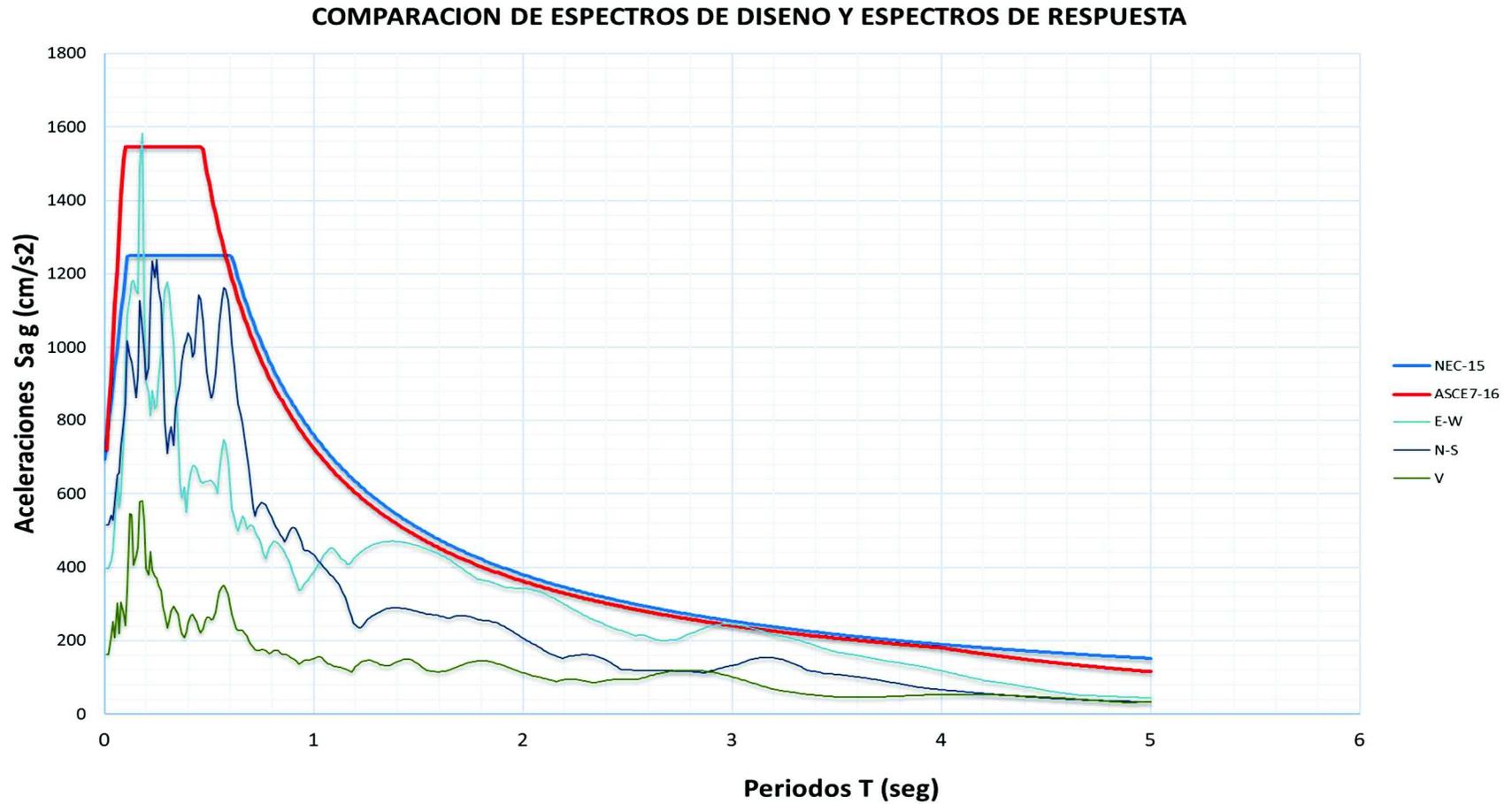


Gráfico 25. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo C en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

- Espectros de diseño para perfil sísmico tipo D y espectros de respuesta.

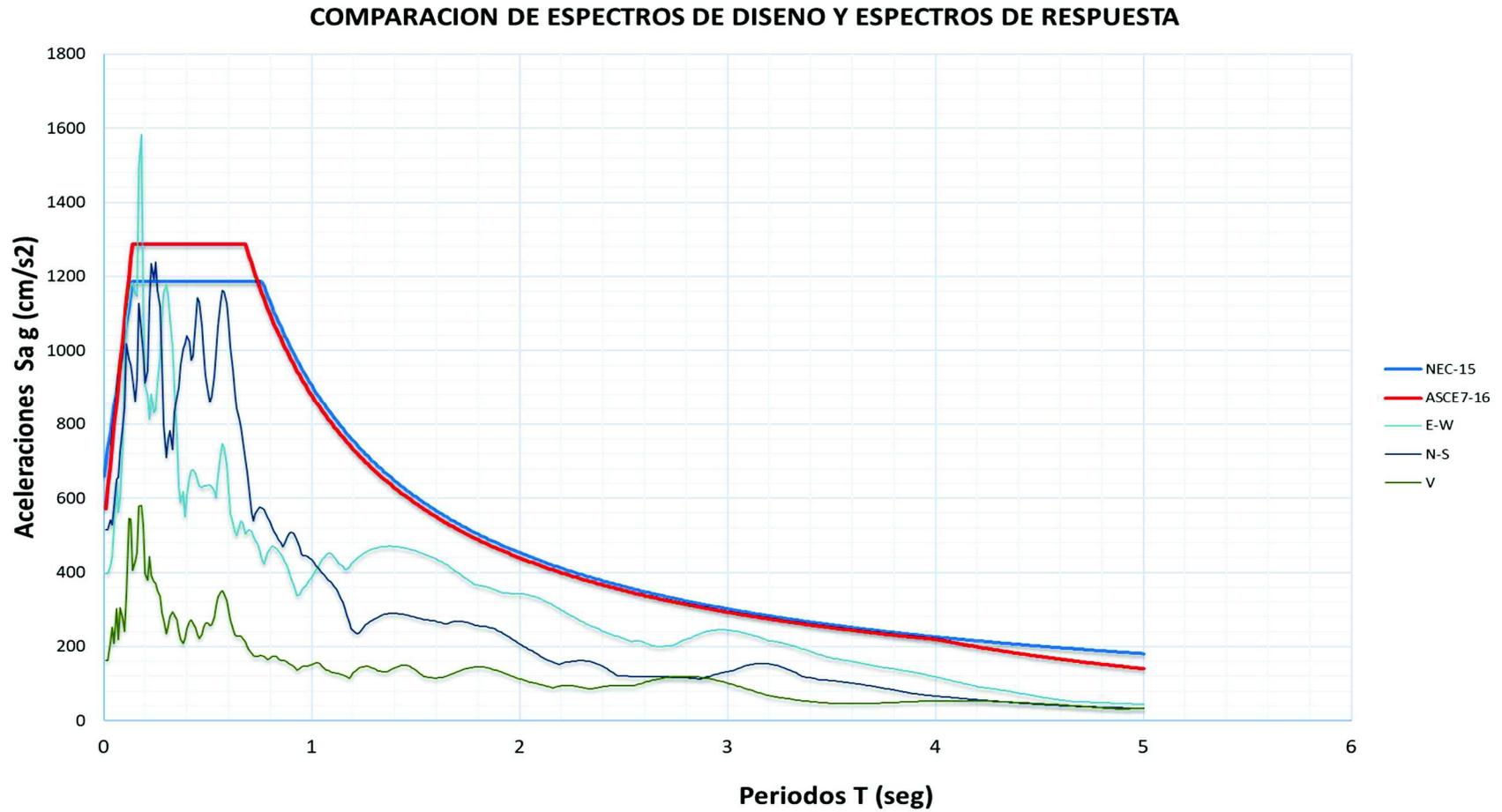


Gráfico 26. Espectros de diseño para perfil sísmico tipo D en zona sísmica VI y espectros de respuesta del sismo del 16-A. (Fuente: Elaboración propia).

- **Comparación de los espectros de diseño en el suelo tipo A.**

En el análisis comparativo realizado entre las normativas NEC-SE-DS con la ASCE 7-16, para el perfil sísmico A, se obtuvo que la normativa ASCE 7-16 es aquella que presenta las mayores aceleraciones espectrales en los periodos cortos desde 0.1 s a 0.4 s, la zona de periodos desde 0.4 s en adelante para ambas normativas es similar a la zona de descenso de las aceleraciones espectrales en el periodo de 0.6 s, es interesante notar que para la zona de periodos mayores a 1seg las aceleraciones alcanzadas por la NEC-SE-DS son menores en todo el recorrido de la figura espectral.

- **Comparación de los espectros de diseño en el suelo tipo B.**

En la comparación realizada entre las normativas en estudio para los espectros de diseño para el perfil sísmico tipo B, se determinó que la normativa ASCE 7-16 presenta los valores de las aceleraciones espectrales más altos en los periodos de 0.1 s hasta los 0.4 s, las aceleraciones alcanzadas por la meseta de la normativa ASCE 7-16, es considerablemente mayor y en la zona en donde se degradan las aceleraciones es menor en relación a la de la NEC-SE-DS, además de que la zona de arranque de las aceleraciones o PGA en el caso de la ASCE 7-16 es antes de la de la normativa NEC-SE-DS.

- **Comparación de los espectros de diseño y respuesta en el suelo tipo C.**

El análisis comparativo de los espectros de diseño de las normativas en estudio para el perfil sísmico tipo C entre los espectros de respuesta del sismo del 16-A, describió que la normativa ASCE 7-16 es aquella que mejor se desempeña en cuanto a las máximas aceleraciones alcanzadas por las componentes E-W y N-S, ubicándose muy cerca de las aceleraciones de E-W y sobrepasando efectivamente las alcanzadas por N-S tanto para periodos cortos como para periodos largos, a diferencia de las aceleraciones espectrales alcanzadas por la normativa NEC-SE-DS que solo se desempeña bien para las aceleraciones espectrales de la componente N-S para periodos largos y periodos cortos, sin embargo se queda muy por debajo del pico máximo de aceleraciones espectrales de la componente E-W en el rango de periodos de 0.1

s a 0.3 s considerando importante mencionar que se encuentra en todo momento por encima de las aceleraciones espectrales para periodos largos de la misma.

- **Comparación de los espectros de diseño en el suelo tipo D.**

La diferenciación entre el espectro de diseño de la NEC-SE-DS y el espectro de diseño de la ASCE 7-16 para el perfil sísmico tipo D, develó que la normativa ASCE 7-16 es aquella que tiene un mayor alcance en aceleraciones en la zona de periodos cortos, se encuentra por encima de las aceleraciones espectrales de las componentes V y N-S en los periodos cortos y largos, sin embargo, no alcanza las máximas aceleraciones espectrales de la componente E-W para los periodos de 0.1 s a 0.3 s, con una mínima diferencia en esto, pero en los periodos largos si se encuentra por encima de las de esta componente, por su parte las aceleraciones alcanzadas por la norma NEC-SE-DS se encuentran ligeramente por debajo de las obtenidas por la componente N-S y ampliamente por debajo de las aceleraciones espectrales de la componente E-W ambos casos en la zona de periodos cortos desde los 0.1 s a 0.4 s, para la zona de periodos largos esta normativa se desempeña de excelente forma.

CONCLUSIONES.

- El análisis de los espectro de diseño de las normativas dio como resultado, conocer que los espectros de diseño de los perfiles sísmicos A y B de las normas NEC-SE-DS y ASCE 7-16 se encuentran por debajo de las aceleraciones de los espectros de respuesta del sismo del 16-A en la ciudad de Manta, mientras que por su parte los espectros de diseño construidos en el perfil sísmico tipo C se desempeñan de mejor forma debido a que el tipo de suelo en el cual se realizó la datación del registro sísmico en Manta es tipo C, lo que asevera que el tipo de suelo incide en la datación de los registros sísmicos, identificando a su vez que aquellas construcciones con periodos fundamentales cortos calculadas bajo las consideraciones de la NEC-SE-DS, no lograrían resistir aceleraciones como las alcanzadas en el sismo del 16-A, mientras que por su parte aquellas que hayan considerado la ASCE 7-16 hubieran tenido un mejor comportamiento.
- Al diseñar el espectro de respuesta del sismo del 16-A, la componente del espectro de respuesta del sismo del 16-A con las aceleraciones más fuertes en la zona de periodos cortos es la E-W, para lo cual en ninguno de los casos la normativa NEC-SE-DS logra simular bien estas aceleraciones presenciadas, y el caso más grave se da en el espectro del suelo tipo E, en donde las aceleraciones de la zona de periodos cortos es apenas la mitad de las máximas aceleraciones del espectro de respuesta. El sismo del 16-A presenta grandes picos de aceleraciones en la zona de periodos cortos, que comparados con los espectros de diseño de la NEC-SE-DS, no logran satisfacer estas demandas de aceleraciones en ningún tipo de perfil sísmico.
- Los espectros de diseño de las normativas NEC-SE-DS y ASCE 7-16 son relativamente similares, en los suelos A, B, C y D, en las aceleraciones de periodos largos, sin embargo, en la zona de periodos cortos las aceleraciones alcanzadas por la ASCE 7-16 son mayores en todos los casos. El espectro de diseño que simuló de mejor manera los picos máximos de aceleraciones del sismo del 16-A, fue el generado en el perfil sísmico tipo C por la normativa ASCE 7-16, debido a que presenta el valor de 1546.056cm/s^2 su meseta, frente

al valor de 1581.669cm/s^2 alcanzado por el espectro de respuesta del sismo del 16-A en su componente E-W.

- La NEC-SE-DS tiene sus bases en la ASCE 7-16, sin embargo, no se aproxima a ella en cuanto a coeficientes propios y demás estudios que avalan la veracidad y exactitud en su aplicación. Aplicar la NEC-SE-DS sin un análisis profundo supone un riesgo para la seguridad de las estructuras y de las personas que vayan a hacer uso de estas.

RECOMENDACIONES.

- Se insta a que se realicen futuros estudios similares que busquen determinar el grado de pertinencia de la normativa NEC-SE-DS con las condiciones sísmicas de la ciudad de Manta, y como resultado el perfeccionamiento de la misma para garantizar la seguridad en cálculos estructurales que tomen como referencia ésta normativa.
- Se recomienda ampliar la red de acelerógrafos existente en el país, a fin de poseer un catálogo más surtido de registros sísmicos para desarrollar estudios que tengan que ver con la sismo-resistencia en el Ecuador, a fin de mejorar la NEC-SE-DS-15.
- Se deben revisar las consideraciones de cálculo y realizar estudios acerca del factor de zona sísmica “Z” de la normativa NEC-SE-DS, a fin de que éste se amplíe de acuerdo a criterios más estrictos y no de consideración del calculista como se lo hace actualmente.
- Si se desea llevar a cabo un cálculo sismo-resistente más conservador se recomienda utilizar los espectros de diseño elástico de la normativa ASCE 7-16, debido a que estos emulan mejor el comportamiento de los suelos debido a un determinado sismo, esta normativa inclusive nos da los valores de S_s y S_1 para 0.2s y 1.0s para gran parte del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, método y diseño de Investigación. *International Journal of Good Conscience.*, 187-197.
- Aguiar, R. (2008). Análisis sísmico de edificios. Quito, Pichincha, Ecuador: Centro de investigaciones científicas.
- Aguiar, R. (2018). Diseño Sismoresistente de edificaciones. Quito, Pichincha, Ecuador : Escuela superior politécnica del ejército.
- Aguiar, R., & Ortiz, D. (2017). Análisis sísmico de un edificio de 12 pisos de la ciudad de Manta considerando interacción suelo estructura. Manta: Revista internacional de ingeniería de estructuras.
- Angulo, J., & Azadeno, W. (2013). Propuesta para la modificación del espectro elástico. Lima - Peru: Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Argudo, J. (30 de 11 de 2018). Jaime Argudo. Obtenido de <http://jaimeargudo.com/>
- ASCE 7-16. (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, 889.
- Borg, W. R. (1989). Educational research: An introduction. New York: Longman.
- CAMICON & MIDUVI. (2014). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Obtenido de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec:http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico.pdf>
- Cano, L. (2013). Determinación de los espectros de respuesta sísmica para los suelos de la ciudad de Pereira utilizando análisis unidimensionales. Colombia Revista. Investigaciones, 2.

- Ceballos, M. (2007). Formas espectrales de respuesta para las 3 componentes de desplazamiento. Cauca: Universidad del Cauca de Colombia.
- Chunga, D. K. (2016). Estudio de geología de superficie y subsuelo para el “estudio geotécnico y de riesgo sísmico de la zona Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015”. Manta: MIDUVI.
- Comite ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construccion. (2014.). Norma ecuatoriana de la construccion. MIDUVI.
- Crisafulli, F., & Villafañe, E. (2002). Espectros de respuesta y de diseno. Universidad Nacional de Cuyo.
- Glass, G. V., & y Hopkins, K. D. (1984). Statistical methods in education and psychology. Prentice-Hall (Englewood Cliffs, N.J.).
- Jaramillo, G., & Rocha, M. (2013). Comparación entre la norma ecuatoriana de la construccion 2011 y la norma american society of civil engineers 07-10 para diseño sismoresistente:corte basal. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Krathwohl, D. R. (1993). Methods of educational and social science research: An integrated approach. New York: Waveland Press.
- Lagos, P. (2015). Estudio de los registros sísmicos existentes en el Ecuador, caso red sísmica del Austro y su incidencia en el análisis estructural, vulnerabilidad y desempeño sísmico de edificios de mediana altura. Universidad Técnica de Ambato, 1-277.
- NEC-SE-DS. (2015). Norma ecuatoriana de la construccion cargas sismicas diseno sismoresistente. Quito: Normativa Ecuatoriana de la Contruccion.
- Nocquet, J. (2016). Supercycle at the Ecuadorian subduction zone revealed after the 2016 Pedernales earthquake. Nature Geoscience Journal., 145-149.

- Noriega, M. (2016). “Definición y estudio comparativo de espectros para diseño sísmico de la norma NEC-SE-DS con otras normas internacionales. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1.
- Sauter, F. (1989). *Introducción a la sismología*. . Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Silva, A. (2011). Comparación entre espectros de sitio y espectros de diseño para las zonas sísmicas II, IIIa y IIIb del Distrito Federal. Ciudad de Mexico, Mexico: UNAM.
- Tejada, A. (2011). *Análisis Dinámico de Estructuras en el dominio de la frecuencia*. Madrid: Universidad de Madrid.
- Tiguila, E. K. (2012). *Procedimiento de cálculo para la elaboración de espectros*. San Carlos-Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.