



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA
RESPUESTA SÍSMICA DE
EDIFICACIONES DE CONCRETO
ARMADO, APLICANDO LOS MÉTODOS
DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS
NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y
COVENIN 1756:2018 CON LA ASCE 7-16.**

Autores: Dias A., Stephany A.
Valera M., Carla F.

Urb. Yuma II, Calle N°3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Máster) – Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA
DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, APLICANDO
LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS
NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y COVENIN 1756:2018 CON LA
ASCE 7-16.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Dias A., Stephany A.
C.I.: 23.849.902
Valera M., Carla F.
C.I.: 23.904.155
Tutor: Ing. Joel Curreri
C.I.: 17.338.221

San Diego, febrero de 2020



FI-L-008-2019-3CR(TG)

Valencia, 04 de diciembre de 2019

Ciudadanos:
Días A, Stephany A.
23.849.902
Valera M, Carla F.
23.904.155
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 03-2019 de fecha 06-09-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, APLICANDO LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y COVENIN 1756:2018 CON LA ASCE 7-16** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Joel Curreri C.I: 17.338.221 como Tutor Académico que las asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).



Scanned with
CamScanner



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Profesor. Joel Curreri, portador de la cédula de identidad N° 17.338.221, hace constar que ha leído el Proyecto del Trabajo de Grado, presentado por los ciudadanos: Stephany Dias y Carla Valera, portadores de la cédula de identidad N° 23.849.902 y 23.904.155 respectivamente, titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, APLICANDO LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y COVENIN 1756:2018 CON LA ASCE 7-16**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, y acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

En San Diego, mes de febrero del año dos mil veinte.

Firma

**Ing. Joel Curreri
C.I.: 17.338.221**



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, febrero de 2020

ACTA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, APLICANDO LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y COVENIN 1756:2018 CON LA ASCE 7-16.** Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Joel Curreri
Tutor Académico


Firma

13-02-2020
Fecha

Alicia de Pizzella
Tutor Metodológico


Firma

13-2-20
Fecha

DEDICATORIA

Primeramente quiero dedicarles este trabajo de grado a mis padres, Alexander Dias y María Alejandra Álvarez, ya que ellos son mis pilares y las personas que me han apoyado en todo de manera incondicional a lo largo de mi vida.

A mi hermana Valery Dias, por enseñarme que en la vida no existen límites para lograr las cosas que nos proponemos, por siempre estar preocupada por mí y porque ella cree que soy su modelo a seguir pero en realidad ella es mi inspiración para ser mejor cada día.

A mis abuelos, los que aún me acompañan físicamente y los que me iluminan en el camino desde el cielo, Manuel Dias, Obdulia Rodríguez, Carmen Rivero, Egilda Guedez y Salomón Álvarez.

A mi familia en general y a todos aquellos amigos cercanos que se han convertido parte de ella.

A mis amigas y hermanas de la vida, María Alejandra Pérez, Romina Rubortone, Marie Claudette López, María Fernanda Álvarez e Isabella Arévalo, quienes han estado dándome su apoyo incondicional sin importar la distancia.

A mis compañeros de la Promoción VIII de Ingeniería Civil, especialmente a los que se convirtieron en mi familia en Valencia, Pasquale Bisogno, Rafael Mieres, Ariana Villamizar, Luisanna Zanni, María Silvia, Mariel Angulo y Carlos Quintana.

A mi compañera de tesis, hermana, y amiga de toda la vida Carla Valera, mi apoyo constante en todo momento de mi vida y mi carrera.

A mi gran amiga Andrea Alvarado, que me ha ayudado en todo momento desde el quinto semestre que nos volvimos inseparables, y quién pasó de ser una compañera de estudio a una hermana de la vida.

Stephany Dias

DEDICATORIA

En primer lugar, mi motor, mi familia, Carlos Valera, Emilia Montilla y Carem Valera, quienes, con mucha paciencia y cariño, me han apoyado y dado aliento en los momentos de dificultad.

A mis abuelos, por estar siempre en cada paso que doy.

A Haideé A., y María José H., por brindarme su cariño y contagiarme de su alegría en los momentos más estresantes.

A mis amigas y hermanas, Alejandra D., y Mary C., por ser de gran apoyo para mí durante toda mi carrera y por estar en los momentos en donde más las necesitaba.

A mi grupo de estudio, mis amigas y hermanas, Stephany D., y Andrea A., quienes han sido mi fuerza y apoyo durante toda mi carrera, por compartir conmigo los momentos más estresantes y también todas las alegrías durante la realización del trabajo de grado.

Carla Valera

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Dios, por acompañarnos e iluminarnos en el camino, llenándonos de fuerza para superar todos los obstáculos hasta culminar nuestros estudios de Ingeniería Civil.

A nuestra casa de estudio, la Universidad José Antonio Páez, que a pesar de todas las adversidades lucha cada día por ofrecer la mejor educación al futuro del país.

A todos los profesores que formaron parte de nuestro camino en la universidad y que dejaron una huella imborrable en nuestro aprendizaje, aquellos que nos inspiran a ser mejores profesionales cada día, entre los que se encuentran el Ing. Freddy Lanza, el Ing. Alejandro Pocaterra, el Ing. Manuel Figueira, el Ing. Ángel Medina y especialmente a nuestro tutor, el Ing. Joel Curreri, por su tiempo y dedicación de este trabajo de grado.

Y finalmente, a nuestros familiares, amigos y compañeros que formaron parte de cada etapa de nuestra carrera.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICA	xix
RESUMEN INFORMATIVO	xxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I. EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación de la Investigación.....	7
1.5 Alcance y Limitaciones.....	7
II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2 Bases Teóricas.....	12
2.2.1 Origen de la Tierra.....	12
2.2.2 Tectónica de Placas	12
2.2.3 Sismos.....	13
2.2.3.1 Componentes de un sismo.....	14
2.2.3.2 Ondas Sísmicas.....	14
2.2.4 Medición de los Sismos.....	15
2.2.4.1 Intensidad de un Sismo.....	15
2.2.4.2 Magnitud de un Sismo.....	16
2.2.5 Sismicidad a Nivel Mundial.....	16
2.2.6 Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)	17

2.2.6.1	Zonificación Sísmica.....	17
2.2.6.2	Formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación.....	19
2.2.6.3	Clasificación de las edificaciones.....	20
2.2.6.4	Factor de Reducción de Respuesta (R)	23
2.2.6.5	Coficiente Sísmico para Edificaciones.....	24
2.2.6.6	Espectros de Diseño Sísmico.....	26
2.2.6.7	Análisis Estático (Método Estático Equivalente)...	27
2.2.6.8	Control de desplazamientos.....	29
2.2.7	Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela).....	30
2.2.7.1	Clasificación de las edificaciones.....	30
2.2.7.2	Amenaza Sísmica.....	35
2.2.7.3	Tipo de Sismos y Periodos Medios de Retorno.....	37
2.2.7.4	Perfil y Parámetros Geotécnicos.....	39
2.2.7.5	Factores de Sitio.....	43
2.2.7.6	Factores de desempeño estructural.....	44
2.2.7.7	Espectro de Diseño.....	49
2.2.7.8	Coficiente Sísmico (C).....	52
2.2.7.9	Método de Análisis Estático Elástico.....	52
2.2.7.10	Distribución de Fuerzas Sísmicas.....	56
2.2.7.11	Rigideces de los Elementos Estructurales.....	57
2.2.7.12	Control de Derivas y Desplazamientos.....	59
2.2.8	Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16.....	60
2.2.8.1	Zonificación y Amenaza Sísmica.....	60
2.2.8.2	Clase de Sitio.....	63
2.2.8.3	Espectro de Respuesta.....	65
2.2.8.4	Categoría de Riesgo y Factor de Importancia.....	66
2.2.8.5	Categoría de Diseño Sísmico.....	67
2.2.8.6	Método Estático Equivalente.....	69
2.2.8.7	Distribución de las Fuerzas Sísmicas Verticales....	73
2.2.8.8	Distribución de las Fuerzas Horizontales.....	74
2.2.8.9	Inercias Agrietadas.....	74
2.2.8.10	Derivas y Desplazamientos de Planta.....	75
2.3	Bases Legales.....	76
2.4	Definición de Términos Básicos.....	78

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de Investigación.....	79
-----	----------------------------	----

3.2	Diseño de la Investigación.....	80
3.3	Nivel de la Investigación.....	80
3.4	Población y Muestra.....	82
	3.4.1 Población.....	82
	3.4.2 Muestra.....	82
3.5	Técnica de la Recolección de Datos.....	82
3.6	Fases Metodológicas de la Investigación.....	84

IV. RESULTADOS

4.1	Descripción mediante cuadros comparativos de las nomenclaturas, filosofías de diseño, parámetros sísmicos y limitaciones.....	94
4.2	Implementación de procesos para la obtención de espectros de diseño mediante la aplicación de los métodos de análisis sísmico estático.....	113
	4.2.1 Diagrama de flujo Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela).....	114
	4.2.2 Diagrama de flujo Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela).....	124
	4.2.3 Diagrama de flujo Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16.....	136
4.3	Ejecución de un análisis comparativo de los espectros de diseño para distintos parámetros sísmicos.....	143
4.4	Análisis de cuadros y gráficos comparativos sobre la respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado, al aplicar los Métodos de Análisis Estático.....	166
	4.4.1 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela).....	166
	4.4.2 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela).....	172
	4.4.3 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16.....	181
	4.4.4 Caso de Estudio – Método Análisis Estático para condiciones de aceleraciones espectrales más desfavorables y suelo Tipo B.....	194

CONCLUSIONES.....	221
RECOMENDACIONES.....	225
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Parámetros Sísmicos.....	86
2	Especificaciones de los perfiles geotécnicos.....	87
3	Especificación de los materiales.....	88
4	Cargas gravitacionales de entrepiso.....	89
5	Cargas gravitacionales de techo.....	89
6	Edificaciones de los Casos de Estudio.....	89
7	Especificaciones de la losa nervada.....	90
8	Dimensiones de vigas y columnas para cada caso de estudio.....	92
9	Simbología de los Diagramas de Flujo.....	114
10	Períodos y aceleraciones espectrales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.....	187
11	Períodos y aceleraciones espectrales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.....	187
12	Fuerzas Cortantes Basales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.....	188
13	Fuerzas Cortantes Basales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.....	188
14	Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.....	188
15	Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.....	189
16	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 3 Niveles.....	190
17	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 3 Niveles.....	190
18	Desplazamientos de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 3 Niveles.....	190
19	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 6 Niveles.....	191
20	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 6 Niveles.....	191
21	Desplazamiento de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 6 Niveles.....	192
22	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 9 Niveles.....	192
23	Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 9 Niveles.....	193

24	Desplazamiento de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 9 Niveles.....	194
25	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	198
26	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	198
27	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).....	205
28	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).....	205
29	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	214
30	Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	215

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Tectónica de Placas.....	13
2	Componentes de un Sismo.....	14
3	Ondas Sísmicas.....	15
4	Mapa de Situación de los Principales Cinturones Sísmicos.....	17
5	Mapa de Zonificación Sísmica en Venezuela.....	18
6	Tabla de Valores de aceleración horizontal (A_0).....	19
7	Tabla de	

35	Tabla de Valores de C_t para determinar T_a	56
36	Tabla de Momentos de inercia de secciones agrietadas.....	58
37	Tabla de Valores Límites de la relación de deriva total para el Sismo de Diseño.....	60
38	Categoría de Riesgo para el Máximo Sismo Considerado con un período de $0.2s_g$ (S_s).....	61
39	Categoría de Riesgo para el Máximo Sismo Considerado con un período de $1s_g$ (S_s).....	62
40	Mapa de Período de Transición T_L en segundos.....	62
41	Tabla de Clase de Sitio.....	63
42	Tabla de Coeficiente de Sitio para períodos cortos (F_a).....	64
43	Tabla de Coeficiente de Sitio para períodos largos (F_v).....	64
44	Tabla de Categoría de Riesgo.....	67
45	Tabla de Factor de Importancia (I_e).....	67
46	Tabla de Categoría de Diseño Sísmico basado en S_{DS}	67
47	Tabla de Categoría de Diseño Sísmico basado en S_{D1}	68
48	Tabla de Factor de Modificación de Respuesta.....	72
49	Tabla de Coeficiente de límite superior para un período calculado (C_u).....	72
50	Tabla de Valores aproximados de los parámetros de período C_t y $x..$	73
51	Tabla de Momento de inercia y área de la sección transversal permitidos para el análisis elástico al nivel de carga mayorada.....	75
52	Tabla de Valores Límites de Derivas.....	76
53	Obtención del coeficiente A_0 , hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	166
54	de cálculo COVENIN 1756:2001.....	167
55	1756:2001.....	167
56	Selección de Tipo de Estructura, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	168
57	Selección de Nivel de Diseño, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	168
58	Selección de factor de reducción de respuesta “R”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	169
59	Definición de parámetros característicos del espectro, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	169
60	Período Estimado T_a , hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	170
61	1756:2001.....	170

62	Cálculo fuerza cortante basal “V”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	171
63	Cálculo fuerza lateral concentrada “Ft”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	171
64	Distribución de fuerzas laterales, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.....	172
65	Valores de A ₀ , A ₁ y T _L , hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	173
66	Clasificación según el uso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018...	173
67	Factor de Importancia “ I_e ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018...	174
68	Clasificación según Tipo Estructural, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	174
69	Clase de Sitio, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	175
70	Factores de Sitio, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	175
71	Factores de Condición Topográfica, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	176
72	Factores de profundidad del basamento rocoso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	176
73	177
74	Factor de irregularidad “F _i ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.	177
75	Coefficiente de períodos largos, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	178
76	Período Estimado “T _a ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	179
77	COVENIN 1756:2018.....	179
78	Cálculo de fuerza lateral concentrada “Ft”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	180
79	Distribución de fuerzas laterales por piso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.....	180
80	Selección de Tipo de Suelo, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	181
81	Coefficientes de sitio para períodos cortos y largos, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	182
82	Valores característicos del espectro, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	182
83	Método Estático Equivalente, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	183
84	Cálculo de Período Aproximado “T _a ”, hoja de cálculo ASCE 7-16...	183
85	Determinación del factor de modificación de respuesta “R”, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	184
86	Determinación del factor de importancia “I _e ” y el coeficiente “C _s ”, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	185

87	Verificación del coeficiente de respuesta sísmica “ C_s ”, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	185
88	Determinación del coeficiente “ C_s ”, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	186
89	Distribución de las fuerzas laterales, hoja de cálculo ASCE 7-16.....	186

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos de roca sana.....	144
2	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos duros o densos.....	145
3	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos blandos arcillosos.....	146
4	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con valores más desfavorables de Aceleración Espectral.....	147
5	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo D con valores más desfavorables de Aceleración Espectral.....	148
6	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo E con valores menos desfavorables de Aceleración Espectral.....	149
7	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo B con valores iguales de Aceleración Espectral.....	150
8	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con valores iguales de Aceleración Espectral.....	151
9	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.....	152
10	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.....	153
11	Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.....	154
12	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos de roca sana.....	155
13	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos duros o densos.....	156
14	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos blandos o arcillosos.....	157
15	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C....	158
16	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo D....	159
17	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo E....	160
18	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo B con igual aceleración espectral.....	161
19	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con igual aceleración espectral.....	162
20	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C	

	con diferentes valores de aceleración espectral.....	163
21	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con diferentes valores de aceleración espectral.....	164
22	Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con diferentes valores de aceleración espectral.....	165
23	Cortantes Basales por edificación para la Norma COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.....	195
24	Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	196
25	Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	197
26	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	199
27	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	200
28	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	201
29	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).....	203
30	Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).....	204
31	Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).....	205
32	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).....	206
33	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).....	207
34	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).....	208
35	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).....	208
36	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).....	209
37	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).....	210

38	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).....	211
39	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).....	212
40	Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	213
41	Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	214
42	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	216
43	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).....	217
44	Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	218
45	Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).....	219



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE
EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, APLICANDO LOS MÉTODOS
DE ANÁLISIS ESTÁTICO SEGÚN LAS NORMAS: COVENIN 1756:2001 Y
COVENIN 1756:2018 CON LA ASCE 7-16.**

Autores: Dias A., Stephany A.

Valera M., Carla F.

Tutor: Ing. Joel Curreri

Fecha: septiembre, 2019

RESUMEN

Con base en la gran cantidad de exigencias que debe cumplir una edificación para brindar la seguridad y bienestar que se precisa, además de la constante ocurrencia de fenómenos como los sismos, los cuales causan que las personas experimenten situaciones de alto riesgo y posibles catástrofes, se crean las normas de sismorresistencia para luego de la realización estudios pertinentes, establecer metodologías y criterios destinados a ser aplicados para diseñar estructuras que cumplan con los comportamientos y demandas de seguridad necesarias. En Venezuela existe un escaso desarrollo de investigaciones en este ámbito, por tal razón la Norma actual presenta una desactualización importante, ya que propone metodologías de análisis sísmico de las cuales se obtienen comportamientos de las edificaciones que se consideran alejados de las filosofías que rigen la sismorresistencia actualmente. Atendiendo a la necesidad de reformar éstas metodologías y criterios, se propone un análisis comparativo del comportamiento sísmico de edificaciones aporricadas regulares de concreto armado, aplicando los métodos de análisis estático que rigen la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001, su propuesta de actualización la Norma Venezolana COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16. Dadas las condiciones que anteceden, la presente investigación se considera proyecto factible, con un diseño experimental y documental, y un nivel descriptivo y explicativo.

Descriptores: Sismo, Análisis comparativo, Análisis sísmico, Normas sísmicas, Comportamiento sísmico.

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la población exige notables inversiones en la creación y mantenimiento de infraestructuras, esto se debe a que la mayoría de todas estas obras son utilizadas diariamente por los ciudadanos, por ende, son diseñadas con la finalidad de facilitar el desarrollo humano en todos los ámbitos. Este es el caso principal de las edificaciones, ya que las mismas se crearon para cubrir necesidades de todo tipo y sus usos son variados, van desde hospitales, entes educativos, oficinas, hasta viviendas residenciales, entre otros.

Dadas las condiciones que anteceden, es importante recalcar que el hombre no posee la capacidad de controlar los fenómenos naturales que ocurren en el planeta tierra, los cuales dependiendo de la manera en que se manifiesten podría poner en peligro a la humanidad y ocasionar graves catástrofes, uno de éstos fenómenos que posee altos niveles de peligrosidad son los sismos.

Ante la preocupante ocurrencia de este tipo de movimientos bruscos en la corteza terrestre, el hombre en la incesante búsqueda de mejorar su calidad de vida y brindar ambientes de seguridad ante estas situaciones, ha logrado desarrollar una rama de la Ingeniería apoyado de la mano de la ciencia y la tecnología, que se dedica a estudiar estos fenómenos y brinda metodologías y criterios de diseño para que las estructuras sean lo suficientemente capaces de resistir cualquier eventualidad.

Los ingenieros a nivel mundial que se han dedicado a realizar los estudios de sismorresistencia, han logrado desarrollar normas y códigos que se adaptan a las condiciones de sitio que experimenta cada país. De manera que lograron establecer criterios mínimos de diseño, para que las estructuras sean eficientes y seguras ante cualquier acción sísmica y propicie la menor cantidad de pérdidas tanto humanas como económicas.

A pesar de los grandes avances tecnológicos, existe un déficit en la realización de dichas normas, ya que algunos países no cuentan con este tipo de tecnologías tan

avanzadas que permiten determinar la probabilidad de ocurrencia de desastres sísmicos por ser subdesarrollados en su mayoría. Esto ha creado una falta de seguimiento institucional, provocando la desactualización de las normativas sísmicas, lo cual resulta bastante grave ya que a nivel mundial es un tema de alto riesgo para el desarrollo de la vida humana.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, la presente investigación tiene como prioridad, establecer una comparación entre el comportamiento sísmico de las edificaciones aporticadas regulares de concreto armado, cuando son aplicados los métodos de análisis estático propuestos por las normas venezolanas y la norma americana, la cual es reconocida a nivel mundial y posee un nivel de actualización superior respecto a la normativa nacional.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El origen del planeta tierra se rige por una gran cantidad de teorías que actualmente no han sido del todo comprobadas. A pesar de la incesante búsqueda de una explicación concreta, aún no se ha generado un entendimiento completo de cómo realmente se formó el planeta que alberga a millones de seres vivos en condiciones óptimas para su desarrollo y existencia.

A pesar de no constar con una teoría definitiva, estudios de evidencias geológicas y sismológicas, han logrado determinar que la tierra está conformada por un núcleo interno y un manto compuesto cuya capa externa delgada se conoce como corteza. La solidificación de la corteza permite demarcar el comienzo de la historia geológica del planeta, ya que mediante estudios geocronológicos se logra estimar que la tierra se originó hace unos 4.500 millones de años.

Si bien es cierto que la tierra se considera dinámica, ya que se encuentra en constante movimiento, surge el concepto de tectónica de placas. En esta teoría, se establece que la superficie más externa del planeta se encuentra fragmentada en una serie de placas, éstas producen movimientos que a pesar de ser independientes, son relativos de una con respecto a la otra y generan límites definidos por procesos de sismicidad y vulcanismo intenso.

De las consideraciones anteriores se desprende que, el movimiento relativo entre las placas tectónicas puede originar que grandes esfuerzos se acumulen en los límites establecidos y se deformen en el medio. Esto permitirá que se concentre tanta energía como el límite elástico del medio lo permita, hasta que finalmente se fracture,

ocasionando que se desplace repentinamente y de origen a lo que se conoce como un sismo.

Los sismos son vibraciones de la corteza terrestre que se originan por la liberación repentina de energía, esto se debe a causa de distintos fenómenos que impulsan el movimiento o deslizamiento brusco a lo largo de las placas que conforman la corteza. En lo que se refiere a dichos fenómenos, pueden ser a causa de actividad volcánica, por la caída de techos de cavernas subterráneas y por explosiones. Sin embargo el origen más común radica en los desplazamientos de origen tectónico. (Bazán, E. y Meli, R., 2002).

Como consecuencia de esto, se infiere que el comportamiento de los sismos incide directamente en la corteza terrestre, la cual es la base donde se desarrollan los seres humanos. Es importante hacer referencia que el hombre en su incesante búsqueda por mejorar su calidad de vida, ha avanzado notablemente en el auge de la ciencia y la tecnología, y con el pasar de los años ha logrado desarrollar de la mano de la Ingeniería distintas obras destinadas a abastecer la necesidad del hombre.

Tomando en consideración estos efectos de la naturaleza, dichas obras se ven afectadas directamente por la constante interacción de ambas partes. En vista de que dichas vibraciones en el terreno pueden causar efectos negativos en las edificaciones, al punto de reducir su vulnerabilidad y afectar el comportamiento para el cual fueron diseñadas, surgen las normas sismorresistentes propuestas por las distintas asociaciones de ingenieros a nivel mundial. Creadas con la finalidad de establecer requisitos y criterios mínimos, mediante metodologías para el diseño de estructuras que sean eficientes y seguras ante cualquier acción sísmica y propicie la menor cantidad de pérdidas tanto humanas como económicas.

Por consiguiente, estas metodologías estudian varios comportamientos de las edificaciones. Entre esos estudios se encuentra el análisis estático, el cual abarca las fuerzas traslacionales y los efectos torsionales, así como también los dinámicos y los no lineales. Según Arcay, M. y Suárez, V. (2019) “Estos se aplican de acuerdo a

limitaciones normativas que consideran aspectos como: Condiciones geotécnicas, características de la edificación, regularidad estructural, cargas aplicadas, sistema resistente a sismos, utilidad de la edificación, nivel de exigencia para el análisis y diseño estructural, entre otros”.

Dadas las condiciones que anteceden, y haciendo referencia a la influencia de los constantes movimientos de las placas tectónicas sobre los continentes, específicamente en el americano, los países que lo conforman han adaptado sus normas en base a los riesgos sísmicos que puedan existir en cada una de sus zonas.

Resulta oportuno hacer referencia que Venezuela es un país de Latinoamérica que no cuenta con normas sismorresistentes actualizadas, los estudios más recientes datan del año 2001 en donde se creó la Norma Sismorresistente Venezolana (COVENIN 1756:2001), actualmente ingenieros venezolanos se encuentran realizando estudios y propuestas para mejorar metodologías y criterios de diseño de dicha norma debido a recientes afectaciones causadas por sismos y es por ello que surge la Norma Sismorresistente Venezolana (COVENIN 1756:2018). Dicha actualización se encuentra basada en la Norma ASCE 7-16 la cual es una norma realizada por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles y ha sido tan acertada que a nivel mundial es reconocida y adaptada por muchos países.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se propone la comparación de respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado aplicando los métodos de análisis estáticos según las normas: COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16. Con la finalidad de determinar las diferencias existentes (nomenclatura, filosofía, parámetros sísmicos, espectros de diseño y métodos de análisis) y determinar las fortalezas y debilidades de la norma venezolana.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son las diferencias en la respuesta sísmica de las edificaciones de concreto armado, al aplicar los métodos de análisis estático según las normas: COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Comparar la respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado aplicando el método de análisis estático equivalente según las normas: COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16.

1.3.2 Objetivos Específicos

Describir mediante cuadros comparativos las nomenclaturas, filosofías de diseño, parámetros sísmicos y limitaciones según lo establecido en las normas: COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Implementar procesos para la obtención de espectros de diseño, mediante la aplicación del método de análisis sísmico estático, establecido en las normas: COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Ejecutar un análisis comparativo de los espectros de diseño para distintos parámetros sísmicos según lo establecido en las normas: COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Analizar cuadros y gráficos comparativos sobre la respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado, al aplicar el Método de Análisis Estático establecidos en las normas: COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

1.4 Justificación de la Investigación

Venezuela desde hace algunos años se encuentra experimentando un gran nivel de atraso, principalmente en la generación de investigaciones e información para la realización normas que van dirigidas a la construcción civil. En los últimos años, en el país se han presenciado ciertos eventos sísmicos que conllevan a reconsiderar la norma en vigencia de sismorresistencia en Venezuela conocida como COVENIN 1756:2001 ya que su data tiene 18 años sin ser actualizada, es por ello que surge la propuesta de la norma COVENIN 1756:2018 en donde se plantean algunas reformas para mejorar los análisis establecidos para que la construcción de edificaciones sea más segura y eficiente.

Inicialmente, la problemática que conlleva a proponer el presente proyecto de investigación, permitirá establecer comparaciones entre metodologías y criterios de diseño, con la finalidad de determinar la respuesta sísmica en edificaciones de concreto armado aplicando los principios de análisis estático (fuerzas traslacionales y efectos torsionales) entre lo establecido por las normas venezolanas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16 la cual es una norma reconocida y que ha sido adaptada por varios países a nivel mundial por lo concreto y acertados que son sus estudios.

1.5 Alcance y Limitaciones

El presente trabajo de investigación plantea la comparación de la respuesta sísmica de las edificaciones, cuando es aplicado el método de análisis estático como lo establecen las normas: COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Este estudio se encuentra limitado al área del análisis sismorresistente de edificaciones, empleando el método de análisis estático equivalente. Debido a limitaciones de tiempo, la comparación planteada se centra en la evaluación de edificaciones aporricadas regulares de concreto armado con el mismo número de pórticos en ambos ejes (X y Y), de uso residencial con baja ocupación, con alturas

variables (3, 6 y 9 niveles). Empleado un análisis estático, el cual será realizado a través de gráficas y cuadros donde se podrán observar aspectos como la dispersión entre cortantes basales, distribución de fuerzas laterales por nivel o derivas de piso para cada caso en estudio. Además, no se considerarán aspectos como la excentricidad accidental de la estructura, o la incidencia de esfuerzos de tipo torsional. Cabe destacar que la investigación no tomará en cuenta el diseño sismorresistente de los elementos estructurales en las edificaciones analizadas.

En cuanto a las condiciones sísmicas y geotécnicas a evaluar en el análisis, para todos los casos estudio, se seleccionará una zonificación sísmica con un nivel de peligrosidad intermedio, y suelos de fundación de roca dura, roca blanda, suelos densos y muy blandos, todo según lo establecido por cada una de las normativas.

Asimismo, se abordarán detalles teóricos, a través de comparaciones adicionales que servirán como base para el buen entendimiento de todo el contenido manejado en el tema central, en ese sentido, se elaborarán cuadros comparativos referentes al contenido normativo, diagramas de flujo sobre el procedimiento de aplicación de las diferentes metodologías de análisis estático en estudio, además de gráficos comparativos entre los espectros de diseño sísmico de cada norma, para diferentes condiciones de suelo y aceleración espectral.

Finalmente, mediante la utilización de modelos estructurales realizados en el software de análisis estructural ETABS V.16.2, y hojas de cálculo Excel, se presentarán gráficos con los que se podrá apreciar las derivas y desplazamientos laterales, evaluando el efecto de considerar el área de sección gruesa y el área de sección agrietada en la COVENIN 1756:2018 y la ASCE 7-16, de manera que en los resultados se expresen los espectros de diseño sísmico (elásticos), cortantes basales y derivas por nivel para cada una de las normativas en estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

En todo proyecto de investigación que se desee realizar, es importante contar con referencias fidedignas de otros autores que sustenten el tema que se abarcará en el nuevo estudio, de manera que el investigador pueda ampliar sus conocimientos y basar sus estudios en otros previamente realizados. La finalidad de establecer una fijación en estos argumentos sólidos, es permitir al sujeto establecer los principios y elementos que se abordan en el tema de comparación de normas, de manera clara y precisa, además de permitir delimitar el objeto de estudio y por consiguiente determinar el propósito de la investigación.

Por su parte Arcay M. y Suárez V. (2019), presentan un trabajo de investigación denominado **“Análisis comparativo del comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado, aplicando el método de análisis estático según la norma COVENIN 1756:2001 y otras normas internacionales”**, en la Universidad José Antonio Páez como requisito para optar por el título a Ingeniero Civil, la finalidad de éste estudio radica en proporcionar diagramas de flujo que faciliten la aplicación de las diferentes metodologías de análisis sísmico estático estudiadas. Además de representar mediante cuadros y gráficos comparativos, los parámetros que intervienen en un análisis sísmico y, los aspectos asociados a un buen desempeño estructural.

Por las consideraciones anteriores, se infiere que el estudio mediante cuadros comparativos facilita el entendimiento del análisis sísmico, ya que proporcionan una estructura capaz de establecer comparaciones prácticas en los lineamientos del presente trabajo de investigación. Además de que aporta data de gran relevancia para

el progreso y la fácil comprensión de los principios teóricos de las normativas sismorresistentes, así como también para establecer las fortalezas y debilidades que puedan surgir en base a la aplicación de los métodos establecidos en las normas.

En lo que respecta al origen de las normativas sísmicas, se establece que las mismas surgen después de los primeros terremotos del siglo XX, ya que anteriormente no existían los códigos sísmicos. A causa de la gran afectación de estos fenómenos, la comunidad de ingeniería decide aplicar niveles de fuerzas laterales a las estructuras para evitar el colapso de las edificaciones.

Con la finalidad de comparar los primeros códigos dirigidos específicamente al análisis sismorresistente, Tirado M. y Zeguen G. (2007), realizaron una investigación titulada **“Evolución de las normas venezolanas de edificaciones sismorresistentes y su comparación con la norma americana UBC”**, presentada ante la Universidad de Oriente para optar por el título a Ingeniero Civil, dicho estudio presenta el caso que experimentaba Venezuela cuando inicialmente no poseía una norma de análisis sísmico sino hasta el año 1967, es por ello que se propone la creación de un código adaptado a las condiciones geográficas y morfológicas del país.

En esta investigación se logra apreciar el largo camino de evolución que ha experimentado la norma sismorresistente venezolana, mediante un estudio comparativo entre ésta y la normativa americana (UBC), empleando el Método de la Torsión Estática Equivalente. En Venezuela, los cambios normativos han promovido continuamente iniciativas para alcanzar mejores desempeños sismorresistentes en las construcciones. El estudio comparativo realizado entre esta norma y la UBC, arrojó la existencia de semejanzas y algunas diferencias menores de ajuste entre ambas.

Para efectos de la investigación que se presenta, es relevante la evolución de la norma venezolana, ya que se aprecia cómo algunos códigos internacionales han tenido gran influencia en los análisis metodológicos que se deben emplear para el diseño y construcción de edificaciones seguras. Además de que se busca proponer mejorar e incorporar en la norma otros procedimientos flexibles, que sean planteados

en forma clara y concisa para que los ingenieros, proyectistas, constructores, dueños y usuarios, permitan controlar diferentes niveles de desempeño y racionalizar las pérdidas, según los requerimientos de cada proyecto.

De igual manera, Cámara L. y Sánchez M. (2012), realizaron un trabajo especial de grado ante la Universidad Central de Venezuela para optar por el título de Ingeniero Civil, dicha investigación se titula **“Comparación de la norma venezolana COVENIN 1756:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” con la norma chilena oficial Nch433.Of96 mod. 2009 “Diseño Sísmico de Edificios” y su propuesta de Norma Técnica de Emergencia”**, se realiza con el fin de identificar la forma en que se plantean ambas normas, establecer las semejanzas y diferencias entre sus nomenclaturas, caracterizar las diferencias propias de cada región, Chile y Venezuela, y definir las semejanzas y diferencias entre los parámetros para el diseño sismorresistente.

En este estudio se establecieron comparaciones de forma, en donde se aprecia que la norma venezolana a diferencia de la norma chilena presenta un documento más extenso, un alcance normativo mayor y un tomo de comentarios. Entre las semejanzas se logró observar que ambas normas separan los temas por capítulos y contienen un apartado de definiciones y de nomenclatura. En la comparación de nomenclatura se obtuvo que el mayor porcentaje, 38,8%, corresponde a términos contenidos sólo en la norma venezolana y el menor porcentaje, 9,4%, son términos cuya nomenclatura coincide en ambas normas.

Resulta oportuno para la investigación en curso, ya que proporciona mediante distintos procesos comparativos, la manera en la que se caracterizan las variables para el diseño sismorresistente para cada una de las normas de forma independiente, de manera que se logra desarrollar una etapa para la comparación de forma la cual incluye aspectos tales como; alcance normativo y tomo de comentarios, y otra para la comparación de fondo; incluyendo aspectos como nomenclatura, parámetros sísmicos, espectros de diseño y métodos de análisis.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Origen de la Tierra

En lo que respecta a las posibles teorías del origen del planeta y la vida, Rodríguez M. (s/f) establece que:

Todo parece indicar, sin embargo, que conforme la materia galáctica rotaba alrededor de un centro de rotación, las estrellas comenzaron a formar aglomeraciones de masas individuales debido a la concentración de partículas bajo la fuerza de gravedad. Estas concentraciones de materia pudieron tener sus propios remolinos y a través de los años tener la forma que presentan ahora. (p. 117).

Esta teoría se considera una de las más acertadas, ya que posiblemente a causa de las grandes concentraciones de materia en el universo, se cree que la mayoría de las estrellas que se formaron fueron a causa de los constantes remolinos que dicha materia generaba, de manera que con la constante acumulación de gas y polvo espacial, poco a poco se fueron conformando los planetas hasta lo que se conoce actualmente.

2.2.2 Tectónica de Placas

Con respecto a la tectónica de placas, se infiere que es una teoría que explica cómo está conformada la capa más externa de la Tierra, la cual se considera como la base del desarrollo y la evolución de la vida de todos los seres vivos. Según los estudios de Rodríguez M. (ob.cit.), se argumenta que:

En términos geológicos una “placa” es una plancha rígida de roca sólida. La palabra “tectónica” viene de la raíz griega “construir”. De esta forma la teoría de la tectónica de placas señala que la capa más externa de la tierra está fragmentada en una serie de placas que presentan un movimiento relativo una respecto de la otra. (p. 120).

Con base en lo anteriormente expuesto, surge la teoría que establece la posibilidad de que hace más de 225 millones de años existía un súper continente denominado Pangea. Se infiere que a los 200 millones de años, este comienza a fraccionarse hasta separarse y formar dos masas continentales conocidas como Laurasia y Gondwana.

Ambos continentes continuaron separándose hasta la configuración que se conoce hoy día, algunos científicos aseguran que existen grandes similitudes en las formas que tienen América del Sur y África, ya que poseen parecidos no sólo a nivel de su estructura, sino también a nivel geológico, en flora y animales fósiles. Estos hechos son los que fortalecen la posibilidad de que realmente existe una fuerza y constante movimiento en la corteza terrestre, que a lo largo de los años ha generado la separación y modificación de los continentes hasta la actualidad (Ver Figura 1).



Figura 1. Tectónica de Placas

Fuente: Nociones de Sismología. Diplomado en Diseño y Cálculo de Estructuras Civiles. Prof Alejandro Pocaterra.

2.2.3 Sismos

Los sismos son vibraciones o movimientos convulsivos de la corteza terrestre, éstos se generan a causa de distintos fenómenos, sin embargo los más graves suceden por aquellos de origen tectónico. Éstos pueden clasificarse en microsismos, cuando en el acto no se perciben o su nivel de percepción se considera bajo; macrosismos, cuando causan daños a edificaciones tales como viviendas y megasismos cuando son de gran magnitud, ocasionando destrucción de edificios, ciudades y hasta grandes pérdidas humanas.

2.2.3.1 Componentes de un Sismo

Con respecto a los movimientos tectónicos que provocan los sismos, se generan ondas esféricas conocidas como ondas sísmicas, éstas se propagan en distintas direcciones partiendo de un punto en común en el interior de la corteza terrestre en el que se origina el movimiento sísmico. El punto donde esto sucede se conoce como foco o hipocentro y se clasifican según la profundidad de ubicación, pueden ser: someros o superficiales, ocurre entre la superficie y aproximadamente 70 km de profundidad; intermedios, entre 70 km y 300 km de profundidad y finalmente profundos cuando se ubican entre los 300 km y 700 km de profundidad. A su vez se encuentra la proyección vertical del hipocentro, conocido como epicentro. Su propósito radica en facilitar la ubicación del origen del sismo en la superficie terrestre (Ver Figura 2).



Figura 2. Componentes de un Sismo

Fuente: <http://misistemasolar.com/ondas-sismicas/>

2.2.3.2 Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas son oscilaciones que se transmiten desde el foco o hipocentro, a través de materiales sólidos y líquidos propagando así la energía mecánica. Se clasifican principalmente en corpóreas, éstas son conocidas por viajar en el interior de la corteza terrestre y a su vez se dividen en Primarias (P) y Secundarias (S). Al mismo tiempo existen las denominadas superficiales, las cuales se propagan como su nombre lo indica por la superficie terrestre y se conocen como dos tipos; Ondas Love (L) y Ondas Rayleigh (R) (Ver Figura 3).

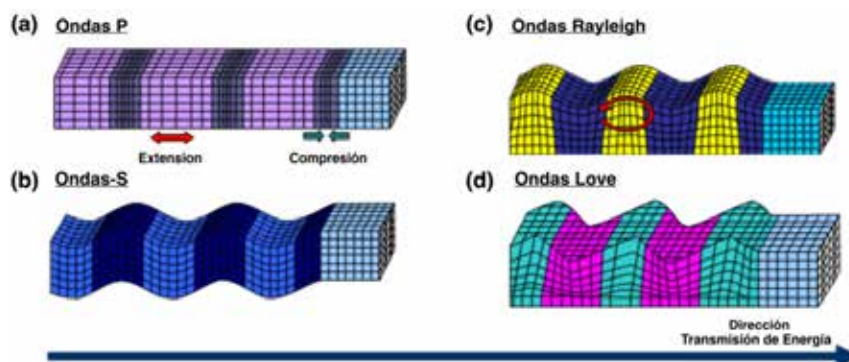


Figura 3. Ondas Sísmicas

Fuente: <http://misistemasolar.com/ondas-sismicas/>

2.2.4 Medición de los Sismos

Los registros de medición de un sismo se realizan mediante instrumentos conocidos como sismógrafos, los cuales plasman en papel (sismogramas) las vibraciones que ocurren en la Tierra. Los sismos tienen dos escalas de medición, una se encarga de determinar su magnitud y la otra de precisar su intensidad.

2.2.4.1 Intensidad de un Sismo

Se refiere a medidas de fuerza en los movimientos del terreno, también conocida como la capacidad destructiva de un temblor en un lugar establecido. Es importante destacar que la intensidad tiene la capacidad de cambiar, ya que depende netamente de la distancia del epicentro y de las condiciones geológicas del suelo.

Por su parte la escala de Mercalli, posee la capacidad de representar la violencia con la que ocurre el sismo. Determina la intensidad o los daños sobre las estructuras y el impacto que ocasiona en las personas. Esta escala se encuentra definida desde el grado 1 hasta el 12; siendo el nivel más bajo el correspondiente a aquellos movimientos que sólo pueden ser detectados por aparatos sísmicos y el más alto a los registros más letales.

2.2.4.2 Magnitud de un Sismo

En lo que respecta a magnitud de un sismo, se caracteriza por determinar la cantidad de energía que se libera desde el hipocentro. Puede ser calculada mediante el

efecto que causan las ondas sísmicas sobre un sismógrafo que se encuentre ubicado en las cercanías del epicentro.

La escala que se implementa para determinar dicha magnitud se conoce como Richter, a través de ella se puede obtener información cuantitativa de la energía liberada al momento del sismo. Para ilustrar esto, se define un único valor que va desde el grado 1 hasta el 9:

- Menos de 3,5: apenas se aprecia el movimiento, pero queda registrado.
- 3,5 – 5,4: a menudo se perciben, sólo causa daños menores.
- 5,5 – 6,0: deja pequeños daños en edificios.
- 6,1 – 6,9: puede ocasionar gran destrucción en áreas muy pobladas.
- 7,0 – 7,9: causa severos daños y destrucción.
- 8 o mayor: destrucción total.

2.2.5 Sismicidad a Nivel Mundial

Los estudios geológicos y la historia de actividad sísmica permiten identificar zonas sismogénicas, o sea aquellas donde existen fallas tectónicas activas cuya ruptura genera los sismos. Sin embargo, los movimientos sísmicos se presentan no solo en dichas zonas, sino en todas aquellas que están suficientemente cercanas a las mismas para que se perciba el movimiento sísmico. (Bazán, E. y Meli, R, 2002).

Con base en las consideraciones anteriores, se infiere que dependerá netamente de la localización de los hipocentros si un sismo se considera despreciable o no. Ya que no todos los lugares de la Tierra se encuentran en las mismas condiciones de riesgo sísmico, es por ello que a lo largo de años de estudios y de registros de movimientos de la corteza terrestre, se ha logrado identificar y delimitar las zonas peligrosas, conocidas como cinturones activos y se dividen en:

Cinturón de Fuego del Pacífico: Este cinturón se sitúa sobre varias placas tectónicas, se encuentra rodeando el Océano Pacífico, pasando por el oeste del continente americano, bordea a Alaska y luego pasa por Japón, Taiwán y Filipinas, y termina descendiendo por las islas Aleutianas hasta Nueva Zelanda y Nueva Guinea.

Cinturón situado en el centro del Océano Atlántico: Este cinturón nace en el Océano Índico y se extiende por el Océano Atlántico, en la zona el Golfo de Adén y la isla de Madagascar.

El cinturón Transasiático: Ocupa zonas del Himalaya, Irán, Turquía, el Mar Mediterráneo y el Sur de España (Ver Figura 4).

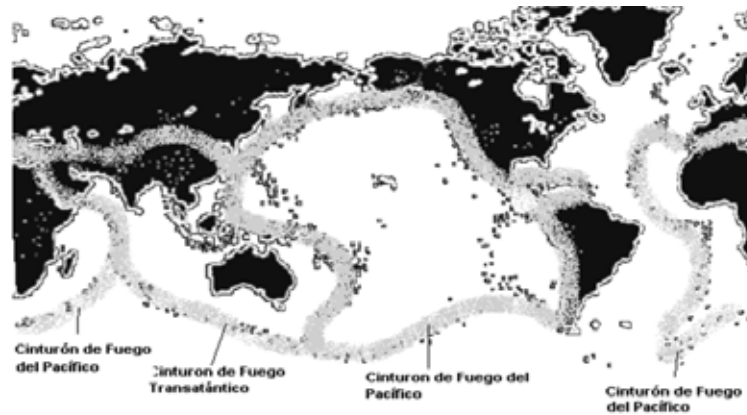


Figura 4. Mapa de situación de los principales Cinturones Sísmicos

Fuente: Lanza, F.; Puentes, M. y Villalobos, F. (2003).

2.2.6 Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)

2.2.6.1 Zonificación Sísmica

En lo que se refiere a aplicaciones de la Norma, se han realizado una serie de estudios que permite dividir a Venezuela en 8 zonas, de manera que se establecen ciertos peligros sísmicos en cada una de ellas. Toda aquella zonificación de regiones adyacentes a embalses de más de 80 metros de altura se regirá por estudios especiales. (Ver Figura 5).

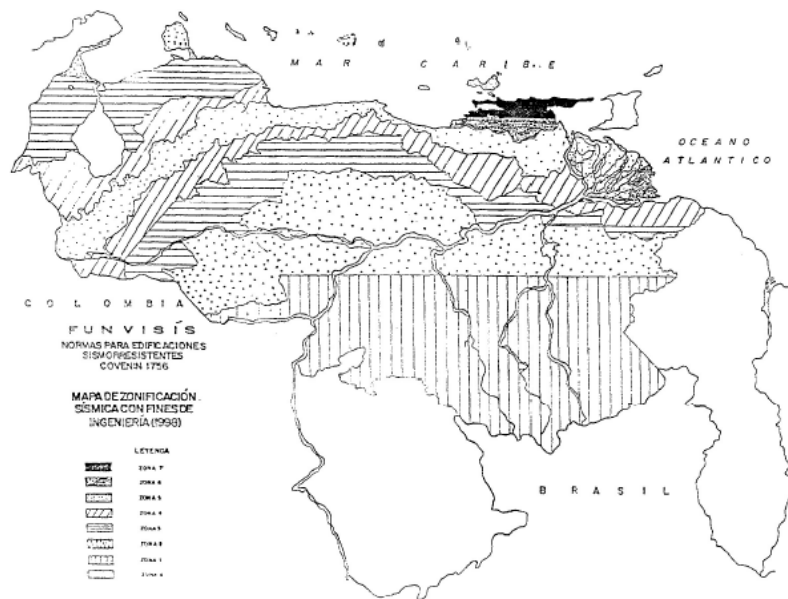


Figura 5. Mapa de Zonificación Sísmica en Venezuela
Fuente: COVENIN 1756:2001

Adicionalmente, con cada zona sísmica se encuentra asignado un coeficiente de aceleración horizontal del terreno (A_0), para una clase de sitio referencial, una vida útil de las edificaciones de 50 años y un período medio de retorno de 475 años. Éste coeficiente permite representar un porcentaje de gravedad para un movimiento sísmico de diseño con una probabilidad de 10% de excedencia.

VALORES DE A_0

ZONAS SÍSMICAS	PELIGRO SÍSMICO	A_0
7	Elevado	0.40
6		0.35
5		0.30
4	Intermedio	0.25
3		0.20
2	Bajo	0.15
1		0.10
0		--

Figura 6. Tabla de Valores de aceleración horizontal (A_0)
Fuente: COVENIN 1756:2001

2.2.6.2 Formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación

Con respecto a la tipificación de los suelos, se hace la suposición de que la edificación se encuentra apoyada en una superficie horizontal, por tal razón es de gran relevancia la influencia que tiene la condición de roca y las condiciones locales del terreno. Estos aspectos son convenientes ya que los terrenos se tipifican en función de los espesores de los sedimentos y de sus velocidades de propagación de ondas de corte. Para efectos de velocidad de las ondas, se definen seis tipos de materiales de suelos (roca dura, roca suave, suelos duros, suelos firmes, suelos flojos y suelos flojos con capas más rígidas).

En base a las consideraciones anteriores, se logra definir el tipo de forma espectral normalizada, de manera que se implementa una clasificación establecida de la siguiente manera: S1, S2, S3 o S4. Van desde los suelos más duros y densos hasta los más blandos, siendo así S1 (suelos duros y densos) y S4 (suelos blandos) correspondientemente.

Asimismo se considera el efecto de mayor cercanía o lejanía de las fuentes sísmicas, para ello se aplica un factor de corrección () al coeficiente de aceleración horizontal (A_0), para su consideración se encuentran otros factores dependientes, tales como la velocidad promedio de ondas de corte en el suelo (V_{sp}) y la profundidad del estrato hasta la roca (H) donde se consigue dicha velocidad.

Se hace referencia que por ser espectros de respuesta elástica, se encuentran estandarizados según las condiciones locales del subsuelo y la peligrosidad sísmica. En la Norma no se toma en cuenta en forma rigurosa la plasticidad del suelo, principalmente porque no existen consideraciones específicas para las zonas cercanas a las fallas, es por ello que se incluye la siguiente tabla (Ver Figura 7) para la selección de la forma espectral según el tipo de suelo.

Material	V _{sp} (m/s)	H (m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	φ	Forma Espectral	φ
Roca sana/fracturada	>500	-	S1	0.85	S1	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	<30	S1	0.85	S1	1.00
		30-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	250-400	<15	S1	0.80	S1	1.00
		15-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/medio densos	170-250	≤50	S3	0.70	S2	0.95
		>50	S3 ^(a)	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤15	S3	0.70	S2	0.90
		>15	S3 ^(a)	0.70	S3	0.80
Suelos blandos o sueltos ^(b) intercalados con suelos más rígidos	-	H ₁	S3 ^(c)	0.65	S2	0.70

a) Si $A_0 \leq 0.15$ úsese S4

b) El espesor de los estratos blandos o sueltos ($V_s < 170$ m/s) debe ser mayor que 0.1 H.

c) Si $H_1 \geq 0.25 H$ y $A_0 \leq 0.20$ úsese S4.

Figura 7. Tabla de Formas espectrales y F

Fuente: COVENIN 1756:2001

2.2.6.3 Clasificación de las edificaciones

Según su uso

Grupo A: Todas aquellas estructuras con fines de uso esencial, que se encuentran destinadas a prestar servicio en situaciones de emergencia y las cuales pueden causar grandes pérdidas humanas. Entre ellas se encuentran: hospitales, edificios gubernamentales, estaciones de bomberos y de policía, subestaciones eléctricas, edificios educativos, de valor histórico o artístico.

Grupo B1: Edificaciones de uso público o privado, densamente ocupadas temporal o permanentemente. Entre ellas se encuentran: edificios con capacidad de ocupación de más de 3000 personas, algunos centros de salud.

Grupo B2: Estructuras de uso público o privado, con baja densidad de ocupación. Algunas son: viviendas, apartamentos, oficinas, hoteles, restaurantes, almacenes, cines y teatros.

Grupo C: Todas las construcciones no clasificadas en los grupos anteriores, aquellas que no se encuentran destinadas a la habitación o uso público y

cuyo derrumbe no cause daños a las edificaciones de los tres primeros grupos.

Usos Mixtos: Edificaciones que tengan áreas que pertenezcan a más de un grupo, en este caso se clasificarán en el grupo más exigente.

De acuerdo a las consideraciones que anteceden, en base a la utilidad que se le dé a las edificaciones, se establece el factor de importancia (Ver Figura 8). Dicho factor tiene la finalidad de amplificar los efectos del sismo de diseño para garantizar que la estructura pueda comportarse adecuadamente ante la ocurrencia de un sismo.

FACTOR DE IMPORTANCIA

GRUPO	α
A	1.30
B1	1.15
B2	1.00

Figura 8. Tabla de Factor de Importancia
Fuente: COVENIN 1756:2001

Según tipo de estructura

Tipo I: Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas, tales como los sistemas estructurales constituidos por pórticos.

Tipo II: Estructuras constituidas por combinaciones de los Tipos I y III, teniendo ambos el mismo Nivel de Diseño. Su acción conjunta debe ser capaz de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Tipo III: Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. En este grupo se distinguen

los sistemas acoplados con dinteles o vigas dúctiles, además de los pórticos de acero con diagonales excéntricas.

Tipo IV: Estructuras que no posean diafragmas con la rigidez y resistencia necesarias para distribuir eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Estructuras sustentadas por una sola columna. Edificaciones con losas sin vigas.

Según Nivel de Diseño (ND)

Se conoce como Nivel de Diseño a la clasificación de edificaciones de acuerdo a los criterios de diseño utilizados en el dimensionamiento y detallado de los miembros y conexiones que forman parte del sistema resistente a sismos. Se establece con la finalidad de obtener un comportamiento dúctil que permita a las estructuras, alcanzar el rango inelástico de esfuerzo-deformación, sin que ocurra una falla frágil. Se tienen 3 niveles de diseño, estos son:

Nivel de Diseño 1 (ND1): Para edificaciones en donde los diseños en las distintas zonas sísmicas no requieren la aplicación de requisitos establecidos para acciones gravitacionales.

Nivel de Diseño 2 (ND2): Está destinado a aquellas estructuras en donde sólo se requiere la aplicación de algunas especificaciones de la Norma para el diseño y construcción en zonas sísmicas, ya que poseen cierta ductilidad al sistema resistente a sismos y por ende tienden a evitar fallas prematuras en las regiones críticas de los elementos del sistema.

Nivel de Diseño 3 (ND3): Todas aquellas edificaciones a las cuales se aplicarán los requisitos para el diseño en zonas sísmicas establecidas por las normas COVENIN-MINDUR. El nivel de diseño es seleccionado tomando en cuenta: zonificación sísmica, grupo de la edificación, y regularidad en planta o elevación (Ver Figura 9).

GRUPO	ZONA SISMICA		
	1 y 2	3 y 4	5,6 y 7
A; B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2	ND1 (*) ND2 ND3	ND2 (*) ND3	ND3 ND2 (**)

(*) Válido para edificaciones de hasta de 10 pisos ó 30 m de altura.

(**) Válido para edificaciones de hasta de 2 pisos u 8 m de altura.

Figura 9. Tabla de Niveles de Diseño (ND)

Fuente: COVENIN 1756:2001

En caso de que existan algún tipo de irregularidades, la norma condiciona la aplicación de nivel de diseño 3 (ND3).

2.2.6.4 Factor de Reducción de Respuesta (R)

Con respecto al factor de reducción de respuesta, se considera como un coeficiente adimensional que divide las ordenadas del espectro de respuesta elástico con la finalidad de generar el espectro de diseño. Éste factor se toma en base al nivel de diseño, tipo de estructura, materiales empleados para la construcción y a la regularidad que posea la edificación. Para estructuras de concreto armado, en la norma se establecen los valores de R (Ver Figura 10).

NIVEL DE DISEÑO	ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO				
	TIPO DE ESTRUCTURA (SECCIÓN 6.3.1)				
	I	II	III	IIIa	IV
ND3	6.0	5.0	4.5	5.0	2.0
ND2	4.0	3.5	3.0	3.5	1.5
ND1	2.0	1.75	1.5	2.0	1.25

Figura 10. Tabla de Factores de Reducción R para Edificios de Concreto Armado

Fuente: COVENIN 1756:2001

Para todas aquellas ocasiones en donde las edificaciones presenten irregularidades, se recomienda multiplicar el valor de R por factores de minoración o amplificación dependiendo del caso de irregularidad que se presente. Esta condición se encuentra establecida en el Capítulo 6 – Sección 6.4.1 de la Norma.

2.2.6.5 Coeficiente Sísmico para Edificaciones

Para todos aquellos métodos de análisis sísmicos, el valor que corresponde a la fuerza cortante de diseño a nivel de base V_0 se obtiene empleando del espectro de diseño. El coeficiente sísmico, se determina cuando se divide el corte basal entre el peso sísmico de la edificación, y se emplea la siguiente ecuación:

— —

Donde

V_0 = Fuerza cortante en el nivel de base, se obtiene mediante los procesos de análisis del método estático equivalente.

W = Peso total de la estructura por encima del nivel de base.

2.2.6.6 Espectros de Diseño Sísmico

Tocante a los espectros de diseño, la Norma COVENIN 1756:2001 ha definido previamente uno que se considera representativo para ciertas condiciones establecidas, tales como un período de retorno de 475 años, una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años y un amortiguamiento crítico del 5% (Ver Figura 13). El espectro que pretende la obtención de la aceleración de diseño (A_d), se define mediante las siguientes expresiones:

Para $T < T^+$ (Primera rama del espectro)

—
—————
—

Para T^+ * (Segunda rama del espectro)

—————

Para $T > T^*$ (Tercera rama del espectro)

Donde

T = Período de la edificación.

$T_o = 0.25 T^*$ Período donde los espectros tienen un valor constante (seg).

T^* = Máximo período en el intervalo constante del espectro de diseño.

T^+ = Período característico de variación de respuesta dúctil. (Ver Figura 12).

Ad = Ordenada del espectro de diseño.

A_o = Coeficiente de aceleración horizontal.

= Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

$C = \frac{A_o}{A_d}$.

p = Exponente que define la rama descendente del espectro.

Los valores que corresponden a “ p ” (exponente que determina la rama del espectro), “ ” (factor de magnificación promedio) y “ T^* ” (valor máximo para que los espectros tengan un valor constante) se pueden determinar mediante la siguiente tabla:

FORMA ESPECTRAL	T^* (seg)	β	p
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

Figura 11. Tabla de Valores de T^*

Fuente: COVENIN 1756:2001

CASO	T^+ (seg)
$R < 5$	$0.1 (R-1)$
$R \geq 5$	0.4

(1) $T_0 \leq T^+$

Figura 12. Tabla de Valores de T^+

Fuente: COVENIN 1756:2001

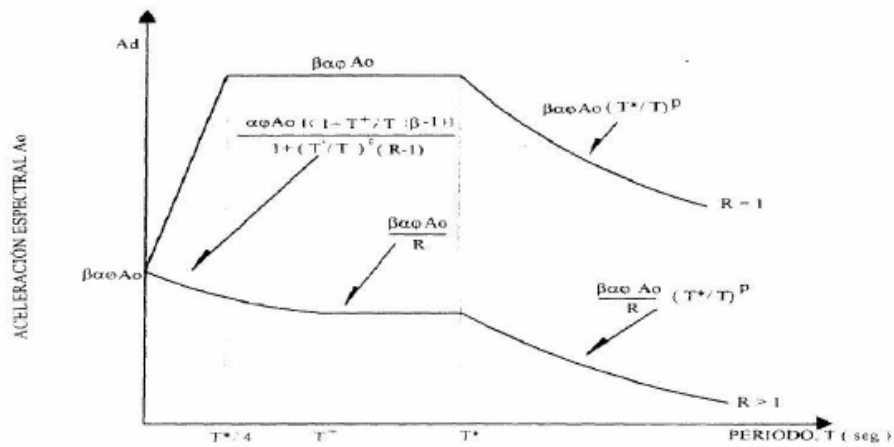


Figura 13. Espectros de diseño Elástico e Inelástico

Fuente: COVENIN 1756:2001

2.2.6.7 Análisis Estático (Método Estático Equivalente)

En lo que respecta al método de análisis estático equivalente, se hace referencia a que permite determinar las fuerzas laterales aplicadas en cada nivel de la estructura, tomando en consideración los cortantes máximos probables que causan la acción sísmica. Según lo que establece la Norma, se aplica este método para edificaciones regulares cuya altura no excede los 10 pisos o 30 metros, para ello se implementan las siguientes ecuaciones:

Fuerza Cortante Basal

Donde

A_d = Ordenada del espectro de diseño

W = Peso total de la edificación por encima del nivel de base. Para el cálculo de este coeficiente, se deben sumar las acciones permanentes a los porcentajes de las acciones variables que están establecidas en la norma COVENIN 2002-88, entre la cuales se pueden destacar:

Edificaciones de concentración de público: Donde existe una concentración de más de 200 personas, 50% de la carga variable de servicio.

Entrepisos de edificaciones: Viviendas y estacionamientos distintos de (c), 25% de la carga variable de servicio.

Mayor de los valores de las siguientes ecuaciones:

— —

Donde

N = Número de niveles.

Período Fundamental

Para cada dirección de análisis, se calculará según se establece en la siguiente formulación:

Donde

Q_i =Fuerza lateral aplicada en el centro de masa del nivel i del edificio.

W = Peso total de la edificación.

W_i = Peso del nivel i .

h_i = Altura del nivel i medida desde la base.

N = Número de niveles de la edificación.

g = Aceleración de la gravedad.

Período Estimado T_a

La Norma establece como alternativa a la determinación del período fundamental (T) de la edificación, el cálculo de un período estimado T_a , el cual es obtenido a partir de las siguientes expresiones:

Para edificaciones Tipo I

Donde

Edificios de concreto armado o mixtos.

h_n = Altura de la edificación medida desde el último nivel, hasta el primer nivel. Sus desplazamientos se encuentran restringidos de manera total o parcial.

Para Edificaciones Tipo II, III y IV

Es importante que luego de realizar los cálculos pertinentes al método, se determine el período fundamental (T) de la estructura con la fórmula establecida y se verifique que se cumpla la siguiente condición:

Distribución vertical de las fuerzas debido a los efectos traslacionales

Cuando se distribuyen verticalmente las fuerzas del cortante basal V_o , se pueden determinar las fuerzas laterales de diseño de cada uno de los niveles y su correspondiente dirección de análisis, mediante el uso la siguiente fórmula:

Donde

Ft = Fuerza lateral concentrada en el nivel N que se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

—

Se debe encontrar dentro de los siguientes límites:

Fi = Fuerza lateral correspondiente al nivel i, se calcula mediante la siguiente fórmula:

—————

Donde

Wj = Peso del nivel j de la estructura.

hj = Altura media desde la base hasta el nivel j de la edificación.

2.2.6.8 Control de desplazamientos

Desplazamientos laterales totales

El desplazamiento del nivel i se determina mediante la siguiente expresión:

Donde

ei = Desplazamiento lateral del nivel i calculado para las fuerzas de diseño, tomando en consideración que la edificación se comporta elásticamente, de manera que se incluyen los efectos traslacionales, de torsión en planta y P-

Desplazamiento relativo entre pisos consecutivos (Derivas)

desplazamientos laterales entre dos niveles consecutivos, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Valores Límites de Derivas

Con la finalidad de comprobar los valores límites de los desplazamientos, se precisa de un cociente adimensional que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Donde

$(h_i - h_{i-1})$ = Separación entre pisos o niveles consecutivos. Se compara con los valores establecidos en la Norma (Ver Figura 14).

TIPO Y DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	EDIFICACIONES		
	GRUPO A	GRUPO B1	GRUPO B2
Susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.012	0.015	0.018
No susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.016	0.020	0.024

Figura 14. Tabla de Valores límites de desplazabilidad

Fuente: COVENIN 1756:2001

2.2.7 Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela)

2.2.7.1 Clasificación de las edificaciones

Según su uso

Grupo A1: Todas aquellas edificaciones que se consideren de alto impacto, es decir, las que puedan generar grandes pérdidas humanas o económicas en situaciones de alto riesgo. Entre ellas se encuentran: construcciones para producción o almacenamiento de sustancias tóxicas o explosivas, líneas y subestaciones eléctricas de alta tensión, puentes y viaductos de primera importancia, construcciones de distribución masiva de agua y combustible.

Grupo A2: Edificaciones que se consideran esenciales al momento de un evento sísmico, ya que prestan servicio de asistencia y deben mantenerse en funcionamiento durante y después de un sismo. Entre ellas se encuentran: estaciones de bomberos, todos los sistemas masivos de transporte, refugios

para situaciones de emergencia, puentes y viaductos de mediana importancia, construcciones patrimoniales, centrales de telecomunicación, centros educativos.

Grupo B1: Construcciones cuya ocupación es alta, con al menos 500 personas expuestas, el número de pisos debe ser mayor a 20 o 60 metros de altura, el área techada debe ser mayor a 20.000m², tales como: viviendas, oficinas, comercios, hoteles, bancos, teatros, restaurantes e industrias, puentes de poca importancia.

Grupo B2: Edificaciones comunes cuya ocupación se considera normal. Pertenecen todas aquellas cuyo uso se encuentra indicado en el Grupo B1 pero que no cumplen con la condición de alta ocupación, además se incluyen los puentes rurales de menor importancia.

Grupo C: Pertenecen todas aquellas construcciones cuyo derrumbe no cause daño a las mencionadas en los otros grupos. Entre ellas se encuentran: construcciones provisionales y toda obra que se considere de uso agropecuario cuya ocupación humana no sea permanente.

Construcciones de uso mixto: Aquellas construcciones que contengan áreas que correspondan a más de un grupo, serán asignadas al grupo más exigente.

En lo que respecta al factor de importancia, es aquel que se determina en base a la peligrosidad sísmica en la estructura que va a ser diseñada, y que a su vez depende de la definición que se obtenga de los espectros de respuesta elástica. Con base en la clasificación de la edificación según su uso y al tipo de sismo, el diseño será asociado a dicho factor de importancia y su valor es asignado mediante la percepción o análisis de lo establecido en la Norma.

Según el Nivel de Diseño (ND)

Se conoce como Nivel de Diseño a la clasificación de edificaciones de acuerdo a los criterios de diseño utilizados en el dimensionamiento y detallado de los

miembros y conexiones que forman parte del sistema resistente a sismos. Se establece con la finalidad de obtener un comportamiento dúctil que permita a las estructuras, alcanzar el rango inelástico de esfuerzo-deformación, sin que ocurra una falla frágil.

Se tienen 3 niveles de diseño, estos son:

Nivel de Diseño 3 (ND3): Es aquel en donde se permite que la estructura posea la capacidad de incursionar de manera estable en el rango inelástico, de manera que pueda disipar energía sin perder su capacidad portante. Este tipo de edificaciones requieren de que se cumplan requisitos particulares que se encuentran establecidos en las normas de materiales.

Nivel de Diseño 2 (ND2): En este nivel es asignado a todas aquellas estructuras que posean una moderada capacidad de comportarse de manera estable en el rango inelástico, con la finalidad de disipar la energía sin perder su capacidad portante. Requiere a su vez que sean verificados los requisitos que se deben tener los materiales para un diseño sísmico óptimo.

Nivel de Diseño 1 (ND1): Es el nivel asignado a todas aquellas estructuras que poseen baja capacidad de comportarse de manera constante en el rango inelástico. No se precisa la aplicación de requerimientos adicionales a los que ya se encuentran determinados para acciones gravitacionales.

De acuerdo con cada Nivel de Diseño de la estructura, se asigna un Grupo permitido. A su vez, se deben tomar en consideración los valores del Coeficiente de Aceleración A_A , el cual se asocia a la intensidad sísmica de diseño para la clase de sitio en donde se encuentra ubicada la estructura, de manera que se incorporan los efectos de sitio en el lugar geográfico con cierta amenaza sísmica que será corregida según el uso (Ver Figura 15).

Grupo	Coeficiente de Aceleración A_A		
	$A_A \leq 0,10$	$0,10 < A_A \leq 0,20$	$A_A > 0,20$
A1, A2, B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2, C	ND1 ND2 ND3	ND1 ND2 ND3	ND2 ND3

Figura 15. Tabla de Niveles de Diseño permitidos

Fuente: COVENIN 1756:2018

Según el Tipo Estructural

En lo que se refiere al estudio del sistema sismorresistente, para cada dirección del análisis se deberá clasificar la edificación en uno o más de los cuatro Tipos Estructurales, I, II, III, IV, dependiendo de las particularidades que se definen. A su vez, los Tipos Estructurales se clasifican en Subtipos que tienen la posibilidad de tener distintos Niveles de Diseño.

Tipo I: Corresponde a las estructuras constituidas por vigas y columnas que se deformen por flexión ante acciones sísmicas, los elementos deben cumplir con las relaciones dimensionales que se establecen en las normas de diseño para el Nivel de Diseño que corresponda. De igual manera los miembros de la estructura se encuentran enlazados por juntas, las cuales poseen la rigidez y resistencia necesaria para asegurar la correcta transferencia de tensiones y deformaciones entre los elementos. A su vez, las estructuras Tipo I se subdividen de la siguiente manera:

Subtipo I-a: Corresponde a las estructuras que se encuentran conformadas por vigas y columnas, las cuales se conectan por juntas de concreto armado, acero estructural, mixtos acero-concreto o de madera.

Subtipo I-b: Aquellas edificaciones que se encuentren constituidas por pórticos de acero con vigas de celosía.

Subtipo I-c: Estructuras conformadas por pórticos de acero con columnas articuladas en la base.

Subtipo I-d: Edificaciones de concreto armado que se encuentren constituidas por muros o columnas cuyas losas no posean vigas.

Tipo II: Se encuentra constituido por estructuras duales que posean combinaciones de los Tipos I y III. El comportamiento de este tipo de edificaciones debe ser capaz de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas, ya que los pórticos Tipo I deben resistir al menos el veinticinco por ciento (25%) de dichas fuerzas. Cuando se combinan estructuras de Tipo I y III con diferentes niveles de diseño, resulta una clasificación de Tipo II con el nivel de diseño menor. Asimismo, este tipo de edificaciones se subdividen en:

Subtipo II-a: Estructuras constituidas por la combinación de los Subtipos I-a y III-a.

Subtipo II-b: Estructuras constituidas por la combinación de los Subtipos I-a y III-b.

Tipo III: Aquellas estructuras que son capaces de resistir en su totalidad las acciones sísmicas a través de muros de concreto armado, secciones mixtas de acero-concreto, muros de mampostería, pórticos arriostrados de concreto armado, acero o sección mixta acero-concreto, paneles de acero o madera, así como también muros de adobe con refuerzo especial. A su vez, van a pertenecer las estructuras con cualidades parecidas a la del Tipo II, con la diferencia de que deben cumplir con la condición de que los pórticos no sean capaces de soportar por lo menos el veinticinco por ciento (25%) de las fuerzas sísmicas totales. Asimismo en este tipo de estructuras se destacan los siguientes subtipos:

Subtipo III-a: Estructuras constituidas por muros de concreto armado que posean dinteles de acoplamiento dúctiles, pórticos de acero con arriostramientos excéntricos acoplados con eslabones dúctiles, pórticos de acero con arriostramientos de pandeo restringido, pórticos mixtos (acero-concreto) con arriostramientos excéntricos acoplados con eslabones dúctiles de acero.

Subtipo III-b: Aquellas estructuras conformadas por muros de concreto armado sin acoplamientos de dinteles dúctiles, muros de pared delgada sin elementos de borde tipo túnel, pórticos de acero o mixtos (acero-concreto) con arriostramientos concéntricos, sistemas de paneles de acero, paneles y diafragmas de madera clavados o conectados con clavos y/o pernos, elementos estructurales livianos de acero (perfiles doblados en frío) con arriostramientos diagonales y cubiertos con paneles de madera o láminas de acero, muros mixtos (acero-concreto) o los paneles mixtos (acero-concreto).

Subtipo III-c: Son las estructuras constituidas por muros prefabricados de concreto armado, muros de mampostería, muros de adobe con refuerzo especial, paneles y diafragmas de madera encolados que se encuentren conectados con clavos y/o pernos, paneles de madera clavados que posean diafragmas encolados conectados con clavos y/o pernos, elementos estructurales livianos de acero (perfiles doblados en frío) con arriostramientos diagonales y cubiertos con paneles de otro material distinto a la madera o al acero.

Tipo IV: Se encuentra conformado por todas aquellas estructuras que se encuentren sustentadas por una sola columna o por varios planos resistentes, siempre y cuando más de la mitad de esos planos se encuentren soportados por una sola columna cada uno en la dirección del análisis.

2.2.7.2 Amenaza Sísmica

La Norma propone que se deben definir tres parámetros A_0 , A_1 , y T_L , sus valores se obtienen en los mapas de amenaza sísmica (Ver Figura 16,17 y 18).



Figura 16. Mapa de Amenaza Sísmica A_0

Fuente: COVENIN 1756:2018

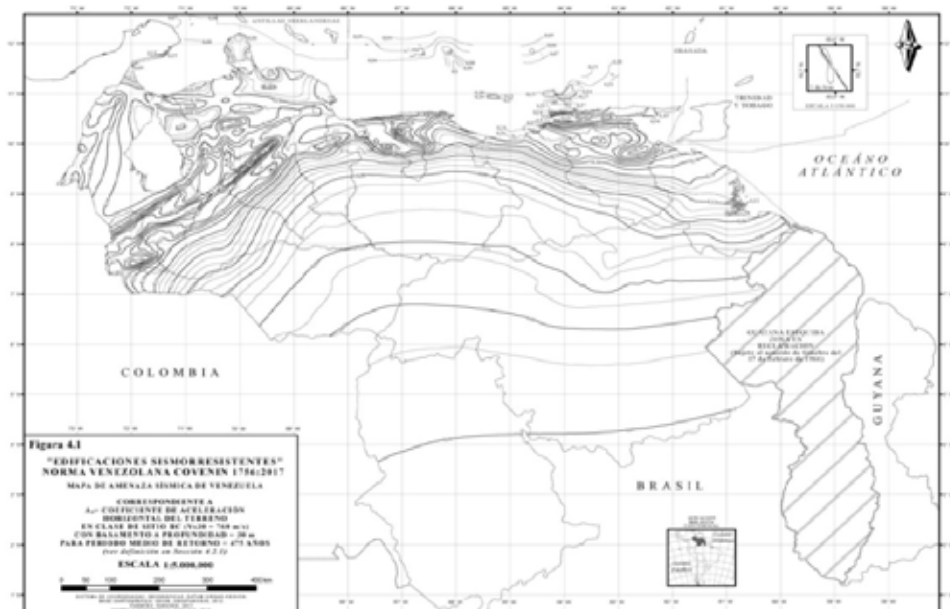


Figura 17. Mapa de Amenaza Sísmica A_1

Fuente: COVENIN 1756:2018



Figura 18. Mapa de Amenaza Sísmica T_L

Fuente: COVENIN 1756:2018

2.2.7.3 Tipos de Sismos y Períodos Medios de Retorno

En relación a los tipos de sismos y sus períodos de retorno correspondientes, la Norma hace referencia a probabilidades de ocurrencia que puede presentar un sismo de alta magnitud, estos valores se asignan dependiendo del Grupo de Uso de la estructura y su importancia como edificación (Ver Figura 19). Asimismo logra mediante los tipos de sismos, estipular la acción sísmica que la estructura debe poseer para cumplir con los objetivos de desempeño que se precisan.

Sismo de Diseño

Grupo de Uso A1: Para determinar el factor de importancia correspondiente se deberá efectuar un estudio especial de amenaza sísmica en la zona de construcción. De esta manera se obtendrán los parámetros auxiliares para un período medio de retorno de 1975 años, a su vez el tomará el máximo entre A_0^{1975}/A_0 y A_1^{1975}/A_1 , este valor no puede ser menor que 1,7. Asimismo, el valor de T_L^{1975} no se tomará menor que $0,9 T_L$.

Grupo de Uso A2, B1, B2 y C: El valor del factor de importancia se encuentra tabulado, depende del grupo en que se encuentre ubicada la estructura. (Ver Figura 20). Opcionalmente se puede efectuar un estudio especial de amenaza sísmica del lugar geográfico de construcción y con los resultados se obtendrán los parámetros auxiliares para el período medio de retorno correspondiente. De esta manera se redefinirá el factor de importancia A_0^{PMR}/A_0 y A_1^{PMR}/A_1 , este valor no debe ser menor que el ochenta y cinco por ciento (85%) del asignado en la Tabla 11. A su vez el valor de T_L^{PMR} no deberá ser menor a 0,9 T_L .

Grupo de Uso	SISMO FRECUENTE		SISMO DE DISEÑO		SISMO EXTREMO	
	Probabilidad de excedencia	PMR (años)	Probabilidad de excedencia	PMR (años)	Probabilidad de excedencia	PMR (años)
A1	50% en 50 años	72	2,5% en 50 años	1.975	0,5% en 50 años	9.975
A2	50% en 25 años	36	5% en 50 años	975	1% en 50 años	4.975
B1	--	--	7% en 50 años	689	1,5% en 50 años	3.309
B2	--	--	10% en 50 años	475	2% en 50 años	2.475
C	--	--	20% en 50 años	225	--	--

Figura 19. Tabla de Tipos de Sismos y Períodos Medios de Retorno
Fuente: COVENIN 1756:2018

Grupo	α
A2	1,5
B1	1,2
B2	1,0
C	0,7

Figura 20. Tabla de Factor de Importancia para Sismo de Diseño
Fuente: COVENIN 1756:2018

Sismo Extremo

Para los casos de sismo extremo, el factor de importancia correspondiente se encuentra previamente asignado según el grupo de uso (Ver Figura 21). Asimismo, se podrán realizar estudios de amenaza sísmica en el lugar geográfico de la construcción, con la finalidad de obtener los parámetros auxiliares para un período medio de retorno previamente establecido, de manera que se tomará como el máximo entre A_0^{PMR}/A_0 y A_1^{PMR}/A_1 , este valor no puede ser menor que el asignado en la Figura 21. Asimismo, el valor de T_L^{PMR} no se tomará menor que 0,9 T_L .

Grupo	α
A1	3
A2	2,4
B1	2
B2	1,85

Figura 21. Tabla de Factor de Importancia para Sismo Extremo

Fuente: COVENIN 1756:2018

Sismo Frecuente

Para casos de sismo frecuente en donde se presente ausencia del estudio especial de amenaza sísmica, el factor de importancia para los grupos de uso A1 y A2 serán 0,45 y 0,3 correspondientemente. Asimismo el período T_L^{PMR} se tomará como $0,85 T_L$.

De igual manera, se podrá realizar estudios de amenaza sísmica en el lugar geográfico de la construcción, con el propósito de obtener los parámetros auxiliares para un período medio de retorno previamente establecido, de manera que el factor de importancia será el máximo entre A_0^{PMR}/A_0 y A_1^{PMR}/A_1 , este valor no puede ser menor que 0,3 y 0,2 para el grupo de uso A1 y A2, respectivamente. De igual manera, el valor de T_L^{PMR} no se podrá ser menor que $0,75 T_L$.

2.2.7.4 Perfil y Parámetros Geotécnicos

En referencia a las características del sitio que se encuentra en estudio, se debe definir el mismo en base a uno o varios perfiles geotécnicos, esto depende de la extensión del sitio y de los conjuntos que representan las exploraciones efectuadas. Se debe tomar en consideración la clase de sitio, las condiciones topográficas y la profundidad al basamento rocoso, con la finalidad de definir de manera óptima el perfil geotécnico.

Clase de Sitio

Se refiere al grado de rigidez superficial que posee un perfil geotécnico. Para indicar de manera cuantitativa la rigidez mecánica de las capas de terreno, se emplea el uso de la velocidad de las ondas de corte (V_s), de manera que se puedan determinar las mismas para una velocidad promedio a los 30 metros superiores de profundidad

(Vs30). Su valor debe establecerse mediante medición directa o aproximación, y se estima de la siguiente manera:

Vs30 Calculado: Su valor puede ser determinado mediante los siguientes procedimientos:

A través de mediciones geofísicas in-situ que se encuentren debidamente calibradas, tales como: sondeos tipo pozo abajo ('down-hole') o pozos cruzados ('cross-hole'), mediciones sísmicas de refracción, mediciones de ondas superficiales tipo SASW o MASW, mediciones de ruido ambiental tipo ReMi.

Mediante perforaciones cuya profundidad sea de al menos 20 metros, o hasta el subsuelo, donde se cumpla que N_{SPT} (Número de golpes de ensayo de penetración estándar), esta medida debe ser sin correcciones o N_{SPT}^2 , de manera que se puedan aplicar los cálculos de ponderación del Vs30 correctamente.

Para todas aquellas estructuras que pertenezcan al Grupo A, y las que posean más de 20 pisos, se deben aplicar ambos procedimientos y tomar como valor de Vs30 el que genere un espectro de respuesta más desfavorable para la edificación que se encuentra en estudio.

Vs30 Aproximado: En aquellos casos en donde los Grupos de Uso sean B2 y C, de no más de 3 pisos, el Vs30 se puede estimar de la siguiente manera:

Implementando métodos indirectos que se encuentren sustentados estadísticamente, tales como los derivados del relieve o de características geomorfológicas.

Mediante extrapolaciones conservadoras, realizadas a través de exploraciones limitadas del terreno, con el propósito de definir fundaciones tales como calicatas.

Ponderación de Cálculo de Vs30: Cuando se implementen los procedimientos para el Vs30 Calculado, a las diversas capas con sus

respectivas características del terreno hasta los 30 metros de profundidad, cada una con espesor d_k ($k = 1, n$), se debe estipular un valor representativo para el número de golpes del ensayo de penetración estándar N_{SPT} y k , o para C_u y k . Para casos en donde las perforaciones no alcanzan los 30 metros de profundidad, se deben extrapolar estas propiedades desde su fondo hasta los 30 metros correspondientes.

Asimismo, se establece un valor de V_{sk} en función del parámetro medido, cumpliendo con las siguientes relaciones: $V_s = 0$ m/s, para $N_{SPT} = 0$; $V_s = 180$ m/s, para $N_{SPT} = 15$; $V_s = 360$ m/s, para $N_{SPT} = 50$. De manera que se pueda interpolar o extrapolar en otros casos los siguientes valores; $V_s(C_u) = 360 C_u$ (en m/s para C_u en kgf/cm^2).

En último lugar, se tomará como valor ponderado V_{s30} el promedio armónico aplicando la siguiente fórmula:

—

Finalmente, luego de realizar los cálculos pertinentes para determinar el V_{s30} , se asigna una clase de sitio en base a las descripciones cualitativas respectivas del terreno en estudio y el rango de V_{s30} asociado (Ver Figura 22).

CLASE	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA	V_{s30} (m/s)
A	Roca cristalina sana muy dura, sin fracturación ni meteorización notable.	> 1500
AB	Propiedades intermedias entre las clases A y B.	1300 a 1500
B	Roca dura o formación similar (e.g. conglomerados), con eventual fracturación y un máximo de 5 metros de espesor de meteorización con $V_s \geq 350$ m/s.	850 a 1300
BC	Propiedades intermedias entre las clases B y C.	450 a 850
C	1) Roca dura con espesor meteorizado superior a 5 metros. 2) Roca blanda (e.g. margas). 3) Arenas o gravas muy densas. 4) Arcillas muy duras.	400 a 650
CD	Propiedades intermedias entre las clases C y D.	300 a 400
D	1) Arenas o gravas densas a medio-densas. 2) Arcillas duras. 3) Arcillas firmes de menos de 10 metros de espesor.	200 a 400
DE	Propiedades intermedias entre las clases D y E.	170 a 200
E	1) Arenas sueltas o arenas limosas, con suficiente proporción de finos, no susceptibles de licuación, de acuerdo con 5.5. 2) Arcillas blandas, plásticas ($IP > 50$) u orgánicas, no incluidas en la Clase F.	120 a 170
F	Arenas o arenas limosas susceptibles de licuación, arcillas sensibles, suelos cementados cohesivos, turbas o arcillas orgánicas de más de 3 metros de espesor, arcillas con índice de plasticidad $IP > 75$ y más de 7 metros de espesor, arcillas firmes o blandas con más de 30 metros de espesor, rellenos artificiales con o sin pendiente y sitios con $V_{s30} < 120$ m/s. Se debe aplicar 5.11.	--

Figura 22. Tabla de Clase de sitio de los perfiles geotécnicos

Fuente: COVENIN 1756:2018

Profundidad al Basamento Rocoso

En lo que respecta a la profundidad del basamento rocoso (H), se define como el estrato de roca consolidada cuyo espesor de sedimentos hasta la roca posee un $V_s > 1.000$ m/s, y un contraste de impedancia con la capa sedimentaria mayor o igual que 1,5. Puesto que ya se han realizado estudios para la determinación de la profundidad al basamento rocoso, tal factor se puede medir o estimar según el tipo de sitio en que se encuentre ubicada la estructura en estudio (Ver Figura 23).

Del mismo modo, se puede determinar esta profundidad mediante procedimientos en donde se deba, según su grado de precisión, asumir una cota conservadora de H. Con la finalidad de realizar mediciones geofísicas, estudios de microzonificación sísmica avalados y con el respaldo de información geológica de la zona, definir o estimar el mayor valor probable de H. En ausencia de esta información relevante para el estudio, se debe asumir apropiadamente un valor conservador de H.

H (m)	F_A^H	F_V^H	F_D^H
0	1,00	0,98	0,93
10	1,00	1,00	0,96
30	1,00	1,00	1,00
60	1,00	1,02	1,05
100	1,01	1,05	1,10
200	1,02	1,08	1,20
300	1,03	1,10	1,30
500	1,05	1,20	1,60
750	1,07	1,30	2,10
≥ 1.000	1,10	1,40	2,80

Figura 23. Tabla de Factores de profundidad del basamento rocoso

Fuente: COVENIN 1756:2018

Condición Topográfica

Tocante a la condición topográfica, se logra definir entre sitios de poca pendiente y situaciones de ladera o cima. Se considera oportuno realizar la medición de las pendientes promedio topográficas, a través de mallas rectangulares con celdas

de proyección horizontal máxima de 30 metros dentro de la ladera. Para cada clase de sitio, se determina una condición topográfica que puede ser:

Condición topográfica leve: pendiente promedio menor de 40% o situado en la parte media inferior de una ladera con pendiente mayor a 40%.

Condición topográfica moderada: pendiente promedio entre 40% y 75%; situado en la parte media superior de una ladera o bien en la cima dentro de una distancia al borde de la pendiente del orden de la altura de la ladera.

Condición topográfica severa: Pendiente promedio mayor de 75%; situado en la parte media superior de una ladera o bien en la cima dentro de una distancia al borde de la pendiente del orden de la altura de la ladera.

2.2.7.5 Factores de Sitio

Se considera conveniente definir factores de sitio que permitan la construcción de los espectros elásticos básicos, con el propósito de proporcionar información óptima que posteriormente permitirá la elaboración de los espectros de diseño. Para ello, es indispensable el uso de los coeficientes de aceleración espectral horizontal, la clase de sitio, y las condiciones topográficas del terreno. Esto va a permitir que se puedan definir de manera exacta o interpolando, los factores de clase de sitio para períodos de vibración cortos, intermedios y largos (Ver Figura 24, 25, 26, 27).

A A ₀	CLASE DE SITIO								
	A	AB	B	BC	C	CD	D	DE	E
≤ 0,01	0,80	0,85	0,90	1,00	1,30	1,60	1,90	2,40	2,70
0,05	0,80	0,85	0,90	1,00	1,30	1,50	1,75	2,05	2,20
0,1	0,80	0,85	0,90	1,00	1,25	1,45	1,60	1,75	1,85
0,2	0,80	0,85	0,90	1,00	1,25	1,35	1,40	1,35	1,35
0,3	0,80	0,85	0,90	1,00	1,20	1,25	1,25	1,10	1,00
0,4	0,80	0,85	0,90	1,00	1,20	1,20	1,15	0,95	0,85
≥ 0,5	0,80	0,85	0,90	1,00	1,15	1,15	1,00	0,80	0,70

Figura 24. Tabla de Factor de clase de sitio para períodos cortos, F_A^C
Fuente: COVENIN 1756:2018

A A ₁	C L A S E D E S I T I O								
	A	AB	B	BC	C	CD	D	DE	E
≤ 0,01	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,80	2,30	3,30	4,00
0,05	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,75	2,20	3,00	3,30
0,1	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,75	2,10	2,70	3,00
0,2	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,70	2,00	2,50	2,70
0,3	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,70	1,95	2,30	2,45
0,4	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,65	1,90	2,15	2,30
≥ 0,5	0,80	0,85	0,90	1,00	1,40	1,65	1,85	2,00	2,15

Figura 25. Tabla de Factor de clase de sitio para períodos intermedios, F_v^C
Fuente: COVENIN 1756:2018

C L A S E D E S I T I O								
A	AB	B	BC	C	CD	D	DE	E
0,85	0,90	0,95	1,00	1,20	1,40	1,70	2,25	2,65

Figura 26. Tabla de Factor de clase de sitio para períodos largos, F_D^C
Fuente: COVENIN 1756:2018

Condición topográfica (Ver 5.2.2)	F_A^T	F_v^T	F_D^T
Leve	1,00	1,00	1,00
Moderada	1,20	1,10	1,05
Severa	1,40	1,20	1,10

Figura 27. Tabla de Factores de condición topográfica
Fuente: COVENIN 1756:2018

2.2.7.6 Factores de desempeño estructural

Para efectos de estudiar y posteriormente diseñar correctamente el comportamiento de la estructura ante acciones sísmicas, se precisa que la misma sea capaz de resistir sismos de baja intensidad sin sufrir daños estructurales significativos, sismos moderados con daños reparables y sismos de grandes intensidades sin que se produzca un colapso de la edificación. Para cumplir con esta filosofía de diseño, a cada edificación se le asignará un Factor de Reducción de Respuesta, un Factor de Reducción Básico, un Factor de Redundancia, un Factor de Irregularidad, un Factor de Sobrerresistencia y un Factor de Amplificación de Desplazamiento. Es importante que los tipos y subtipos estructurales, cumplan con las limitaciones de altura correspondientes.

Factor de Reducción de Respuesta

El Factor de Reducción de Respuesta (R), se encuentra definido por:

Donde

F_I = Factor de Irregularidad.

R_0 = Factor de Reducción Básico.

El Factor de Reducción R que resulte de aplicar la ecuación anterior, no debe ser menor que 1,5 en el diseño de nuevas construcciones. Para construcciones existentes deben aplicarse otros criterios específicos que sugiere la Norma.

Factor de Redundancia Es aquel que se encarga de medir la capacidad de incursionar la estructura en el rango no lineal, ya que permite pasar del espectro elástico al inelástico dependiendo de ciertas variables, a su vez este depende del tipo estructural I, II y III. Una edificación puede estimar factores de redundancia diferentes dependiendo de sus dos direcciones horizontales de análisis (Ver Figura 28).

Planos Sismorresistentes: Se deben tomar en consideración planos sismorresistentes que sean aproximadamente paralelos y continuos verticalmente, para entrepisos cuyas fuerzas cortantes excedan el treinta y cinco por ciento (35%) de la fuerza cortante en la base. Para los casos de muros continuos, el número de vanos equivalentes se obtiene a partir del cociente de la longitud del muro entre la altura del entrepiso.

aquel diseño de miembros, conexiones, elementos colectores y empalmes donde se requiera la aplicación del Factor de Sobrerresistencia o en la combinación de las acciones sísmicas. Asimismo, cumple dicha condición en caso de que se realice un diseño de componentes no estructurales o para el diseño de muros con acciones fuera de su plano, incluyendo sus

anclajes. De igual manera, cumple para todo aquel diseño de estructuras con aislamiento sísmico o disipadores de energía o para todas aquellas cargas que se encuentren sobre diafragmas. Igualmente cumple para aquellas ocasiones en donde la edificación pertenezca al Tipo de Estructura IV, ya que su baja redundancia se encuentra incorporada en el Factor de Reducción.

Factor de Irregularidad (F_I): Es aquel que se encuentra asociado a cada tipo de irregularidad estructural. Se determina mediante valores preestablecidos según sea el caso que presente la edificación, si la construcción posee más de una irregularidad, su valor será el producto de los factores asociados a cada irregularidad, pero no podrá ser menor que 0,70. Si la construcción no posee las irregularidades indicadas, el valor de F_I es igual a uno (Ver Figura 29).

Factor de Reducción Básico (R_0): Se encuentra definido por el Tipo/Subtipo Estructural, también depende del sistema sismorresistente, del material y del Nivel de Diseño. Los valores correspondientes a este factor se determinan con base en diferentes normas estipuladas de diseño según sea el caso (Ver Figura 30):

Estructuras Prefabricadas: Para el diseño de estructuras prefabricadas de concreto armado se debe cumplir con lo establecido en la norma europea EN-1998-1:2004. Los Niveles de Diseño ND3, ND2 y ND1 de esta norma se corresponden con los DCH, DCM y DCL de la norma europea, respectivamente. Opcionalmente pueden utilizarse las prescripciones de la Norma ACI-318.

Estructuras de Adobe: En el diseño de estructuras de adobe se debe cumplir con las respectivas condiciones para refuerzo especial, que se encuentran estipuladas de la norma del Perú MVCS E.080.

Normas de Diseño: Se refiere a aquellas normas que deben aplicarse según sea el caso de estructuración y el material de construcción. Se define en base a las siguientes abreviaturas:

A: Estructuras de acero y mixtas de acero/concreto: COVENIN 1618. Opcionalmente la Norma AISC 341.

AD: Construcciones de adobe: MVCS E.080.

C1: Para estructuras de concreto armado: NTF 1753.

C2: Estructuras prefabricadas de concreto armado: NTF 1753 y Eurocode 8, también se puede emplear el uso de la Norma ACI-318.

C3: Para estructuras de concreto armado con losas armadas en dos direcciones sin vigas: NTF 1753 y ACI-318.

MD: Para construcciones de madera: Eurocode 8.

o)

Se refiere al factor que se encuentra definido para cada Subtipo Estructural al que pertenezca la edificación, y al material de construcción empleado en la misma. En la Norma se definen combinaciones de los efectos sísmicos en donde se incluyen

o) con fines de diseño estructural. También se especifican las pautas que se deben aplicar a los elementos con exigencias de diseño (Ver Figura 30).

Factor de Amplificación de Desplazamiento (C_d)

Se refiere al factor que se utiliza para determinar el desplazamiento lateral total para cada nivel de la estructura. Este coeficiente se estipula con base en el tipo/subtipo estructural, el sistema sismorresistente, los materiales y el nivel de diseño empleado (Ver Figura 30).

Sistema Estructural*	ρ
Posee al menos tres planos sismorresistentes en la dirección de análisis, cada uno de ellos con al menos tres vanos.	1,0
Posee al menos dos planos sismorresistentes en la dirección de análisis, cada uno de ellos con al menos dos vanos.	0,80
Posee al menos dos planos sismorresistentes en la dirección de análisis, con un sólo vano.	0,65
Posee un sólo plano sismorresistente en la dirección de análisis.	0,50

* No se permite interpolar entre casos intermedios.

Figura 28. Tabla de

Fuente: COVENIN 1756:2018

Irregularidad (ver 3.6.2)	F_I
Vertical: c) Distribución irregular de masas de uno de los pisos contiguos	0,9
Vertical: d) Aumento de las masas con la elevación	0,9
Vertical: e) Variaciones en la geometría del sistema estructural	0,9
Vertical: f) Esbeltez excesiva	0,9
Vertical: g) Discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales	0,8
Vertical: h) Falta de conexión entre miembros verticales	0,9
En planta: a) Gran excentricidad	0,7
En planta: b) Riesgo torsional elevado	0,7
En planta: c) Sistema no ortogonal	0,9
En planta: d) Diafragma flexible	0,9

Figura 29. Tabla de Factor de Irregularidad (F_I)

Fuente: COVENIN 1756:2018

Tipo Subtipo	Sistema Sismorresistente	Material / Norma (ver 6.2.4.3)	R ₀			Ω ₀	C _d		
			ND3	ND2	ND1		ND3	ND2	ND1
I-a	Pórticos de concreto armado (vigas y columnas)	Concreto / C1	6	4	2	3	4%	3%	1%
	Pórticos de acero estructural (vigas y columnas)	Acero / A	6	3½	2½	3	4%	3%	2%
	Pórticos mixtos restringidos (vigas y columnas)	Ac. - conc. / A	6	4	2½	3	4%	3%	2
	Pórticos mixtos parcialmente restringidos (vig + col.)	Ac. - conc. / A	-	4%	-	3	-	4%	-
	Pórticos de madera con espigas y pemos (vig + col.)	Madera / MD	4	2½	-	3	4	2½	-
	Pórticos prefabricados de concreto armado	Concreto / C2	4½	3	1 ^{1/2}	3	4%	3	1 ^{1/2}
I-b	Pórticos de acero con vigas de celosía conectadas a momento	Acero / A	5	-	2	3	4	-	1%
I-c	Pórticos de acero con columnas articuladas en la base.	Acero / A	4½	3½	2	3	3%	3	1%
I-d	Losas macizas o reticulares sobre columnas, sin vigas.	Concreto / C3	-	3	1½	3	-	3	1½
	Losas macizas sobre muros, sin vigas ni muros en una dirección. Análisis en esa dirección.	Concreto / C1	-	-	1½	3	-	-	1½
	Losas nervadas sobre vigas y columnas, sin vigas en la dirección de los nervios. Análisis en esa dirección.	Concreto / C1	-	-	1½	3	-	-	1½
II-a	Sistema dual de pórticos y muros con dinteles dúctiles, pórticos arriostrados excéntricamente o de pandeo restringido, combinación de I-a y III-a. (Véase 6.5.2 y C.6.5.2).	Concreto / C1	5½	4½	-	2½	4%	3½	-
		Acero / A	6	5	-	2½	4%	3½	-
		Ac. - conc. / A	6	5	-	2½	4%	3½	-
II-b	Sistema dual de pórticos y muros, pórticos arriostrados concéntricamente o paneles, combinación de I-a y III-b. (Véase 6.5.2 y C.6.5.2)	Concreto / C1	5	4½	2½	2½	4	3½	2½
		Acero / A	5	4	3	2½	4	3½	3
		Ac. - conc. / A	5	4	2½	2½	4%	3½	2½
	Sistema dual prefabricado, de pórticos y muros, combinación de I-a y III-b.	Concreto / C2	-	2½	1 ^{1/2}	2½	-	2½	1 ^{1/2}
III-a	Muros de conc. Arm. Acoplados con dinteles dúctiles.	Concreto / C1	5	-	-	2½	4%	-	-
	Pórticos de acero con arriostramientos excéntricos acoplados con eslabones dúctiles.	Acero / A	6	-	-	2	4%	-	-
	Pórticos con arriostramientos de pandeo restringido.	Acero / A	6	-	-	2½	4%	-	-
	Pórticos mixtos con arriostramientos excéntricos acoplados con eslabones dúctiles de acero.	Ac. - conc. / A	6	-	-	2½	4%	-	-

Tipo Subtipo	Sistema Sismorresistente	Material / Norma (ver 6.2.4.3)	R ₀			Ω ₀	C _d		
			ND3	ND2	ND1		ND3	ND2	ND1
III-b	Muros de concreto armado sin dinteles dúctiles	Concreto / C1	4½	-	3½	2½	3%	-	3%
	Muros de pared delgada sin elementos de borde: para análisis en la dirección de los muros	Concreto / C1	3	-	2	2½	2%	-	2
	Pórticos con arriostramientos concéntricos	Acero / A	4½	-	2½	2	3%	-	2½
		Ac. - conc. / A	4	-	2	2	3%	-	2
	Paneles de acero	Acero / A	5	-	-	2	4%	-	-
	Paneles y diafragmas de madera clavados, conectados con clavos y/o pemos	Madera / MD	4	-	-	2½	4	-	-
	Elementos estructurales livianos de acero (perfiles doblados en frío) con arriostramientos diagonales y cubiertos con paneles de madera o láminas de acero.	Acero-madera/AMD	3	-	-	2,5	3	-	-
	Muros mixtos	Ac. - conc. / A	4	-	3	2½	3%	-	3
	Paneles mixtos	Ac. - conc. / A	4½	-	-	2½	4	-	-
	III-c	Muros prefabricados de concreto armado	Concreto / A	-	2	1 ^{1/2}	2½	-	2
Muros de mampostería con refuerzo interior	conc., arcilla/MP	-	2½	-	2½	-	2½	-	
Muros de mampostería de piezas macizas, confinados	conc., arcilla/MP	-	3	-	2½	-	3	-	
Muros de mampostería de piezas huecas, confinados	conc., arcilla/MP	-	2	-	2½	-	2	-	
Paneles y diafragmas de madera encolados, conectados con clavos y/o pemos.	Madera / MD	-	2	-	2½	-	2	-	
Paneles de madera clavados, con diafragmas encolados, conectados con clavos y/o pemos.	Madera / MD	-	3	-	2½	-	3	-	
Elementos estructurales livianos de acero (perfiles doblados en frío) con arriostramientos diagonales y cubiertos con paneles de otro material distinto a la madera o al acero.	Acero/A	-	2	-	2,5	-	2	-	
Muros de adobe con refuerzo especial (ver I.3.7).	Adobe / AD	-	-	1 ^{1/2}	2½	-	-	1 ^{1/2}	
IV	Estructuras sustentadas por una sola columna o por varios planos resistentes cuando más de la mitad de dichos planos poseen una sola columna cada uno, en la dirección del análisis.	Concreto / C1	2	1%	1 ^{1/2}	1½	2	1%	1 ^{1/2}
		Acero / A	2	1%	1 ^{1/2}	1½	2	1%	1 ^{1/2}
		Madera / MD	2	1%	1 ^{1/2}	1½	2	1%	1 ^{1/2}
		Ac. - conc. / A	2	1%	1 ^{1/2}	1½	2	1%	1 ^{1/2}

Figura 30. Tabla de Norma de Diseño, Factor de Reducción Básico (R₀), Factor de ω y Factor de Amplificación del Desplazamiento (C_d) para los Tipos/Subtipos estructurales de acuerdo al Sistema Sismorresistente, Material y Nivel de Diseño

Fuente: COVENIN 1756:20

2.2.7.7 Espectro de Diseño

Con el propósito de aplicar cálculos y criterios de verificación a estructuras, bajo comportamientos probabilísticos que representen la sismicidad del lugar, se realizan los espectros de diseño. Se especifica el espectro de respuesta elástica, el espectro de diseño y el espectro de desplazamientos para las dos componentes horizontales y la componente vertical del movimiento sísmico.

Espectro de Respuesta Elástica

Este se construye en base al Grupo de Uso al que pertenezca la edificación, al movimiento sísmico que se experimente y al Factor de Importancia. Los espectros de respuesta elástica son empleados para un coeficiente de amortiguamiento de cinco por ciento (5%), que a su vez se encuentren asociados a una componente horizontal del movimiento sísmico, éstos se definen de la siguiente manera:



Donde

A (T): Es la ordenada adimensional del espectro de respuesta elástica de la componente horizontal del sismo para el periodo de vibración T (segundos).

A (T) es igual a la pseudo-aceleración espectral dividida entre la aceleración de gravedad (g).

T: Período de vibración.

$$A_A = F_A \quad 0$$

$$A_V = F_V \quad A_1$$

$$F_A = F_A^C \quad F_A^H \quad F_A^T$$

$$F_V = F_V^C F_V^H F_V^T$$

$$F_D = F_D^C F_D^H F_D^T$$

$$= 2,4$$

$$* = \max \quad \text{—}$$

En el caso en donde los valores del coeficiente de amortiguamiento sean diferentes a cinco por ciento (5%), el factor de amplificación será determinado en base a otro procedimiento descrito más adelante.

$$T_A = 0,20 T_B$$

A

$$T_B = 0,25 T_C$$

$$T_C = \text{—} \text{—}$$

$$T_D = T_L \text{—}$$

A_0 y A_1 : Corresponden a los coeficientes adimensionales de la aceleración del terreno, y la pseudo-aceleración espectral para un período estructural de 1 s, para una determinada componente sísmica horizontal actuante. Pertenecen a la Clase

de cinco por ciento (5%) y período de retorno de 475 años.

F_A^C , F_V^C , F_D^C : Factores de clase de sitio, para períodos de vibración cortos, intermedios y largos.

F_A^H , F_V^H , F_D^H : Factores de profundidad del basamento rocoso, para períodos de vibración cortos, intermedios y largos.

F_A^T , F_V^T , F_D^T : Factores de condición topográfica, para períodos de vibración cortos, intermedios y largos.

q: Coeficiente de la rama espectral para períodos largos (Ver Figura 31).

T_L : Período característico.

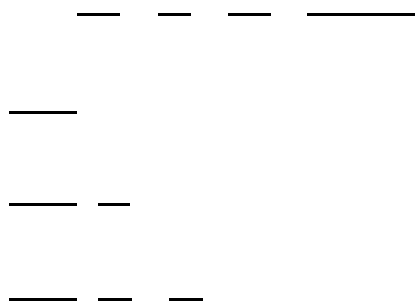
Clase de Sitio	q
A, AB, B	1,5
BC, C	1,7
CD, D	1,9
DE, E	2,0

Figura 31. Tabla de Valores del coeficiente q

Fuente: COVENIN 1756:2018

Espectro de Diseño

Este se obtiene mediante el Grupo de Uso al que se encuentre asignada la estructura, al movimiento sísmico que se experimente y al Factor de Importancia. Los espectros de diseño son determinados para un coeficiente de amortiguamiento de cinco por ciento (5%), que a su vez experimentan una componente horizontal del movimiento sísmico. Se definen de la siguiente manera:



Donde

A(T): Se refiere a la ordenada adimensional del espectro de diseño de la componente horizontal del sismo para el periodo de vibración T (segundos). $A_d(T)$ es igual a la pseudo-aceleración espectral dividida entre la aceleración de gravedad (g).

R: Factor de Reducción de Respuesta.

T^+ : Período característico, está acotado según la siguiente fórmula:

$$0,25 T_C + c \text{ (Ver Figura 32).}$$

R	T ⁺
R < 5	0,1 (R-1)
R ≥ 5	0,40

Figura 32. Tabla de Valores del período T⁺ en segundos

Fuente: COVENIN 1756:2018

2.2.7.8 Coeficiente Sísmico (C)

El coeficiente sísmico (C) se define mediante la siguiente ecuación:

—

Donde

V₀ = Se refiere a la Fuerza Cortante en la Base de la construcción, en cada dirección horizontal.

W = Peso Sísmico Efectivo de la estructura.

Se debe cumplir que el valor del Coeficiente Sísmico C no será menor que C_{min}, el cual se determina mediante la fórmula:

—

Donde

A_A = Coeficiente de la aceleración del terreno.

R = Factor de Reducción.

2.2.7.9 Método de Análisis Estático Elástico

En lo que respecta al análisis estático elástico, es un método que permite estudiar el comportamiento de las estructuras al aplicarse fuerzas de carga laterales y torques que simulan la acción sísmica. Para la aplicación de este método, se debe tener en consideración las siguientes condiciones: se aplica a estructuras que posean diafragmas rígidos (Ver Figura 33). Se considerará N como el número de niveles por encima del Nivel Base, en el último nivel (N) de la estructura, pueden apoyarse apéndices y componentes no estructurales. El análisis de estos elementos será de manera individual como lo estipula la Norma y los mismos se añadirán al peso propio

de la estructura. Asimismo, la altura de la edificación (h_n) se podrá determinar como la existente que va desde el Nivel de Base hasta el último nivel (N), excluyendo los apéndices y elementos no estructurales existentes.

Características de la Construcción	Requerimiento mínimo
Regular (ver 3.6.1) que no excede 10 pisos ni 30 metros.	• Método de Análisis Estático Elástico (ver 9.4).
Regular (ver 3.6.1) que excede 10 pisos ó 30 metros.	• Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5).
Irregular (ver 3.6.2).	• Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5).
Construcciones pertenecientes al Grupo A1 (ver 3.2.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5): diseño con el Sismo de Diseño. Verificación del nivel de desempeño operacional con el Sismo Frecuente en sitios con amenaza $A_s > 0,1$ (ver 8.7). • Método de Análisis Inelástico de Respuesta en el Tiempo (ver 9.6.2): verificación del nivel de prevención del colapso con el Sismo Extremo en sitios con amenaza $A_s > 0,1$ (ver 8.8).
Construcciones pertenecientes al Grupo A2 (ver 3.2.1).	• Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5): diseño con el Sismo de Diseño. Verificación del nivel de desempeño operacional con el Sismo Frecuente en sitios con amenaza $A_s > 0,1$ (ver 8.7).
Construcciones de carácter repetitivo (ver 3.2.4).	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5): diseño con el Sismo de Diseño. • Método de Análisis Inelástico (ver 9.6): verificación del nivel de prevención del colapso con el Sismo Extremo, en sitios con amenaza $A_s > 0,2$ (ver 8.8).
Construcciones con aislamiento sísmico o con disipadores de energía (ver 9.8 y 9.9).	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Análisis Dinámico Elástico (ver 9.5): diseño con el Sismo de Diseño. • Método de Análisis Inelástico de Respuesta en el Tiempo (ver 9.6.2): verificación del nivel de prevención del colapso con el Sismo Extremo en sitios con amenaza $A_s > 0,1$ (ver 8.8).

Figura 33. Tabla de Requerimiento mínimo de análisis

Fuente: COVENIN 1756:2018

Fuerza cortante en la base (V_0)

Se refiere a la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, esto permite que una fuerza, también catalogada cortante, se refleje en la base de la edificación. Dichos cortantes en cada piso son aplicaciones de fuerza sísmica en ciertos niveles, y que se van acumulando a medida que se acerca a la base de la estructura. Esta fuerza se determina mediante la siguiente fórmula:

Donde

A_d = Ordenada del espectro de diseño para el período T.

W = Peso sísmico efectivo de la estructura.

= Factor de modificación de cortantes. Se considera el mayor valor resultante de la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{V_i}{V_b} = \frac{1}{1 + \frac{2.5}{T_c} \left(\frac{T_c}{T} \right)^{0.5}}$$

Donde

N = Número de niveles.

T = Período fundamental de la estructura.

T_c = Período característico del espectro.

Se debe tener en consideración que el Coeficiente Sísmico C calculado con la Fuerza Cortante en la Base debe ser mayor o igual que el Coeficiente Sísmico mínimo. Cuando C sea menor que C_{min}, se deben multiplicar las fuerzas de diseño por la relación C_{min}/C.

Período Fundamental

Se refiere al período de vibración que experimenta la estructura y se estipula para cada una de las dos direcciones horizontales de análisis de la edificación. Su valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$T = 0.1 + 0.075 \sum_{i=1}^N \frac{W_i}{W}$$

Donde

W_i = Peso sísmico efectivo del nivel i.

u_i = Es el desplazamiento lateral del nivel i, se calcula a través de un análisis elástico de la estructura bajo la acción de las fuerzas laterales Q_i.

N = Número de niveles de la edificación.

g = Aceleración de la gravedad.

Q_i = Fuerza lateral aplicada en el centro de masas del nivel i del edificio, definida por la siguiente ecuación:

Donde

W = Peso sísmico efectivo de la estructura.

h_i = Altura del nivel i medida desde el Nivel de Base.

Se debe tener en cuenta que el modelo de la estructura no debe incluir las paredes y tabiques de relleno. Asimismo, el período fundamental T calculado no debe a (Ver Figura 34).

Período Fundamental Aproximado

Se propone su determinación como alternativa al método del período fundamental T , en donde éste valor puede tomarse igual al de T_a según la siguiente expresión:

Donde

T_a = Período fundamental aproximado (segundos).

h_n = Altura (metros) de la edificación.

C_t = Factor para determinar el período fundamental de la estructura (Ver Figura 35).

Coefficiente de Aceleración A_A	σ
$A_A \leq 0,10$	1,7
$0,10 < A_A \leq 0,20$	1,55
$A_A > 0,20$	1,4

Figura 34. Tabla de
Fuente: COVENIN 1756:2018

Tipo estructural	C_t
Pórticos de concreto armado (Subtipo I-a)	0,07
Pórticos de acero (Subtipo I-a)	0,08
Pórticos de acero con arriostramiento excéntrico (Subtipos III-a y II-a)	0,075
Pórticos de acero con arriostramiento de pandeo restringido (Subtipos III-a y II-a)	0,075
Otros	0,05

Figura 35. Tabla de Valores de C_t para determinar T_a
Fuente: COVENIN 1756:2018

2.2.7.10 Distribución de Fuerzas Sísmicas

La fuerza cortante en la base determinada, se distribuye como se indica a continuación:

La Fuerza Cortante en la Base para cada dirección de análisis, se distribuye entre los niveles de la edificación de manera que se satisfaga la siguiente fórmula:

Donde

F_t = Fuerza lateral concentrada en el último nivel N, calculada mediante la siguiente ecuación:

—

Dicho valor debe cumplir con los siguientes límites:

F_i = Fuerza lateral correspondiente al nivel i, calculada según la siguiente fórmula:

—————

W_i = Peso sísmico efectivo del nivel i , incluyendo los apéndices o componentes no estructurales que estén conectados al nivel.

H_i = Altura medida desde el Nivel Base, hasta el nivel i .

Las fuerzas F_i y F_t deben ser aplicadas en los centros de masa de los respectivos niveles.

La fuerza cortante V_j en el entrepiso j se obtiene mediante la suma de las fuerzas laterales F_k aplicadas en los niveles superiores:

La fuerza cortante en cada entrepiso se distribuirá entre los diferentes planos resistentes verticales que conforman el sistema estructural, proporcionalmente a las rigideces relativas de dichos elementos.

2.2.7.11 Rigideces de los Elementos Estructurales

Las rigideces se determinarán siguiendo los siguientes criterios:

Los módulos de elasticidad de los materiales están dados en las respectivas normas de diseño.

El modelado de los elementos estructurales, miembros y juntas, debe incluir las deformaciones por flexión, corte, fuerza axial y torsión, que tengan influencia significativa en la respuesta sísmica.

En el caso de estructuras regulares del Tipo I y IV pueden considerarse exclusivamente deformaciones por flexión hasta 10 pisos y esbeltez menor de 4; para alturas y esbelteces mayores deben incluirse las deformaciones por fuerza axial y cortante. En sistemas diagonalizados de cualquier altura (dentro de los tipos II y III) deben incluirse siempre las deformaciones por fuerza axial; en caso de arriostramientos excéntricos deben incluirse las distorsiones por cortante en los eslabones de acople. En los muros y sus dinteles de acoplamiento (dentro de los tipos II y III) deben incluirse siempre las deformaciones por flexión y cortante. Deben considerarse las

deformaciones torsionales en los elementos en los cuales la torsión sea necesaria para el equilibrio o sea exigidas por la norma de diseño. En edificaciones irregulares torsionalmente, debe incluirse la deformabilidad a torsión de eje vertical de los núcleos de muros interconectados.

Las vigas y columnas pueden modelarse con sus segmentos de intersección rígidos a flexión. En el caso de pórticos mixtos de acero-concreto parcialmente restringidos se debe incluir la flexibilidad del panel de conexión e incorporar su incidencia en las derivas de piso.

En el caso de miembros de concreto armado y de mampostería, para el análisis usando los métodos de análisis elásticos, se usarán las rigideces a flexión de las secciones agrietadas, en situación de cedencia del acero de refuerzo. En estructuras mixtas de acero-concreto se usarán las rigideces efectivas dadas en las normas de materiales.

En los casos indicados en los criterios de las rigideces de los elementos estructurales, en el caso de la acción del Sismo de Diseño y del Sismo Extremo, los momentos de inercias de las secciones agrietadas son los indicados en la tabla 21 (Ver Figura 36). Adicionalmente en el caso de muros de concreto armado y muros de mampostería el área de la sección agrietada para el cálculo de la rigidez efectiva a corte se tomará 0,50 veces el área de la sección gruesa.

Elemento estructural	Momento de Inercia
Columnas	0,70 I_g
Muros no agrietados	0,70 I_g
Muros agrietados	0,35 I_g
Vigas	0,35 I_g
Losas sin vigas	0,25 I_g

Figura 36. Tabla de Momentos de inercia de secciones agrietadas
Fuente: COVENIN 1756:2018

Donde

H_i = Diferencia de altura entre el nivel i y el nivel $i-1$.

El resultado obtenido se debe comparar con la tabla 25 de la norma, ya que allí se establecen los límites de la relación de deriva lateral total para el Sismo de Diseño. (Ver Figura 37).

Tipo y disposición de los elementos no estructurales	Grupo de Uso		
	A1, A2	B1	B2, C
Componentes frágiles susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0,008	0,010	0,012
Componentes dúctiles susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0,012	0,016	0,018
Componentes no susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0,016	0,020	0,022

Figura 37. Tabla de Valores Límites de la relación de deriva total para el Sismo de Diseño

Fuente: COVENIN 1756:2018

2.2.8 Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16

La Norma de Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras, tiene como propósito promover estándares que reflejen metodologías justas y criterios razonables, con la finalidad de preservar la salud pública, la seguridad y el bienestar de las personas.

Se encuentra elaborada por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (en inglés American Society of Civil Engineers), se refiere profesionales que pertenecen a este colegio y representan ingenieros civiles de todo el mundo, ésta asociación se considera una de las más antiguas de ingeniería en Estados Unidos.

2.2.8.1 Zonificación y Amenaza Sísmica

Se hace referencia a los mapas de zonificación de riesgo sísmico, que se encuentran desglosados a nivel de condados para un suelo firme. Allí se logra determinar los parámetros de aceleración de respuesta espectral, definidos por el

posible colapso que puede experimentar una estructura ante los efectos de un sismo máximo considerado (MCE_R). A su vez, este depende de la aceleración máxima del terreno (PGA), que sufre un suelo ante acciones sísmicas en una determinada locación. Los parámetros de aceleración espectral obtenidos en los mapas de amenaza sísmica, se encuentran definidos para períodos cortos de tiempo correspondientes a 0,2 segundos (S_s) y períodos largos de tiempo de 1 segundo (S_1). (Ver Figura 38).

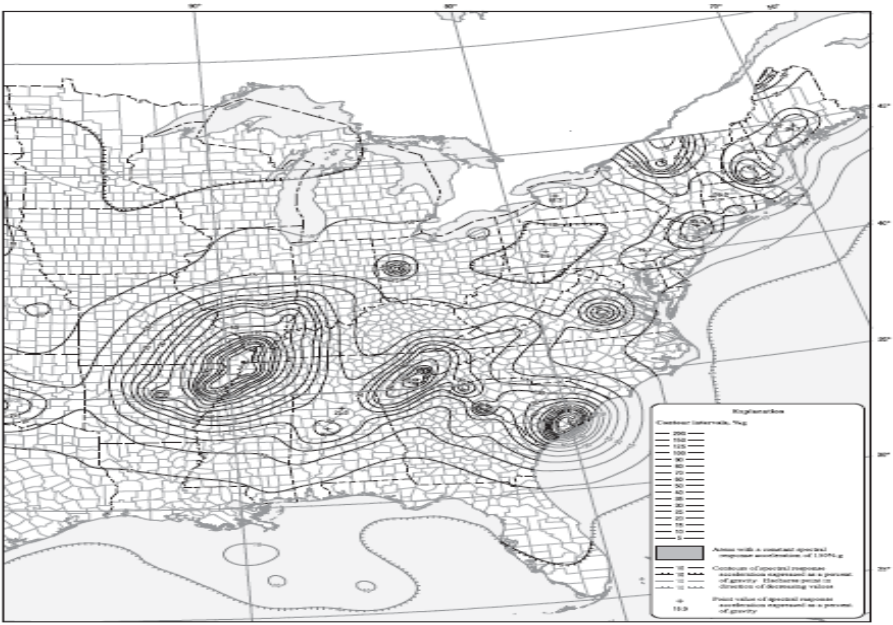


Figura 38. Categoría de Riesgo para el Máximo Sismo Considerado con un período de 0.2sg (S_s)

Fuente: ASCE 7-16

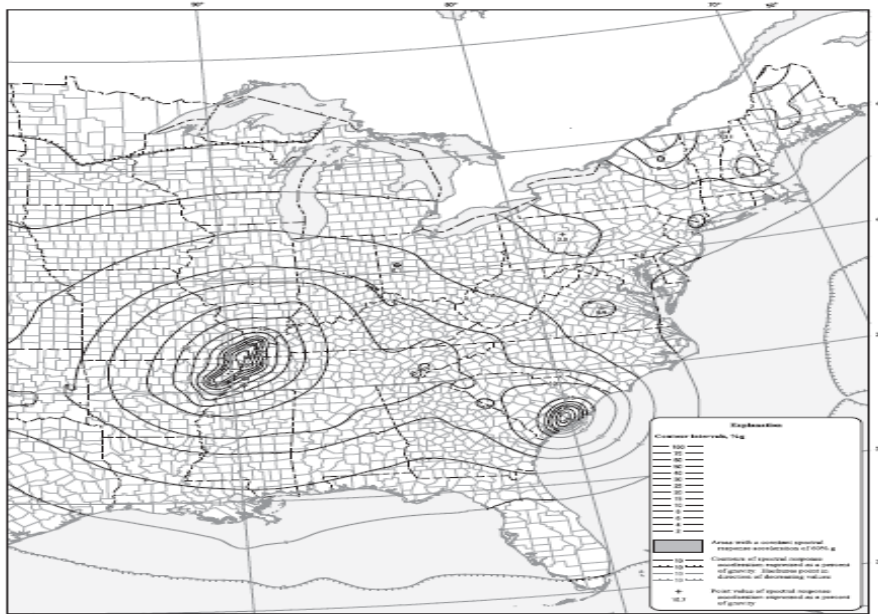


Figura 39. Categoría de Riesgo para el Máximo Sismo Considerado con un período de 1sg (S_1)

Fuente: ASCE 7-16

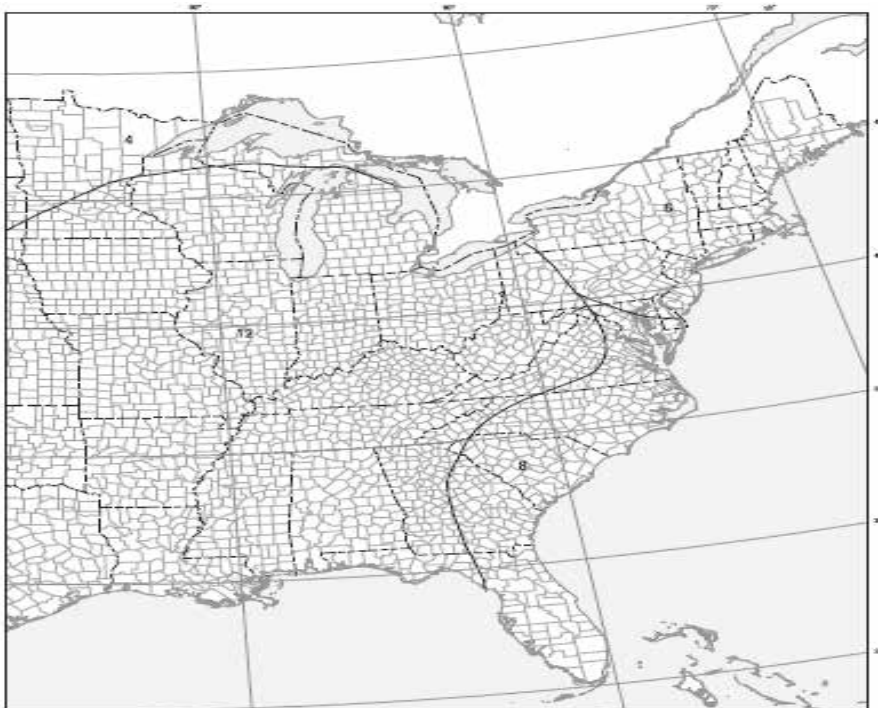


Figura 40. Mapa de Período de Transición T_L en segundos

Fuente: ASCE 7-16

2.2.8.2 Clase de Sitio

Clasificación Según Tipo de Suelo

Con base en las propiedades del suelo del lugar en estudio, se debe clasificar el mismo de acuerdo a ciertas especificaciones previamente establecidas, basadas en el perfil estratigráfico de los últimos 30 metros de profundidad. En la Norma se desglosa los terrenos en 6 Clases de Sitio, en función de la velocidad de propagación de ondas cortantes y la resistencia cortante en estado no drenado. En líneas generales, los suelos se clasifican como roca, suelo firme, y suelo blando.

Para altas Categorías de Diseño Sísmico, se exige una evaluación del potencial de licuación del subsuelo en el sitio de fundación. Ésta clasificación del subsuelo puede ser determinada por un profesional con experiencia que posea información del área. Si no hay data disponible, se adoptará el Tipo D, salvo que la autoridad competente en el lugar dictamine que en el sitio hay suelo Tipo E o F (Ver Figura 41).

Tipo de Suelo	Identificación	Valores Vs30 (m/sg)	Valor del Ensayo SPT	Promedio de la Resistencia al Corte no Drenado (kgf/cm ²)
A	Roca dura	> 1524	NA	NA
B	Roca	762 a 1524	NA	NA
C	Suelo muy denso a roca blanda	365 a 762	> 50	> 0.98
D	Suelo rígido	182 a 365	15 a 50	0.49 a 0.98
E	Arcillas blandas	< 182	< 15	< 0.49
F	Suelos que requieren un análisis de respuesta	En la sección 20.3.1 de la ASCE 7-16, se establecen las condiciones para clasificar este tipo determinado de suelo.		

Figura 41. Tabla de Clase de Sitio

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Coefficientes de Clase de Sitio (F_a y F_v)

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se determinan los coeficientes de clase de sitio para cortos períodos de tiempo (F_a) y largos períodos de tiempo (F_v). Éstos van a depender de la Clase de Sitio según su tipo de suelo, y los coeficientes de aceleración espectral que se encuentran en los mapas de amenaza sísmica para cortos y largos períodos de tiempo S_s y S_1 correspondientemente (Ver Figuras 42, 43).

Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para cortos períodos de tiempo $\rightarrow 0,2s_g (S_s)$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
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	Ver Sección 11.4.8		
F	Ver Sección 11.4.8					

Figura 42. Tabla de Coeficiente de Sitio para períodos cortos (F_a)

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para largos períodos de tiempo $1s_g \rightarrow (S_1)$					
	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.0$	$S_1 = 1.25$	$S_1 \geq 1.5$
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	Ver Sección 11.4.8				
F	Ver Sección 11.4.8					

Figura 43. Tabla de Coeficiente de Sitio para períodos largos (F_v)

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se calculan los parámetros de aceleración y respuesta espectral para períodos cortos (S_{MS}) y para períodos de 1 segundo (S_{M1}), ambos coeficientes se encuentran ajustados para los efectos ocasionados en cada clase de sitio. Para obtener su valor se emplean las siguientes ecuaciones:

2.2.8.3 Espectro de Respuesta

Parámetros de Aceleración de Diseño Espectral

Con la finalidad de determinar los parámetros de aceleración para el diseño de respuesta espectral, se establece uno para períodos cortos de tiempo (S_{Ds}) y para períodos de 1 segundo (S_{D1}). Para ello, se deben emplear las siguientes fórmulas:

—

—

Diseño del Espectro de Respuesta

Cuando se requiere diseñar el espectro de respuesta, la Norma se basa en ciertos criterios en donde no se utilizan procesos de movimiento para terrenos específicos, sino que se aplica un procedimiento estándar que permite terminar de definir la forma del espectro en función del período fundamental de vibración de la estructura (T) en segundos. Dicho proceso se realiza de la siguiente manera:

Se asigna el valor de T_L según se indica en los mapas de amenaza sísmica.

Se determina T_0 y T_s aplicando las siguientes fórmulas:

—

—

Para períodos menores a T_0 , se debe calcular un parámetro S_a que corresponde al diseño de aceleración de respuesta espectral, se calcula mediante la siguiente expresión:

—

Para períodos mayores o iguales a T_0 y menores o iguales a T_s , la aceleración de diseño espectral S_a será igual al valor de S_{DS} .

En el caso donde los períodos sean mayores a T_s y menores o iguales a T_L , S_a deberá calcularse mediante la siguiente ecuación:

—

Para períodos mayores a T_L , el parámetro S_a se define a través de la siguiente fórmula:

—

Amenaza de los movimientos del terreno

Los criterios que se dan a continuación aplican cuando se requiera un estudio de sitio dirigido al cálculo de la peligrosidad sísmica. Esto puede ser necesario en el caso de suelos Tipo F, en las cercanías de fallas activas, o en casos donde así lo requiera el propietario de la obra. Para estructuras en las cuales se haya previsto el aislamiento sísmico o sistemas de amortiguamiento, ubicadas en localidades donde S_1

El análisis de peligrosidad sísmica tomará en consideración el escenario sismotectónico de la región, la geología y sismicidad, incluida en lo posible eventos conocidos del período pre-instrumental, tasas medias de recurrencia y máximas magnitudes asignadas a las fallas activas conocidas o a zonas sismogénicas, las regresiones de atenuación y sus incertidumbres, efectos de campo cercano, así como las condiciones locales del subsuelo. En este último caso y cuando proceda se llevará a cabo un estudio de sitio.

2.2.8.4 Categoría de Riesgo y Factor de Importancia

Categoría de Riesgo

En lo que respecta a las categorías de riesgo, los edificios y otras estructuras deberán clasificarse de acuerdo al peligro que ocasione dicha estructura en el posible caso de un colapso. Es decir, su categoría depende netamente de las consecuencias que puedan afectar directamente a la vida humana y su bienestar (Ver Figura 44).

Ocupación o Uso de la Estructura	Categoría de Riesgo
Edificios de menor importancia, se consideran de bajo riesgo para la vida humana ante un evento de falla.	I y II
Edificaciones asociadas a la producción o almacén de materiales peligrosos.	III
Edificios de importancia excepcional, tales como: hospitales, estaciones de bombero, y similares.	IV

Figura 44. Tabla de Categoría de Riesgo

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Factor de Importancia (I_e)

Para definir el Factor de Importancia de una estructura, se debe tener en consideración las posibles consecuencias que puede traer el mal funcionamiento o la eventual ruina de dicha edificación. Con base en la Categoría de Riesgo que se establece en la Norma, según el tipo de peligro que puede ocasionar la falla de la estructura se asigna el Factor de Importancia que debe ser empleado (Ver Figura 45).

Categoría de Riesgo	Factor de Importancia (I_e)
I y II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Figura 45. Tabla de Factor de Importancia (I_e)

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

2.2.8.5 Categoría de Diseño Sísmico

A las estructuras se les debe asignar una Categoría de Diseño Sísmico, con la finalidad de permitir que se defina el espectro de respuesta, ya sea con fines de diseño o verificación. Esta clasificación se realiza dependiendo de la Categoría de Riesgo y los parámetros de diseño de aceleración de respuesta espectral S_{DS} y S_{D1} (Ver Figura 46, 47).

Valores de S_{DS}	Categoría de Riesgo	
	II, II o III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Figura 46. Tabla de Categoría de Diseño Sísmico basado en S_{DS}

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Valores de S_{D1}	Categoría de Riesgo	
	II, II o III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Figura 47. Tabla de Categoría de Diseño Sísmico basado en S_{D1}

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Es importante hacer referencia que estructuras con una Categoría de Diseño Sísmico desde la C hasta la F, requieren una investigación geotécnica que incluya la evaluación de amenazas geológicas y sísmicas potenciales, tales como: inestabilidad de taludes, licuefacción, asentamientos, y desplazamientos permanentes del terreno debidos a fallas activas o desparramamiento lateral inducido por sismos.

Para aquellos casos en donde la Categoría de Diseño Sísmico sea D, E y F, el informe geotécnico debe incluir: presiones laterales en sótanos o muros de retención debidas a los movimientos del terreno, así como también otros aspectos relacionados al potencial de licuefacción, asentamientos y desplazamientos permanentes del terreno.

Casos Particulares

Áreas del mapa con Valores S_1

Riesgo I, II o III se les asignará Categoría de Diseño E. Cuando se trata de estructuras calificadas con Categoría de Riesgo IV, la Categoría de Diseño Sísmico será F.

Áreas del mapa con Valores $S_1 < 0.75$: en estos casos la Categoría de Diseño Sísmico se podrá determinar con la Figura 44 siempre que se cumpla lo siguiente:

En cada una de las dos direcciones ortogonales, donde el período fundamental de vibración aproximado de la estructura T_a determinado según la Sección 12.8.2.1 de la Norma es inferior a $0.8 T_s$.

En cada una de las dos direcciones ortogonales, el período fundamental de la estructura empleado para calcular las derivas de piso es inferior a T_s .

Cuando el coeficiente sísmico C_s se calcule con la fórmula — .

Cuando los diafragmas son rígidos o cuando no son rígidos y la distancia horizontal entre los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no excede los 12.192 metros.

Cuando se emplee el procedimiento de diseño simplificado de la Sección 12.14 de la Norma, la Categoría de Diseño Sísmico se podrá determinar con base en la Figura 45, empleando el valor S_{DS} determinado en la Sección 12.4.8.1., excepto cuando se cumpla que S_1 o Sísmico deberá ser E.

2.2.8.6 Método Estático Equivalente

Cortante Basal (V)

El Cortante Basal, V , en una dirección determinada se debe definir mediante la siguiente ecuación:

Donde

C_s = Coeficiente de Respuesta Sísmica.

W = Peso sísmico efectivo por sección.

Coeficiente de Respuesta Sísmica (C_s)

El coeficiente de Respuesta Sísmica se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

Donde

S_{DS} = Parámetro de aceleración de respuesta espectral.

R = Factor de modificación de respuesta (Ver Figura 46).

I_e = Factor de Importancia.

El valor calculado de C_s no debe exceder el valor de las siguientes condiciones:

L

—
—

Para $T > T_L$

—
—

C_s no debe ser menor que

Asimismo, para estructuras donde S_1 es igual o mayor que 0.6g, se establece que C_s no debe ser menor que

—
—

Donde

R = Factor de modificación de respuesta (Ver Figura 46).

I_e = Factor de Importancia.

S_{D1} = Parámetro de aceleración de respuesta espectral basado en el máximo sismo considerado para un período de 1 segundo.

T = Período de tiempo fundamental de la estructura.

T_L = Período largo de transición.

S_1 = Parámetro de aceleración de respuesta espectral basado en el máximo sismo considerado.

Determinación del Período (T)

El período fundamental de la estructura (T), debe ser establecido con base en las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos, de

manera que se pueda generar un análisis óptimo del comportamiento. El período fundamental de la estructura no debe exceder el valor del coeficiente de límite superior para un período calculado (C_u), a su vez, se deberá determinar el valor del período fundamental aproximado (T_a). Como alternativa para la realización del análisis para establecer el valor de período fundamental (T), se permite el uso del período de tiempo aproximado (T_a).

Período Fundamental Aproximado

El período fundamental aproximado (T_a), en segundos, se debe determinar mediante la siguiente fórmula:

Donde

h_n = Altura estructural.

C_t = Coeficiente de período de construcción (Ver Figura 48).

x = Nivel bajo consideración (Ver Figura 48).

Para casos en donde la estructura no exceda de 12 pisos por encima de la base, su sistema de resistencia sísmica se encuentre constituido por concreto o acero resistentes al momento y a su vez el rango de altura sea de al menos 3 metros de altura, se aplica la siguiente ecuación:

Donde

N = Número de plantas sobre la base.

El período fundamental aproximado (T_a) en segundos, para casos en donde la estructura en estudio está constituida por elementos de albañilería, o por muros de concreto que no exceden la altura de 36.6 metros, se puede calcular a través de la siguiente expresión:

==

Donde

$$C_q = 0.00058 m$$

C_w = Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{A_i}{A_B} \left(\frac{D_i}{x} \right)^2$$

Donde

A_B = Área de la base de la estructura

A_i = Área del muro cortante .

D_i = Distancia del muro cortante .

x = Número de muros cortantes en la edificación que son capaces de resistir fuerzas laterales en la dirección que se toma en consideración.

Factor de Modificación de Respuesta	
Sistemas aperticados resistentes al momento	R
Pórticos de acero especial resistentes a momento	8
Pórticos de cerchas de acero especial resistentes al momento	7
Pórticos de acero intermedio resistentes al momento	4 ½
Pórticos de acero ordinario resistentes al momento	3 ½
Pórticos de concreto armado especial resistentes al momento	8
Pórticos de concreto armado intermedio resistentes al momento	5
Pórticos de concreto armado ordinario resistentes al momento	3
Pórticos compuestos por acero y concreto especial resistentes al momento	8
Pórticos compuestos por acero y concreto intermedio resistente al momento	5
Pórticos compuestos por acero y concreto parcialmente restringidos al momento	6
Pórticos compuestos por acero y concreto ordinario resistentes al momento	3
Acero conformado en frío – pórticos atomillados resistentes al momento	3 ½

Figura 48. Tabla de Factor de Modificación de Respuesta

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Valores de S_{D1}	Coefficiente C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Figura 49. Tabla de Coeficiente de límite superior para un período calculado (C_u)

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Tipo de Estructura	C_t	α
Estructuras de acero resistentes al momento	0.028 (0.0724) ^a	0.8
Estructuras de concreto resistentes al momento	0.016 (0.0466) ^a	0.9
Bastidores de acero con refuerzo excéntrico establecidos en la Tabla 12.2-1 pertenecientes a B1 o D1	0.03 (0.0731) ^a	0.75
Marcos arriostrados con refuerzos de acero	0.03 (0.0731) ^a	0.75
Otros sistemas estructurales	0.02 (0.0488) ^a	0.75

Figura 50. Tabla de Valores aproximados de los parámetros de período C_t y α
Fuente: Días S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

2.2.8.7 Distribución de las Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza lateral sísmica (F_x) inducida en cualquier nivel de la estructura, debe ser determinada mediante la siguiente ecuación:

Para determinar C_{vx} aplicar la fórmula:

$$F_x = \frac{C_{vx} V}{h_x} w_x$$

Donde

C_{vx} = Factor de distribución vertical.

V = Fuerza cortante total aplicada en la base de la estructura.

w_i y w_x = Porción de peso total efectivo de la estructura, localizado o asignado en el nivel i o x .

h_i y h_x = Altura desde la base hasta el nivel i o x .

k = Exponente relacionado con el período de la estructura, se establece dependiendo de las siguientes condiciones:

Para estructuras con períodos menores a $0.5s$, $k = 1$.

Para estructuras cuyo período es mayor o igual a $2.5s$, $k = 2$.

Para estructuras con períodos entre $0.5s$ y $2.5s$, k debe ser 2 o puede ser determinado aplicando interpolación lineal entre los valores 1 y 2.

2.2.8.8 Distribución de las Fuerzas Horizontales

Para el diseño sísmico, se debe determinar una fuerza cortante a las plantas de la edificación (V_x), la misma se determina mediante la siguiente ecuación:

Donde

F_i = Porción del cortante basal sísmico (V) inducido en el nivel i .

Es importante hacer referencia que el cortante sísmico de planta (V_x) debe ser distribuido en varios elementos verticales del sistema que resiste las fuerzas sísmicas de la estructura, tomando en consideración la rigidez lateral relativa de los elementos resistentes verticales en el diafragma.

2.2.8.9 Inercias Agrietadas

Para las propiedades de rigidez de los elementos de concreto armado y mampostería se deben considerar los efectos de las secciones agrietadas. En el modelado de la estructura se hace imprescindible estudiar de manera adecuada las rigideces lo más realista de los elementos estructurales, es por ello que se tienen en cuenta las secciones agrietadas. La ASCE 7-16 no establece los requisitos para el modelado de dichas secciones agrietadas para un análisis sísmico, a pesar de ello, en el comentario de la normativa, se recomienda el uso del libro “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings” de los autores Paulay y Priestley (1992) para el cálculo de las propiedades de agrietamiento.

Sin embargo, la práctica habitual es el uso del momento de inercia reducido para las vigas, columnas y muros con base en el nivel esperado de agrietamiento. Por ser el código ACI 318-14 una norma vigente y recomendada por la ASCE 7-16, se establecen los valores de las tablas disponibles en dicha normativa (Ver Figura 51).

Miembro y condición		Momento de inercia	Área de la sección transversal
Columnas		$0.70I_g$	$1.0A_g$
Muros	No fisurados	$0.70I_g$	
	Fisurados	$0.35I_g$	
Vigas		$0.35I_g$	
Placas planas y losas planas		$0.25I_g$	

Figura 51. Tabla de Momento de inercia y área de la sección transversal permitidos para el análisis elástico al nivel de carga mayorada.

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ACI 318-14

2.2.8.10 Derivas y Desplazamientos de Planta

deflexiones en los centros de masa tanto superiores como inferiores de las plantas en estudio. En el caso que los centros de masa no se encuentren alineados verticalmente, es permitido calcular las deflexiones en la parte inferior de la planta seleccionada y emplear una proyección vertical hasta la parte superior de la misma.

Para las estructuras que se encuentren asignadas a las Categorías de Diseño Sísmico C, D, E o F que tienen irregularidades horizontales Tipo 1a o 1b, las derivas deberán ser calculadas como la diferencia entre las deflexiones de los puntos verticalmente alineados entre la parte superior e inferior de la planta en consideración de la estructura.

x), utilizadas para determinar los valores de las derivas de planta, deben ser calculadas mediante la siguiente ecuación:

Donde

C_d = Factor de amplificación de deflexiones.

x_e = Deflexión en la locación de planta requerida, se determina mediante análisis elástico.

I_e = Factor de Importancia.

Los valores de derivas obtenidos, deben ser comparados con los límites
a) (Ver Figura 52).

Estructura	Categoría de Riesgo		
	I o II	III	IV
Todas aquellas estructuras, con excepción de muros de corte, edificaciones de cuatro niveles o menos, con paredes interiores, techos y sistemas de paredes exteriores que han sido diseñadas para complementar las plantas de la estructura	0.025h _{sx}	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}
Estructuras de muros de corte en voladizo	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}
Otras estructuras de muros de corte	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}
Todas las estructuras	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}	0.010h _{sx}

Figura 52. Tabla de Valores Límites de Derivas

Fuente: Dias S. y Valera. C. Traducción de la ASCE 7-16

Para los casos donde las estructuras sean de Categoría de Diseño D, E o F, se debe dividir el límite de deriva permitido (δ_a) entre

2.3 Bases Legales

Según Pérez R. (2002) “El conjunto de leyes, reglamentos, normas decretos, etc., que establecen el basamento jurídico que sustenta la investigación” expone que las bases legales “son normas, leyes, reglamentos y códigos para llevar a cabo una investigación bajo la legalidad de una nación”, por consiguiente será acatadas los estatutos legales de Venezuela.

Con referencia a lo anterior, el código de ética profesional se considera relevante para la formación de los de los trabajadores de la nación, ya que los mismos se encargan de velar por el buen cumplimiento de los planes y proyectos que van destinados al bienestar de la sociedad. Asimismo, representan la imagen que los profesionales deben demostrar para obtener la confianza que se merecen como ciudadanos modelos ante el estado y la población.

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando, Potter (s/f) señala que la “ética es saber la diferencia entre lo que tienes derecho de hacer y lo que es correcto hacer” en lo cual simplifica de forma elemental el modo de pensar de un profesional modelo. Se presentara aspectos claves que se consideran contrarios con el digno ejercicio de la profesión, según el código de ética profesional para un miembro del colegio de ingeniero de Venezuela.

1ro. (virtudes): Actuar de en cualquier forma que tienda a menoscabar el honor, la responsabilidad y aquellas virtudes de honestidad, integridad y veracidad que deben servir de base a un ejercicio cabal con la profesión.

9no. (obras): Encargarse de obras, sin que se haya efectuado todos los estudios técnicos indispensables para su correcta ejecución, o cuando para la realización de la misma se haya señalado plazos incompatibles con la buena práctica profesional.

En función a lo establecido, al momento de iniciar un proyecto de gran envergadura el personal capacitado se debe regir bajo el código de ética profesional para evitar perjudicar la integridad de la obra.

Asimismo, ambas normas venezolanas de edificaciones sismorresistentes, tanto la vigente COVENIN 1756:2001 como su actualización COVENIN 1756:2018 son consideradas elementales en el marco legal de la presente investigación, ya que todos los fundamentos se encuentran basados en las mismas. El propósito principal de ambas es privar todos los aspectos concernientes a las acciones sísmicas y al diseño sismorresistente que se deben considerar en un proyecto, construcción, inspección y mantenimiento de las edificaciones.

De igual manera, la norma americana de Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16, realizada por La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles es de gran relevancia para este estudio, ya que se considera como una norma internacional con metodologías y criterios de diseño muy acertados. Este código fue realizado por individuos de muchos orígenes, incluidos

consultoría de ingeniería, investigación, industria de la construcción, educación, gobierno, diseño y práctica privada.

2.4. Definición de Términos Básicos

Acción Sísmica: Según COVENIN 1756:2001“...la acción accidental debida a la ocurrencia de sismos, la cual incorpora los efectos traslacionales y los rotacionales respecto al eje vertical.” (p.3).

Amenaza Sísmica: Según COVENIN 1756:2018 “cuantifica eventos sísmicos futuros que pueden afectar en forma adversa la integridad de edificaciones y sus ocupantes.” (p.17).

Deriva: Según COVENIN 1756:2001 “es la diferencia de los desplazamientos totales entre dos niveles o pisos consecutivos.” (p.4).

Diafragmas: “Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.” (COVENIN 1756:2001 p. 4).

Ductilidad: Se define como la capacidad que tienen las estructuras que les permite incursionar por el rango inelástico, sin perder de forma considerable su resistencia y a su vez permitir disipar la energía acumulada en la misma.

Espectro de Diseño Elástico: Es una gráfica que representa un sismo de diseño, y un historial de espectros de respuesta en un país determinado, la cual es utilizada para cuantificar la respuesta sísmica sobre las edificaciones, considerando parámetros como las condiciones geotécnicas, las características de la edificación, la zonificación sísmica, importancia estructural, entre otros.

Espectro de Diseño Inelástico: Es una gráfica reducida que se construye disminuyendo las ordenadas del espectro elástico o de respuesta mediante un factor de reducción de respuesta sísmica (R), y el cual es empleado para el diseño de las edificaciones.

Espectros de Respuesta Sísmica: Es un gráfico que refleja la respuesta máxima que produce una acción sísmica y/o dinámica determinada, en una estructura u

oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en las abscisas el periodo de la estructura y en las ordenadas la respuesta máxima para distintos factores de amortiguamiento.

Factor de Importancia: es un valor adimensional que tiene por finalidad reducir la probabilidad de excedencia para las edificaciones, es decir, el análisis se realizará para un sismo de diseño de magnitudes mayores.

Factor de Reducción de Respuesta Sísmica: es un valor numérico con el cual se reducen las ordenadas del espectro de diseño elástico para conseguir el espectro de diseño inelástico, con el cual se logrará que la edificación incurra en rangos plásticos sin tener pérdida apreciable de su resistencia.

Peligro Sísmico: “se refiere al grado de exposición que un sitio dado tiene a los movimientos sísmicos, en lo referente a las máximas intensidades que en él pueden presentarse”. (Bazán, E. y Meli, R., p. 23).

Período Fundamental: cada estructura cuenta con una serie de frecuencias naturales, a las que ofrece una resistencia mínima ante la agitación por efectos sísmicos, de viento o internos. Cada una de estas frecuencias naturales y la deformada asociada a la estructura constituyen un modo natural de oscilación. (Earthquake Behaviour of Buildings, pág. 18-19).

Resistencia: Es la capacidad que tienen las edificaciones de soportar las sollicitaciones que actúan sobre ellas, esta depende de las propiedades mecánicas de los materiales que la constituyen. Las edificaciones deben tener resistencia sísmica en todas las direcciones para garantizar su estabilidad.

Rigidez Lateral: Es la capacidad que tiene la estructura de resistir las cargas sin desplazarse excesivamente o sin deformarse, todos los sistemas estructurales deben aportar una rigidez lateral en sus direcciones principal.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En lo que se refiere a este capítulo, se busca primeramente clasificar la investigación que se llevará a cabo según su diseño, nivel y propósito. Además de definir los elementos que integran la población y la muestra. De igual manera, se presentan las fases que componen el estudio y los instrumentos utilizados para lograr los objetivos propuestos en la investigación.

Por las consideraciones anteriores, establece que “La investigación científica es un proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de problemas o preguntas científicas, mediante la producción de nuevos conocimientos, los cuales constituyen la solución o respuesta a tales interrogantes”. (Arias, 2012). Es por esto que éste capítulo es de gran importancia para la investigación, ya que se establece los pasos que se deben seguir para obtener los resultados por los que se están trabajando.

3.1 Tipo de Investigación

Se conoce como la táctica general que adopta el investigador para reaccionar ante la problemática planteada. La presente investigación se considera un proyecto factible ya que “consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.”(Manual U.P.E.L, 2006).

Con base en las consideraciones anteriores, el presente estudio se realiza bajo la modalidad de proyecto factible, ya que según el Manual de Trabajo de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (U.P.E.L, 2006) se establece que:

“Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o

necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. Comprende etapas como: diagnóstico, planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta, procedimiento metodológico, actividades y recursos necesarios para su ejecución”. (p.13).

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando, se deduce que en la presente investigación existen condiciones, factores y variables que afectan directamente la problemática. Es por ello que se toman ciertas consideraciones que van desde lineamientos técnicos y filosofías de diseño, hasta parámetros y metodologías de análisis sísmico. Éstas se encuentran fundamentadas en investigaciones de campo, fuentes documentales impresas, audiovisuales y electrónicas, las cuales se precisan para realizar análisis e interpretaciones con distintos puntos de vista y criterios necesarios para el entendimiento de los resultados pertinentes para el estudio.

3.2 Diseño de la Investigación

En lo que respecta a diseño de la investigación, Hernández R., Fernández P., y Baptista C. (2014), establecen que diseño es el “plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información requerida en una investigación y responder al planteamiento del problema”.

Por otra parte, una investigación de tipo experimental se caracteriza por “Someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que cada variable produce en el objeto.” (Sabino, 1992).

A su vez, Arias F. (2006) establece que una investigación documental es “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. El propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”.

Dadas las condiciones que anteceden, la presente investigación se identifica con un diseño de tipo experimental, ya que existen factores y variables cuyo

comportamiento es controlado y modificado. De igual manera se considera documental, ya que se emplea el uso de distintas fuentes impresas y electrónicas de información, las cuales permitieron el análisis y comprensión de distintas teorías que son necesarias para aplicar las metodologías de análisis sísmico y así llevar a cabo el desarrollo de la problemática de la investigación.

3.3 Nivel de la Investigación

En lo que respecta al nivel de investigación, Arias F. (2006), establece que “se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. Estos estudios buscan dar explicación a distintos hechos de la realidad social basándose primordialmente en una investigación.

En otro orden de ideas, Ramírez, T (1999) define las investigaciones descriptivas como “aquellos estudios cuyos objetivos es la descripción con mayor precisión, de las características de un determinado individuo, situaciones o grupos, con o sin especificación de hipótesis iniciales acerca de la naturaleza de tales características”.

De igual manera, Ramírez (ob.cit) establece que las investigaciones de nivel explicativo “son aquellos estudios cuyo objetivo están concentrados en la comprobación de hipótesis de relación causal entre variables”.

Por las consideraciones anteriores, la presente investigación cumple con un nivel descriptivo, ya que permite realizar un análisis del comportamiento sísmico de edificaciones aporricadas regulares de concreto armado, mediante la aplicación métodos de análisis sísmico estático propuesto por las normas en estudio, de manera que se pueden establecer comparaciones con la finalidad de obtener semejanzas y diferencias en los resultados obtenidos en cada caso establecido. Asimismo se considera que sigue un nivel explicativo, ya que permite comprobar e interpretar aspectos fundamentales, con el propósito de garantizar la comprensión de las metodologías de análisis y los resultados que arroje la investigación.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

De acuerdo a la UNA (1995) la población son todas aquellas unidades de investigación que se seleccionan de acuerdo a la naturaleza del problema, para generalizar hasta ella los datos recolectados. A su vez la población o universo “se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”. (Tamayo y Tamayo, 2003).

Con base en los planteamientos que anteceden, tomando en consideración los objetivos de la investigación y la problemática a tratar, se define la población como todas aquellas Normativas Sísmicas a nivel mundial, las cuales se encargan de proponer metodologías y criterios de análisis que permiten el diseño óptimo de edificaciones sismorresistentes.

3.4.2 Muestra

La muestra es aquella en la que se puede determinar la problemática ya que es capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. Es por ello que se establece que la muestra es “el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”. (Tamayo y Tamayo, 2003).

Según las consideraciones que anteceden, se delimita como muestra en esta investigación 3 Normas Sísmicas las cuales son:

Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001 (Venezuela).

Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018 (Venezuela).

Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16 (Estados Unidos de América).

3.5 Técnica de Recolección de Datos

En lo que respecta a la técnica de recolección de datos, Hernández R., Fernández P. y Baptista C. (2014), establecen que este proceso “implica elaborar un

plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico”.

A su vez, Arias F. (2006), propone que es “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. De igual manera, el mismo autor establece que “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), utilizado para obtener, registrar o almacenar información”.

Después de lo anteriormente expuesto, para efectos de la presente investigación, se aplicaron técnicas para llevar a cabo la interpretación y el análisis documental de distintas fuentes de información provenientes de varias áreas de la ingeniería civil. Principalmente aquellas con referencia al análisis sismorresistente, diseño de edificaciones y las normas que rigen la ingeniería sísmica. Esto fue de gran ayuda para adquirir los niveles de conocimiento necesarios para comprender la problemática del estudio.

Adicionalmente, se construyeron resúmenes con base en los fundamentos teóricos, que permiten realizar y aplicar tanto las metodologías como los criterios del análisis sismorresistente. Esto permitió que se pudiese elaborar diagramas, con la finalidad de permitir la fácil aplicación de los procesos para un correcto análisis sísmico estático a edificaciones regulares de concreto armado, basándose en las especificaciones de las normas sísmicas venezolanas y la americana.

De igual manera, se realizó un juicio crítico de valores con enfoques en los aspectos cuantitativos y cualitativos más relevantes. En el análisis cualitativo se efectuaron cuadros comparativos, con el propósito de establecer semejanzas y diferencias de las normativas venezolanas con la americana respectivamente. Dichos aspectos se evaluaron a nivel de lineamientos técnicos, perfiles geotécnicos, zonificación sísmica, clasificación de edificaciones, parámetros espectrales, filosofías de diseño y métodos aplicados para el análisis sísmico.

Finalmente, con referencia en los aspectos desde el enfoque cuantitativo, se efectuó la comparación de resultados numéricos derivados de las metodologías de

cálculo aplicadas para el análisis estático equivalente de las estructuras, mediante realización de tablas de cálculo automatizadas, cuadros y gráficos comparativos.

3.6 Fases Metodológicas de la Investigación

Para llevar a cabo este estudio, se plantea dividir el mismo en cuatro fases, de acuerdo con los objetivos establecidos:

Fase I: Descripción mediante cuadros comparativos de las nomenclaturas, filosofías de diseño, parámetros sísmicos y limitaciones.

Se sintetizó información proveniente de fuentes documentales acerca de la problemática propuesta, de manera que se pudo analizar e interpretar los aspectos necesarios para realizar las metodologías de análisis sísmico estático, con el propósito de elaborar cuadros comparativos donde se establecieron las semejanzas y diferencias relevantes entre las normas en estudio.

Fase II: Implementación de procesos para la obtención de espectros de diseño, mediante la aplicación de los métodos de análisis sísmico estático.

Se realizaron diagramas de flujo, con el propósito de facilitar la comprensión de los pasos, consideraciones que se precisan para la construcción de espectros de respuesta y diseño sísmico. Asimismo se refleja los procesos y criterios que se emplean para la aplicación de los Métodos de Análisis Estático según las normas venezolanas y la americana. Por consiguiente, los diagramas de flujo elaborados fueron los siguientes:

1. Diagrama de flujo Norma ASCE 7-16 (Estados Unidos de América).
2. Diagrama de flujo Norma COVENIN 1756:2001 (Venezuela).
3. Diagrama de flujo Norma “ ” COVENIN 1756:2018 (Venezuela).

Con base en las metodologías y criterios considerados para el estudio del comportamiento de estructuras, se definieron los parámetros sísmicos primordiales para la construcción de los espectros de diseño, basándose en las especificaciones propuestas por las normas sismorresistentes en estudio. Para ello se elaboraron las siguientes hojas de cálculo en el programa EXCEL:

1. Hoja de cálculo según la Norma ASCE 7-16 (Estados Unidos de América).
2. Hoja de cálculo según la Norma COVENIN 1756:2001 (Venezuela).
3. Hoja de cálculo según la Norma COVENIN 1756:2001 (Venezuela).

Fase III: Ejecución de un análisis comparativo de los espectros de diseño para distintos parámetros sísmicos.

Se procedió a realizar los espectros de diseño elástico, basándose en las consideraciones que establece cada una de las normas en estudio, con la finalidad de establecer comparaciones a nivel de forma entre la Norma COVENIN 1756:2001 y la Norma COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16. Para ello se efectuaron los siguientes pasos:

Se establecieron los parámetros sísmicos esenciales para la construcción de los espectros, y se definieron las formulaciones requeridas para la realización de los espectros de diseño sísmico según lo estipulado por cada norma. Entre dichos parámetros están:

Tabla 1. Parámetros Sísmicos

PARÁMETROS SÍSMICOS UTILIZADOS		
Parámetro	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Factor de Importancia	1,00	-
Material Constructivo	CONCRETO ARMADO	
Configuración Estructural	PÓRTICOS ESPECIALES RESISTENTES A MOMENTOS	
Factor de Reducción de Respuesta	R=6	-
PARÁMETROS SÍSMICOS UTILIZADOS		
Parámetro	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Factor de Importancia	1,00	-
Material Constructivo	CONCRETO ARMADO	
Configuración Estructural	PÓRTICOS ESPECIALES RESISTENTES A MOMENTOS	
Factor de Reducción de Respuesta	R=6	-
ACELERACIONES UTILIZADAS		
COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16	
$A_0=0,10$	$S_s=0,25$ $S_1=0,25$	
$A_0=0,40$	$S_s=1,5$ $S_1=1,5$	
ACELERACIONES UTILIZADAS		
COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16	
$A_0=0,03$ $A_1=0,03$	$S_s=0,25$ $S_1=0,25$	
$A_0=0,4$ $A_1=0,4$	$S_s=0,75$ $S_1=0,75$	
$A_0=0,63$ $A_1=0,54$	$S_s=1,5$ $S_1=1,5$	
$A_0=0,5$ $A_1=0,5$	$S_s=1$ $S_1=1$	

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

De igual manera, se establecieron condiciones geotécnicas tales como:

Tabla 2. Especificaciones de los perfiles geotécnicos

PERFILES GEOTÉCNICOS	
COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Roca Sana → S1	Roca Sana → B
Suelo Denso → S2	Suelo Denso → C
Suelo Blando → S3	Suelo Blando → E
PERFILES GEOTÉCNICOS	
COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Roca Duro → C	Roca Duro → C
Suelo Denso → D	Suelo Denso → D
Arcillas Blandas → E	Arcillas Blandas → E

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Se realizaron los cálculos mediante hojas programadas, en donde se establecieron los parámetros y fórmulas estipuladas por cada una de las normas en estudio.

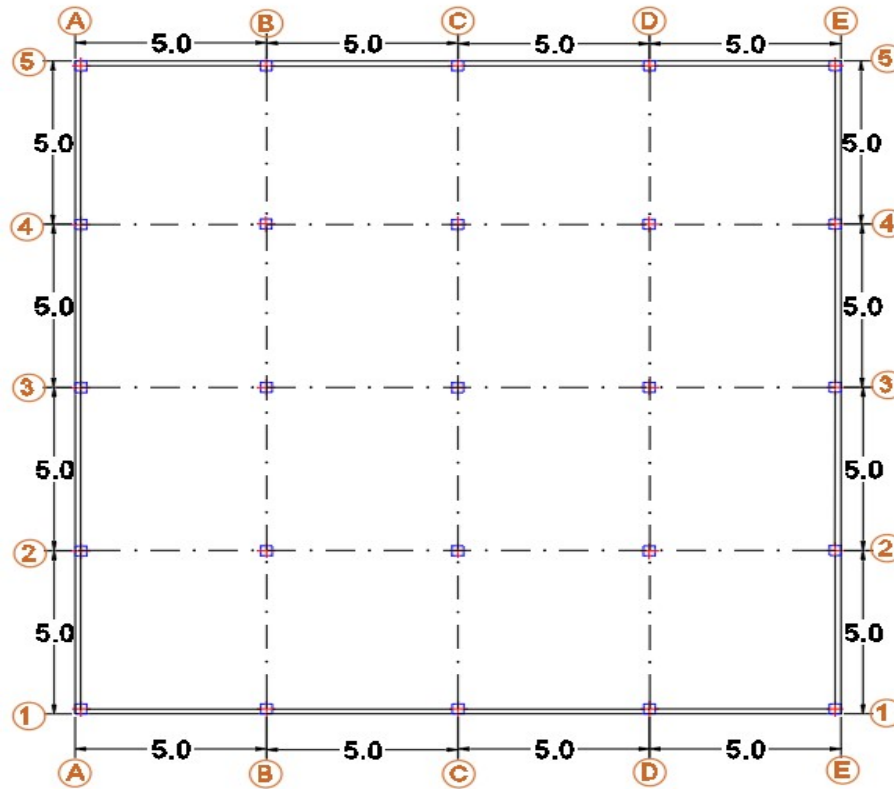
Se construyeron los espectros elásticos de cada normativa, según las especificaciones de cada una.

Se apreciaron y describieron las diferencias y semejanzas a nivel de forma entre los espectros sísmicos obtenidos, estableciendo comparaciones entre ambas normas venezolanas con la americana respectivamente.

Fase IV: Análisis de cuadros y gráficos comparativos sobre la respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado, al aplicar los Métodos de Análisis Estático

Se realizaron los procesos estipulados que se precisan para la aplicación de los métodos de análisis estático, en edificaciones de concreto armado según las normas en estudio. Para obtener resultados óptimos, se debió cumplir con los siguientes pasos:

Se definió una planta tipo de la edificación a la cual se le aplicará el análisis.



Se estipularon los materiales y cargas gravitacionales de la estructura para que fuese sometida a los diferentes casos estudio (Ver Tablas 3 a 6).

Tabla 3. Especificación de los materiales

MATERIALES	
Descripción	Kgf/cm ²
Resistencia a compresión del concreto (F'c)	250
Esfuerzo cedente del acero (Fy)	4200

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Tabla 4. Cargas gravitacionales de entrepiso

CARGAS PERMANENTES DE ENTREPISO			
Material	Espesor (m)	Kg/m3	Kg/m2
Losa Nervada en 1 Dirección	0,3		360
Friso Interior (Cal-Cemento)	0,025	1900	47,5
Revestimiento Cerámica piso	-	-	80
Tabiquería	-	-	150
CARGAS VARIABLES DE ENTREPISO			
C.V. Viviendas	-	-	175

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Tabla 5. Cargas gravitacionales de techo

CARGAS PERMANENTES DE TECHO			
Material	Espesor	Kg/m3	Kg/m2
Losa Nervada en 1 Dirección	0,3	-	360
Friso interior	0,025	1900	47,5
Mortero Cemento para Drenaje	0,05	2150	107,5
Manto Asfáltico e=4mm	-	-	5
CARGAS VARIABLES DE TECHO			
C.V. Techo	-	-	100

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Tabla 6. Edificaciones de los Casos de Estudio

EDIFICACIONES CASO ESTUDIO		
Condiciones Comunes		
Uso de la edificación	Residencial	
Variables		
Edificio	Altura (m)	N Pisos
1	9	3
2	18	6
3	27	9

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Se efectuó la programación de hojas de cálculo, con la finalidad de estimar las cargas y solicitaciones de las edificaciones en estudio. De igual forma se realizó el predimensionado de los elementos estructurales. Estos procedimientos se llevaron a cabo de la siguiente manera:

En primer lugar, se estipularon los espesores mínimos de losas. Se lograron obtener las siguientes características:

Ver Tabla 7. Especificaciones de la losa nervada

LOSA NERVADA	
Descripción	cm
Espesor de losa	30
Separación entre nervios	50
Ancho de loseta	5
Ancho del nervio	10

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Seguidamente se realizaron las respectivas mayoraciones de cargas gravitacionales, y el cálculo de la carga distribuida sobre las vigas a través de las siguientes expresiones:

Luego de obtener las cargas aplicadas en las vigas, se estimaron los momentos últimos con la siguiente fórmula:

Se realizó el cálculo de la altura efectiva (d), asumiendo las dimensiones de la base y se empleó la siguiente ecuación:

Donde

$$= 0,90$$

Luego de obtener el valor de la altura efectiva, se determina la altura de la viga sumándole el recubrimiento al valor anterior [d + rec (5cm)].

Posteriormente se realiza el predimensionado de las columnas, determinando la carga axial de diseño a través de la siguiente fórmula:

Donde

$$Q_{\text{columnas}} = 100 \text{ kgf/m}^2$$

$$Q_{\text{vigas}} = 150 \text{ kgf/m}^2$$

Con la obtención del valor de la carga axial, se procede a realizar el cálculo del área mínima de la columna, empleando la siguiente expresión:

Donde

Para columnas centrales: 0,30

Para columnas esquineras: 0,20

Para columnas laterales: 0,25

Finalmente, luego de la obtención del predimensionado de cada elemento estructural, se establecieron los siguientes resultados:

Tabla 8. Dimensiones de vigas y columnas para cada caso de estudio

EDIFICIO DE 3 NIVELES		
Distribución de vigas por nivel		
Vigas Tipo	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Viga de Carga Entrepiso	35	35
Vigas de Amarre Entrepiso	35	35
Vigas de Carga Techo	35	35
Vigas de Amarre Techo	35	35
Distribución de columnas por nivel		
Nivel	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Nivel 1 - Techo		
Columnas Centrales	55	55
Columnas Laterales	40	40
Columnas Esquinas	40	40
EDIFICIO DE 6 NIVELES		
Distribución de vigas por nivel		
Vigas Tipo	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Viga de Carga Entrepiso	35	35
Vigas de Amarre Entrepiso	35	35
Vigas de Carga Techo	35	35
Vigas de Amarre Techo	35	35
Distribución de columnas por nivel		
Nivel	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Nivel 1 - Nivel 3		
Columnas Centrales	75	75
Columnas Laterales	55	55
Columnas Esquinas	45	45
Nivel 4 - Techo		
Columnas Centrales	55	55
Columnas Laterales	40	40
Columnas Esquinas	35	35
EDIFICIO DE 9 NIVELES		
Distribución de vigas por nivel		
Vigas Tipo	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Viga de Carga Entrepiso	35	35
Vigas de Amarre Entrepiso	35	35
Vigas de Carga Techo	35	35
Vigas de Amarre Techo	35	35
Distribución de columnas por nivel		
Nivel	Dimensiones	
	B (cm)	H (cm)
Nivel 1 - Nivel 3		
Columnas Centrales	95	95
Columnas Laterales	70	70
Columnas Esquinas	55	55
Nivel 4 - Nivel 6		
Columnas Centrales	75	75
Columnas Laterales	55	55
Columnas Esquinas	45	45
Nivel 7 - Techo		
Columnas Centrales	55	55
Columnas Laterales	40	40
Columnas Esquinas	35	35

Fuente: Dias S. y Valera C. (2019)

Se estipuló el caso de estudio para las edificaciones de 3, 6 y 9 pisos. De la siguiente manera:

Caso de Estudio: Aceleraciones más desfavorables y suelo Tipo B.

Se construyeron hojas de cálculo en EXCEL para la aplicación del método estático equivalente, con base en las especificaciones establecidas en cada una de las normas en estudio.

Se modelaron las edificaciones del caso de estudio en el software de análisis y diseño computarizado ETABS V.16.2

Se obtuvieron los valores de desplazamiento y derivas según cada caso, en la Norma COVENIN 1756:2001 sólo se evaluó la estructura tomando en cuenta su área de sección gruesa, mientras que en la COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16 se estudió el comportamiento de la misma con área de sección gruesa y con área de sección agrietada.

Sobre la base de los procesos realizados en las fases anteriores, se realizaron cuadros y gráficos comparativos, con la finalidad de permitir establecer diferencias y semejanzas acerca del comportamiento sísmico en las edificaciones de concreto armado establecidas para aplicar el estudio. De igual manera, se pudo comparar a nivel de forma en los espectros de diseño y establecer conclusiones simultáneas acerca de la aplicación de las metodologías de análisis sísmico que se emplearon en la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se implementa el uso del análisis y comparación con la finalidad de establecer la descripción y comprensión de los parámetros relevantes que intervinieron en la investigación.

4.1 Descripción mediante cuadros comparativos de las nomenclaturas, filosofías de diseño, parámetros sísmicos y limitaciones.

De acuerdo con la información que se presenta en el Capítulo II de este estudio, se llevó a cabo una comparación a nivel cualitativo de la Norma COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16, en donde principalmente se evaluaron los aspectos que son primordiales para la realización de un análisis sísmico estático.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, se presenta a continuación el Cuadro 1, en donde se establecen las nomenclaturas de cada parámetro básico que se encuentra relacionado con el análisis sísmico estático.

Cuadro 1. Comparación de nomenclaturas de parámetros sísmicos

Parámetro Sísmico	NOMENCLATURA		
	COVENIN 1756:2001	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Aceleración horizontal del suelo	A ₀	A ₀	-
Coeficiente de aceleración espectral del terreno	-	A ₁	S _s
			S ₁
Período de Transición espectral	-	T _L	T _L
Aceleración espectral	A _d	A _d	S _{DS}
			S _{D1}

Parámetros basados en condiciones geotécnicas	B	$F_{A}^C; F_{V}^C; F_{D}^C$	F_a
	P	$F_{A}^T; F_{V}^T; F_{D}^T$	
	T*	$F_{A}^H; F_{V}^H; F_{D}^H$	F_v
Forma Espectral y Clase de Sitio	S1, S2, S3, S4	A, AB, B, BC, C, CD, D, DE, E, F	A, B, C, D, E, F
Parámetros de aceleración y respuesta espectral	-	-	S_{MS}
			S_{M1}
Factor de corrección horizontal del suelo		-	-
Diseño de aceleración de respuesta espectral	-	-	S_a
Peso de la Edificación	W	W	W
Factor de Irregularidad	-	F_I	-
Factor de Importancia			I_e
Factor de reducción de respuesta	R	R	R
Factor de Redundancia	-		
Factor de corrección de cortante			-
Altura del edificio	H_n	H_I	H_n
Número de niveles del edificio	N	N	N
Período Fundamental	T	T	T
Período Estimado	T_a	T_a	T_a

Períodos característicos para espectro de diseño elástico	T^+	T_A	T_0
		T_B	T_L
	T^*	T_C	T_S
		T_D	
Períodos característicos para espectro de diseño inelástico	T_0	T_A	-
		T^+	
	T^*	T_C	
		T_D	
Exponente de la Rama espectral para períodos largos	P	q	-
Coefficiente sísmico (para el análisis estático)	C	C	C_s
Coefficiente de límite superior para un período calculado	-	-	C_u
Fuerza cortante en la base	V_0	V_0	V
Fuerza lateral por nivel	C	V_0	F_i
Distribución Fuerzas Horizontales	F_i	C	V_x
Desplazamientos laterales elásticos	c_i	c_i	i
	c_i	c_i	x
Desplazamientos laterales inelásticos	i	c_i	-
		c_i	
Derivas		i	

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De igual manera, se aprecian comparaciones desde el Cuadro 2 a 18, entre los alcances, objetivos de desempeño, metodologías de análisis estático y verificaciones de comportamiento en las edificaciones.

Cuadro 2. Aspectos considerados en el análisis sísmico para la Norma COVENIN 1756:2001

ASPECTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS SÍSMICO	
Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)	
Acción Sísmica de Diseño	Maneja un sismo diseñado como severo, con un período de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años.
Zonificación Sísmica	Se divide en 8 zonas, de manera que se establecen ciertos peligros sísmicos en cada una de ellas. Adicionalmente, con cada zona sísmica se encuentra asignado un coeficiente de aceleración horizontal del terreno (A0).
Clasificación del Terreno de Fundación	Implementa una clasificación basada en la forma espectral, establecida de la siguiente manera: S1, S2, S3 o S4. Van desde los suelos más duros y densos hasta los más blandos, siendo así S1 (suelos duros y densos) y S4 (suelos blandos) correspondientemente.
Factores dependientes de la Condición Geotécnica	Promedio) y “T*” (Valor Máximo para que los espectros tengan un valor constante).
Clasificación de las edificaciones	Se divide en 5 grupos (A, B1, B2, C y Usos Mixtos) que están compuestos por edificaciones esenciales, con gran densidad de personas, ocupación normal, edificaciones aisladas o de poca importancia. Asimismo según el grupo de la edificación se le asigna un Factor de Importancia (
Tipología Estructural	Se dividen en 4 tipos (I, II, III y IV) y está conformado por sistemas estructurales constituidos por pórticos, estructuras combinadas, pórticos diagonalizados o muros estructurales y edificaciones con losas sin vigas.
Nivel de Diseño	Es la capacidad que tiene la estructura de absorber y disipar la energía, la cual se divide en 3 niveles (ND1, ND2 y ND3) ésta varía según los requisitos y especificaciones de la edificación.
Factor de Reducción de Respuesta	Éste factor se toma en base al nivel de diseño, tipo de estructura, materiales empleados para la construcción y a la regularidad que posea la edificación
Irregularidad Estructural	Presenta diferentes características, las cuales se evalúan bajo el Nivel de Diseño 3 y según la característica que experimente, será minorado el valor del Factor de Reducción de Respuesta.

Espectro de Diseño	<p>Establece dos espectros (elástico e inelástico), el espectro de diseño elástico presenta tres zonas definidas por A_d, que varía en función del período fundamental de vibración, su zona inicial está definida desde cero (0) segundos hasta T_0 y formando así una recta creciente, la zona meseta está definida desde T_0 hasta T^* la cual se caracteriza por ser de aceleración constante y por tener los mayores valores de A_d, y finalmente se aprecia la zona de períodos mayores a T^* caracterizada por ser una curva decreciente. El espectro de diseño inelástico surge de la reducción del espectro elástico por el factor de reducción de respuesta R, éste espectro sufre una transformación en su forma inicial y pasa a ser una curva decreciente, el cual viene dado por sustituir el período T_0 por T_+ e incluye el coeficiente "c", las zonas siguientes mantienen su comportamiento.</p>
--------------------	--

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 3. Aspectos considerados en el análisis sísmico para la Norma COVENIN 1756:2018

ASPECTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS SÍSMICO	
Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela)	
Acción Sísmica de Diseño	<p>Depende del Grupo de Uso: si es A1 maneja un sismo considerado como severo, con un período de retorno de 1975 años y una probabilidad de excedencia del 2,5% en 50 años. Si es A2 maneja un sismo que se considera como severo, con un período de retorno de 975 años y una probabilidad de excedencia del 5% en 50 años. Si es B1 maneja un sismo diseñado como severo, con un período de retorno de 689 años y una probabilidad de excedencia del 7% en 50 años. Si es B2 maneja un sismo considerado como severo, con un período de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. y por último si es C maneja un sismo que se considera severo, con un período de retorno de 225 años y una probabilidad de excedencia del 20% en 50 años.</p>
Zonificación Sísmica	<p>Se divide en tres parámetros A_0 (Aceleración Horizontal del Terreno), A_1 (Coeficiente de Pseudo-aceleración Espectral), y T_L (Período de Transición Espectral) cuyos valores se establecen en el Mapa de Amenaza Sísmica correspondiente.</p>

Clasificación del Terreno de Fundación	Se clasifica en clase de sitio, en donde se aprecian diez clases (A, AB, B, BC, C, CD, D, DE, E, F) que definen los diferentes tipos de suelos.
Factores dependientes de la Condición Geotécnica	Factores de Profundidad del Basamento Rocoso para períodos cortos, intermedios y largos (F_A^H , F_V^H , F_D^H), Factor de Clase de Sitio para periodos cortos, intermedios y largos (F_A^C , F_V^C , F_D^C) y Factores de Condición Topográfica para períodos cortos, intermedios y largos (F_A^T , F_V^T , F_D^T).
Clasificación de las edificaciones	Se Divide en 6 grupos (A1, A2, B1, B2, C y Construcciones de uso mixto) que están compuestos por edificaciones esenciales, con gran densidad de personas, ocupación normal, edificaciones aisladas o de poca importancia. Asimismo según el grupo de la edificación se
Tipología Estructural	Se divide en cuatro tipos (I, II, III, IV) que a su vez se dividen en subtipos (I-a, I-b, I-c, I-d, II-a II-b, III-a, III-b, III-c) en donde se aprecian los distintos sistemas estructurales constituidos por pórticos, estructuras combinadas, pórticos diagonalizados o muros estructurales, edificaciones con losas sin vigas y diferentes especificaciones.
Nivel de Diseño	Es la capacidad que tiene la estructura de absorber y disipar energía, ésta propiedad se divide en 3 niveles (ND1, ND2 y ND3) y depende del Grupo de Uso y la Aceleración A_A .
Factor de Reducción de Respuesta	Se encuentra definido por un factor de Redundancia (, Factor de Irregularidad (F_I) y Factor de Reducción Básico (R_0).
Irregularidad Estructural	Presenta diferentes características, las cuales definen el Factor de Irregularidad F_I correspondiente.

Espectro de Diseño	<p>Establece dos espectros (elástico e inelástico), el espectro de diseño elástico presenta 5 zonas definidas por A(T), que varía en función del período fundamental de vibración, su zona inicial está definida desde cero (0) segundos hasta T_A y se caracteriza por ser una curva creciente, la segunda zona está definida desde T_A hasta T_B, y se aprecia como una recta creciente, la zona meseta se encuentra definida desde T_B hasta T_C y se caracteriza por tener los mayores valores de A(T), la cuarta zona está definida desde T_C hasta T_D y se aprecia por tener una curva decreciente y finalmente se define la zona de períodos mayores a T_D, la cual se caracteriza por ser una curva decreciente. El espectro de diseño inelástico surge de la reducción del espectro elástico por el Factor de Reducción de Respuesta (R), éste espectro sufre una transformación en su segunda zona y pasa a ser una recta decreciente, ya que se sustituye el período T_B por T^+, el resto de las ramas mantienen su comportamiento.</p>
--------------------	--

Fuente: Días S. y Valera C. (2020)

Cuadro 4. Aspectos considerados en el análisis sísmico para la Norma ASCE 7-16

ASPECTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS SÍSMICO	
Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 07-16.	
Acción Sísmica de Diseño	Se basa en los parámetros de aceleración definidos para el diseño de respuesta espectral, allí se establecen coeficientes para períodos cortos de tiempo (S_{DS}) y para períodos de 1 segundo (S_{D1}). Los cuáles serán determinados para períodos de retorno de 475 años.
Zonificación Sísmica	Se refiere a los Mapas de Zonificación de Riesgo Sísmico, los cuales se encuentran desglosados a nivel de condados para un suelo firme, allí se ubican los parámetros de aceleración espectral que se encuentran definidos para períodos cortos de tiempo correspondientes a 0,2 segundos (S_s) y períodos largos de tiempo de 1 segundo (S_1), además del Período de Transición (T_L).
Clasificación del Terreno de Fundación	Se divide en seis clases de sitio (A, B, C, D, E, F) que define los diferentes tipos de suelos.

Factores dependientes de la Condición Geotécnica	Coeficiente de Sitio para períodos cortos (F_a), Coeficiente de Sitio para períodos largos (F_v), los parámetros de aceleración y respuesta espectral para períodos cortos (S_{MS}) y para períodos de 1 segundo (S_{M1}).
Clasificación de las edificaciones	En la Norma se desglosa los terrenos en 6 Clases de Sitio, en función de la velocidad de propagación de ondas cortantes y la resistencia cortante en estado no drenado. En líneas generales, los suelos se clasifican como roca, suelo firme, y suelo blando.
Tipología Estructural	En lo que respecta a las categorías de riesgo, los edificios y otras estructuras deberán clasificarse de acuerdo al peligro que ocasione dicha estructura en el posible caso de un colapso. Es decir, su categoría depende netamente de la ocupación de la estructura y las consecuencias que puedan afectar directamente a la vida humana y su bienestar. Se dividen en Tipo I, II, III y IV.
Nivel de Diseño	Va a depender del Factor de Modificación de Respuesta (R_o) y el Coeficiente de Respuesta Sísmica (C_s). Esto permitirá determinar si la estructura pertenece a OMF, IMF o SMF. Dichas condiciones se encuentran determinadas en el Capítulo 12 – Tabla 12.2-1, donde se hace referencia a los coeficientes y factores de diseño para los distintos sistemas que resisten fuerzas sísmicas.
Factor de Reducción de Respuesta	Se determina mediante el tipo de sistema aporticado resistente a momento con el que se esté diseñando la estructura.
Irregularidad Estructural	Aquellas estructuras que cumplan al menos con uno o más tipos de las irregularidades establecidas en el Capítulo 12 - Tabla 12.3-1, deben ser diseñadas considerando que tienen irregularidades horizontales estructurales. Así como aquellas que cumplan con alguna irregularidad expresada en el Capítulo 12 - Tabla 12.3-2, debe ser debidamente diseñada considerando que tiene irregularidades verticales estructurales.

Espectro de Diseño	El espectro de diseño se considera como el mismo espectro de respuesta, la Norma se basa en ciertos criterios en donde no se utilizan procesos de movimiento para terrenos específicos, sino que se aplica un procedimiento estándar que permite terminar de definir la forma del espectro en función del período fundamental de vibración de la estructura (T) en segundos. Los coeficientes que se obtienen en los mapas de amenaza sísmica (S_s , S_1 y T_L) se encuentran definidos para períodos de retorno de 2500 años, es por ello que luego se multiplican por $2/3$ para convertir ese período en uno de 475 años.
--------------------	--

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 5. Aspectos a considerar para los métodos de análisis en la Norma COVENIN 1756:2001

MÉTODO DE ANÁLISIS ESTÁTICO	
Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)	
Método según la norma	Método Estático Equivalente (MEE).
Limitaciones de Aplicación	Se aplica este método para edificaciones regulares cuya altura no excede los 10 pisos o 30 metros.
Fuerza Cortante Basal	Se pudo observar que para el cálculo del cortante basal se realiza mediante la inclusión de la aceleración espectral, el peso de la estructura y su número de niveles.
Período Fundamental	Se observó que para el cálculo del período fundamental depende de la fuerza lateral aplicada, peso de la estructura, peso del piso de estudio y del número de niveles.
Período Fundamental Estimado	La norma establece como alternativa el cálculo de un período estimado como sustituto del período fundamental, el cual es determinado en función a la altura de la edificación, material constructivo y tipología estructural.
Distribución Vertical de la Fuerza	Se considera una fuerza vertical debido a efectos traslacionales, al obtener un valor de cortante basal se puede determinar fuerzas laterales de diseño en cada nivel de la estructura partiendo de la fuerza lateral concentrada en el nivel N, conocida en la norma como F_t .
Control de Cortante Basal	Se debe verificar el cortante mediante el coeficiente sísmico, su valor proviene de la relación entre la fuerza cortante y el peso (V_0/W). Este valor no debe ser menor $0/R$.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 6. Aspectos a considerar para los métodos de análisis en la Norma COVENIN 1756:2018

MÉTODO DE ANÁLISIS ESTÁTICO	
Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela)	
Método según la norma	Método de Análisis Estático Elástico.
Limitaciones de Aplicación	Se aplica a estructuras que posean diafragmas rígidos. Se considerará N como el número de niveles por encima del Nivel Base, en el último nivel (N) de la estructura, pueden apoyarse apéndices y componentes no estructurales. Debe ser una estructura regular y no debe exceder los 10 pisos o 30 metros de altura.
Fuerza Cortante Basal	Se observa que para el cálculo de la cortante basal depende del período característico del espectro, período fundamental, número de niveles, peso de la estructura y un factor de modificación de cortantes.
Período Fundamental	El cálculo del período fundamental depende de la fuerza lateral aplicada, deslizamiento lateral, peso de la estructura, peso de la planta en estudio y del número de niveles.
Período Fundamental Aproximado	Se propone su determinación como alternativa al método del período fundamental T, en donde éste valor puede tomarse igual al de T_a que depende de la altura de la edificación y un factor para determinar el período fundamental de la estructura.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 7. Aspectos a considerar para los métodos de análisis en la Norma ASCE 7-16

MÉTODO DE ANÁLISIS ESTÁTICO	
Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 07-16.	
Método según la norma	Método Estático Equivalente.
Limitaciones de Aplicación	No se puede aplicar a aquellas estructuras que no cumplan con las condiciones establecidas en el Capítulo 12 – Tabla 12.6-1.
Fuerza Cortante Basal	Se observa que para el cálculo del cortante basal depende del coeficiente de respuesta sísmica y del peso sísmico efectivo por sección.

Coeficiente de Respuesta Sísmica	Su cálculo depende del parámetro de aceleración de respuesta espectral, el factor de reducción de respuesta y el factor de importancia. Su valor no debe ser menor a 0,01.
Período Fundamental	El período fundamental de la estructura (T), debe ser establecido con base en las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos, de manera que se pueda generar un análisis óptimo del comportamiento. El período fundamental de la estructura no debe exceder el valor del coeficiente de límite superior para un período calculado (C_u), a su vez, se deberá determinar el valor del período fundamental aproximado (T_a).
Período Fundamental Aproximado	Como alternativa para la realización del análisis para establecer el valor de período fundamental (T), se permite el uso del período de tiempo aproximado (T_a) que a su vez cuenta con dos fórmulas para su cálculo según la altura de la edificación.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 8. Comparación de Suelos Tipificados entre la Norma COVENIN 1756:2001 y la Norma ASCE 7-16

Comparación de Suelos Tipificados			
COVENIN 1756:2001		ASCE 7-16	
Tipo de Suelo	V_{sp} (m/s)	Tipo de Suelo	V_{s30} (m/s)
-	-	A: Roca dura	>1524
Roca sana/fracturada	>500	B: Roca	762-1524
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	C: Suelo muy denso. Roca blanda	365-762
Suelos duros o densos	250-400	D: Suelo rígido	182-365
Suelos firmes/medio densos	170-250		
Suelos blandos/sueltos	<170	E: Suelo arcilloso blando	<182
Suelos blandos	-	F: Requiere análisis de respuesta	-

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 9. Comparación de Suelos Tipificados entre la Norma COVENIN 1756:2018 y la Norma ASCE 7-16

Comparación de Suelos Tipificados			
COVENIN 1756:2018		ASCE 7-16	
Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)
A: Roca cristalina sana muy dura	>1500	A: Roca dura	>1524
AB: Propiedades intermedias entre las clases A y B	1300 a 1500		
B: Roca dura con eventual fracturación	850 a 1300	B: Roca	762-1524
BC: Propiedades intermedias entre las clases B y C	650 a 850		
C: 1) Roca dura con espesor meteorizado superior a 5 metros 2) Roca blanda 3) Arenas o gravas muy densas 4) Arcillas muy duras	400 a 650		
CD: Propiedades intermedias entre C y D	300 a 400	C: Suelo muy denso. Roca blanda	365-762
D: 1) Arenas o gravas densas a medio-densas 2) Arcillas duras 3) Arcillas firmes de menos de 30 metros de espesor	200 a 400	D: Suelo rígido	182-365

DE: Propiedades intermedias entre D y E	170 a 200		
E: 1) Arenas sueltas o limosas 2) Arcillas blandas plásticas	120 a 170	E: Suelo arcilloso blando	<182
F: Arenas o arenas limosas susceptibles de licuación, arcillas sensibles, suelos cementados colapsables, turbas o arcillas orgánicas	-	F: Requiere análisis de respuesta	-

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 10. Comparación del Factor de Importancia entre la Norma COVENIN 1756:2001 y la Norma ASCE 7-16

Comparación del Factor de Importancia			
COVENIN 1756:2001		ASCE 7-16	
Clasificación	Factor	Categoría de Riesgo	Factor I_e
Grupo A	1.30	IV	1.50
Grupo B1	1.15	III	1.25
Grupo B2	1.00	II; I	1.00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 11. Comparación del Factor de Importancia entre la Norma COVENIN 1756:2018 y la Norma ASCE 7-16

Comparación del Factor de Importancia			
COVENIN 1756:2018		ASCE 7-16	
Clasificación	Factor	Categoría de Riesgo	Factor I_e
Grupo A2	1.50	IV	1.50
Grupo B1	1.20	III	1.25
Grupo B2	1.00	II; I	1.00
Grupo C	0.70		

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 12. Comparación de Niveles de Diseño y Sistemas Resistentes al Momento entre la Norma COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Niveles de Diseño y Sistemas Resistentes al Momento	
COVENIN 1756:2001 COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Nivel de Diseño	Sistemas Resistentes al Momento
ND3	Sistema especial resistentes al momento (SMF)
ND2	Sistema intermedio resistentes al momento (IMF)
ND1	Sistema ordinario resistentes al momento (OMF)

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 13. Comparación de Factor de Reducción de Respuesta (R) entre la Norma COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Factor de Reducción de Respuesta (R)			
COVENIN 1756:2001 COVENIN 1756:2018		ASCE 7-16	
Nivel de Diseño	Factor R	Sistemas Resistentes al Momento	Factor R
ND3	6	SMF	8
ND2	4	IMF	5
ND1	2	OMF	3

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 13. Comparación del Coeficiente de Aceleración Horizontal y Espectral entre la Norma COVENIN 1756:2001 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Coeficientes de Aceleración Horizontal y Espectral	
COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
A_0	S_s
	S_1
Períodos de Retorno de 475 años	Períodos de Retorno de 2500 años

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 14. Comparación del Coeficiente de Aceleración Horizontal y Espectral entre la Norma COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Coeficientes de Aceleración Espectral	
COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
A_0	S_s
A_1	S_1
Períodos de Retorno de 475 años	Períodos de Retorno de 2500 años

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 15. Comparación de Ordenadas Espectrales entre la Norma COVENIN 1756:2001 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Ordenadas Espectrales	
COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
+	Primera rama $T < T_0$
Segunda rama T^+	Segunda rama T_0 s
Tercera rama $T^* < T$	Tercera rama T_s L
	Cuarta rama $T_L < T$

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 16. Comparación de Ordenadas Espectrales entre la Norma COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de Ordenadas Espectrales	
COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
A	Primera rama $T < T_0$
Segunda rama T_A B	Segunda rama T_0 s
Tercera rama T_B C	Tercera rama T_s L
Cuarta rama T_C D	Cuarta rama $T_L < T$
Quinta rama T_D	

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 17. Comparación de las Estrategias de Diseño entre la Norma COVENIN 1756:2001 con la Norma ASCE 7-16.

Comparación de las Estrategias de Diseño		
Parámetro	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Mapas de Zonificación	Se da un mapa de zonación con siete zonas desde $A_0=0.10g$ hasta $A_0=0.40g$. Éstos se encuentran nominalmente asociados a períodos de retorno de 475 años.	Se dan dos mapas de amenaza sísmica: ordenadas espectrales de período corto (0.2s) designada S_s y ordenadas espectrales de 1 segundo de período S_1 , para períodos de retorno de 2500 años.
Aceleración del Terreno	Dichas aceleraciones máximas en roca, son de suelo. Por tanto la aceleración máxima de diseño es igual a A_0 .	A_0 podría asemejarse al coeficiente S_{Ds} , sin embargo, por la forma en la cual se calcula dicho valor, se reconoce que en el cálculo de la sollicitaciones, A_0 no influye de la misma manera en las ordenadas espectrales donde $T > 0s$.
Factor de Importancia	1.0. El máximo es de 1.3, que equivale a períodos medios de retorno de 1300 años.	> 1.0 . El máximo valor es de 1.5, que equivale a períodos medios de retorno de 2500 años.

Máxima amplificación	Se dan espectros (suelos blandos afectados por grandes sismos.	Máxima aceleración espectral: $S_{DS}=F_a S_s$
Máximo Período Constante	T^* está dado en los espectros normalizados: 0.4s (roca) hasta 1.3s (suelos blandos).	$T_s=T^*=S_{D1}/S_{DS}$ Donde $S_{D1}=S_1 F_v$ es la ordenada espectral correspondiente a 1s.
Menor período de la zona de máxima amplificación de la aceleración del terreno	$T_0 = 0.25T^*$	$T_0 = 0.20T^* = 0.20T_s$
Ordenada espectral T_0	0	$S_{DS}=F_a S_s (2/3)$
Ordenada espectral para $T^* < T$	0	S_{D1}/T
Período de Transición (T_L)	No se aplica	Se obtiene de los mapas de amenaza sísmica. Presenta valores entre los 4 y 19s
Confiabilidad	Estudios "ad-hoc" posteriores a la aprobación de este documento, arrojan valores del orden de 1×10^{-3} como probabilidad anual de ruina	Con los valores de diseño se espera que la probabilidad de ruina en 50 años sea de 1%. Eso equivale a probabilidades anuales de ruina de 2×10^{-4}

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Cuadro 18. Comparación de las Estrategias de Diseño entre la Norma COVENIN 1756:2018 con la Norma ASCE 7-16

Comparación de las Estrategias de Diseño		
Parámetro	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Mapas de Zonificación	<p>Se dan dos mapas de amenaza sísmica: A_0 (coeficiente de aceleración horizontal del terreno) y A_1 (coeficiente de pseudo-aceleración espectral para período de 1s). Éstos se encuentran nominalmente asociados a períodos de retorno de 475 años.</p> <p>La clase de sitio referencial es BC con $V_{s3} = 760$ m/s y profundidad de 30 metros del basamento rocoso. Para cada parámetro se selecciona el mayor valor dado por las curvas adyacentes al lugar en estudio.</p>	<p>Se dan dos mapas de zonificación: ordenadas espectrales de período corto (0.2s) designada S_s y ordenadas espectrales de 1 segundo de período S_1, para períodos de retorno de 2500 años.</p>
Aceleración del Terreno	<p>A_0 y A_1 podría asemejarse al coeficiente S_{DS} y S_{D1} respectivamente, sin embargo, por la forma en la cual se calcula dicho valor, se reconoce que en el cálculo de las sollicitaciones, A_0 y A_1 no influye de la misma manera en las ordenadas espectrales.</p>	

Factor de Importancia	Se asigna el factor dependiendo del grupo de uso y el tipo de sismo que se deba emplear (de Diseño, Extremo o Frecuente).	> 1.0. El máximo valor es de 1.5, que equivale a períodos medios de retorno de 2500 años. Sus valores podrían asimilarse a los que se emplean para el Sismo de Diseño.
Máxima amplificación	El factor dependerá del coeficiente de amortiguamiento, el cual tendrá un valor del 5%, para este valor = 2.4.	Máxima aceleración espectral: $S_{DS}=F_a S_s$
Máximo Período Constante	$T_C = (1/2.4)(A_v/A_A)$ Depende de los coeficientes de aceleración para períodos cortos e intermedios que incorporan los efectos de sitio, amenaza sísmica y uso de la construcción.	$T_S=T_C=S_{D1}/S_{DS}$ Donde $S_{D1}=S_1 F_v$ es la ordenada espectral correspondiente a 1s.
Menor período de la zona de máxima amplificación de la aceleración del terreno	$T_B=0.25T_C$	$T_B = 0.20T_S$
Ordenada espectral T_B T_C	A	$S_{DS}=F_a S_s (2/3)$
Ordenada espectral para T_C T_C T_D	$*A_A(T_C/T)$	S_{D1}/T

<p align="center">Período de Transición (T_L)</p>	<p>Se determina mediante los mapas de amenaza sísmica. Presenta valores entre 3.3 y 6s</p>	<p>Se obtiene de los mapas de amenaza sísmica. Presenta valores entre los 4 y 19s</p>
<p align="center">Irregularidades en planta</p>	<p>En casos donde la construcción posea algunas de las irregularidades definidas, y pertenezca además a los subgrupos A1, A2 o B1, localizadas en sitios de moderada y elevada amenaza sísmica (A_A deberán realizar las modificaciones estructurales necesarias a fin de suprimir dichas irregularidades y satisfacer los límites impuestos para que clasifique como construcción regular.</p>	<p align="center">No aplica.</p>
<p align="center">Secciones Agrietadas</p>	<p>Vigas 0.35 de I_g (Inercia Bruta), Columnas 0.7 I_g</p>	<p>Cálculo de las propiedades de agrietamiento o uso de lo impuesto por la ACI 318-14</p>







Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

4.2 Implementación de procesos para la obtención de espectros de diseño mediante la aplicación de los métodos de análisis sísmico estático.

Para desarrollar esta fase se implementó el uso de los diagramas de flujo, ya que permite la fácil comprensión del proceso que se debe llevar a cabo, mediante el establecimiento del debido orden y esquematización de los pasos y consideraciones que se deben tener en cuenta para la construcción de los espectros de diseño sísmico y la aplicación del método de análisis estático, según lo propuesto por cada una de las normas en estudio.

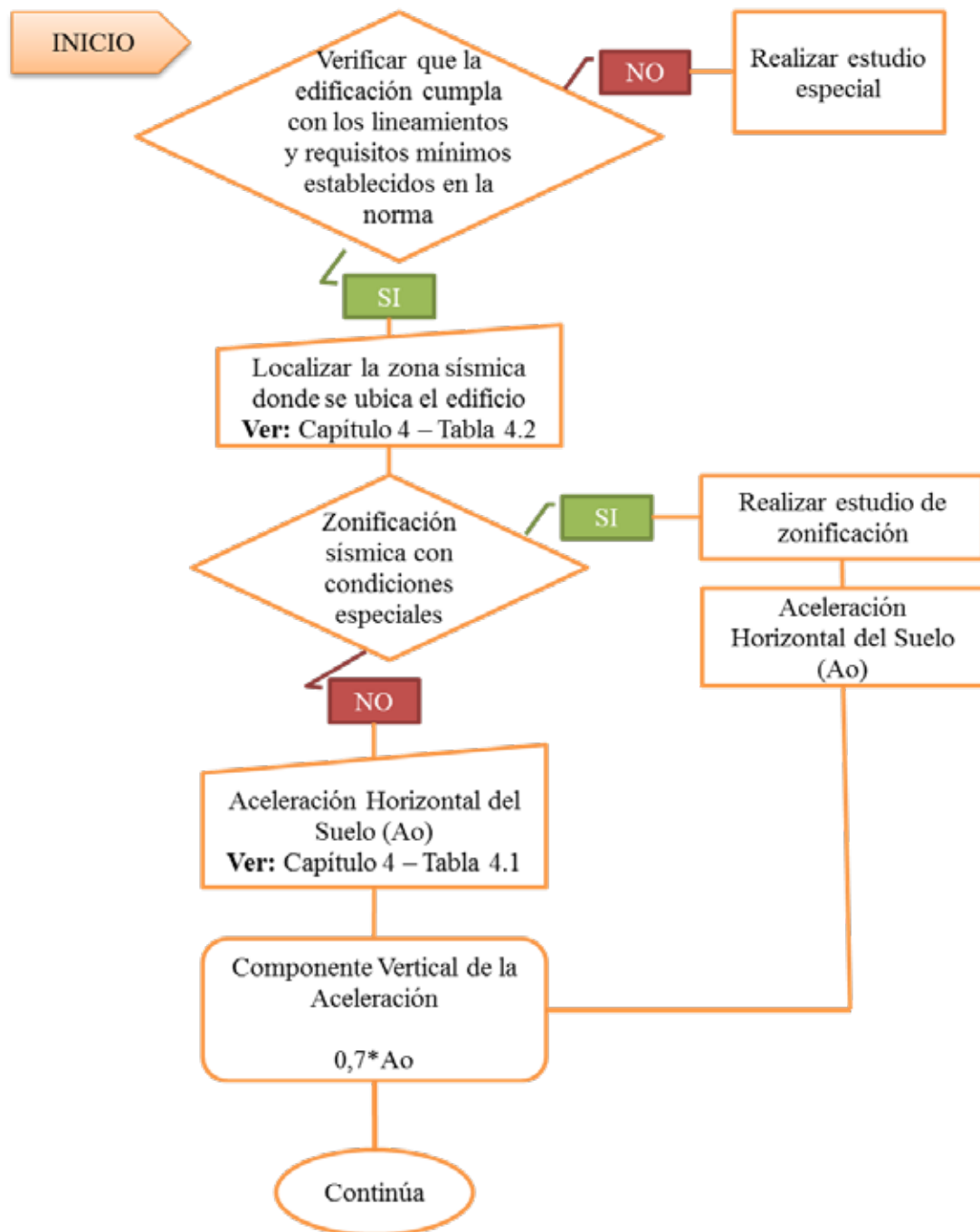
Dadas las condiciones que anteceden, con la finalidad de comprender debidamente la simbología utilizada en los diagramas de flujo, se muestra la siguiente tabla informativa:

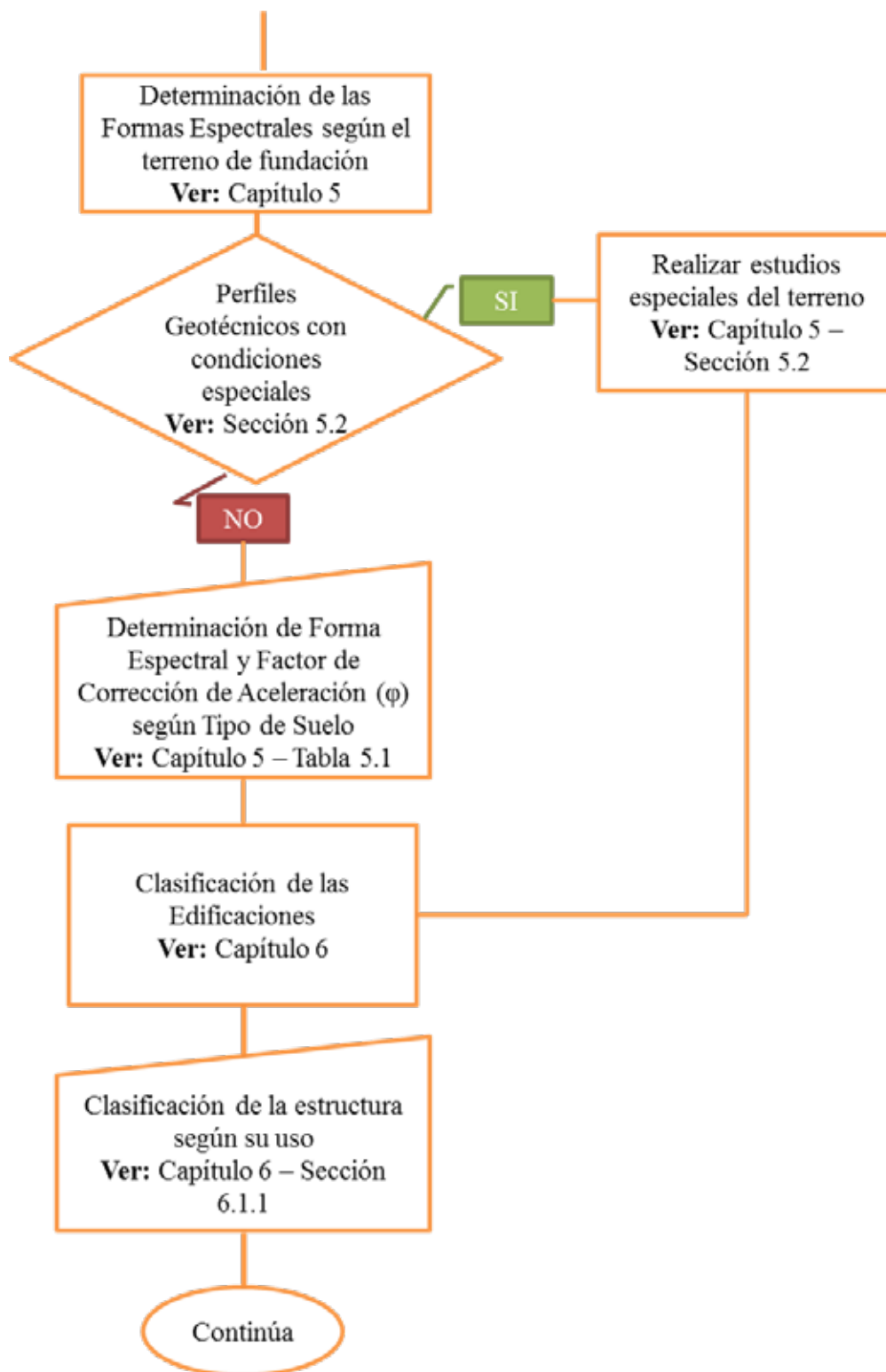
Tabla 9. Simbología de los Diagramas de Flujo

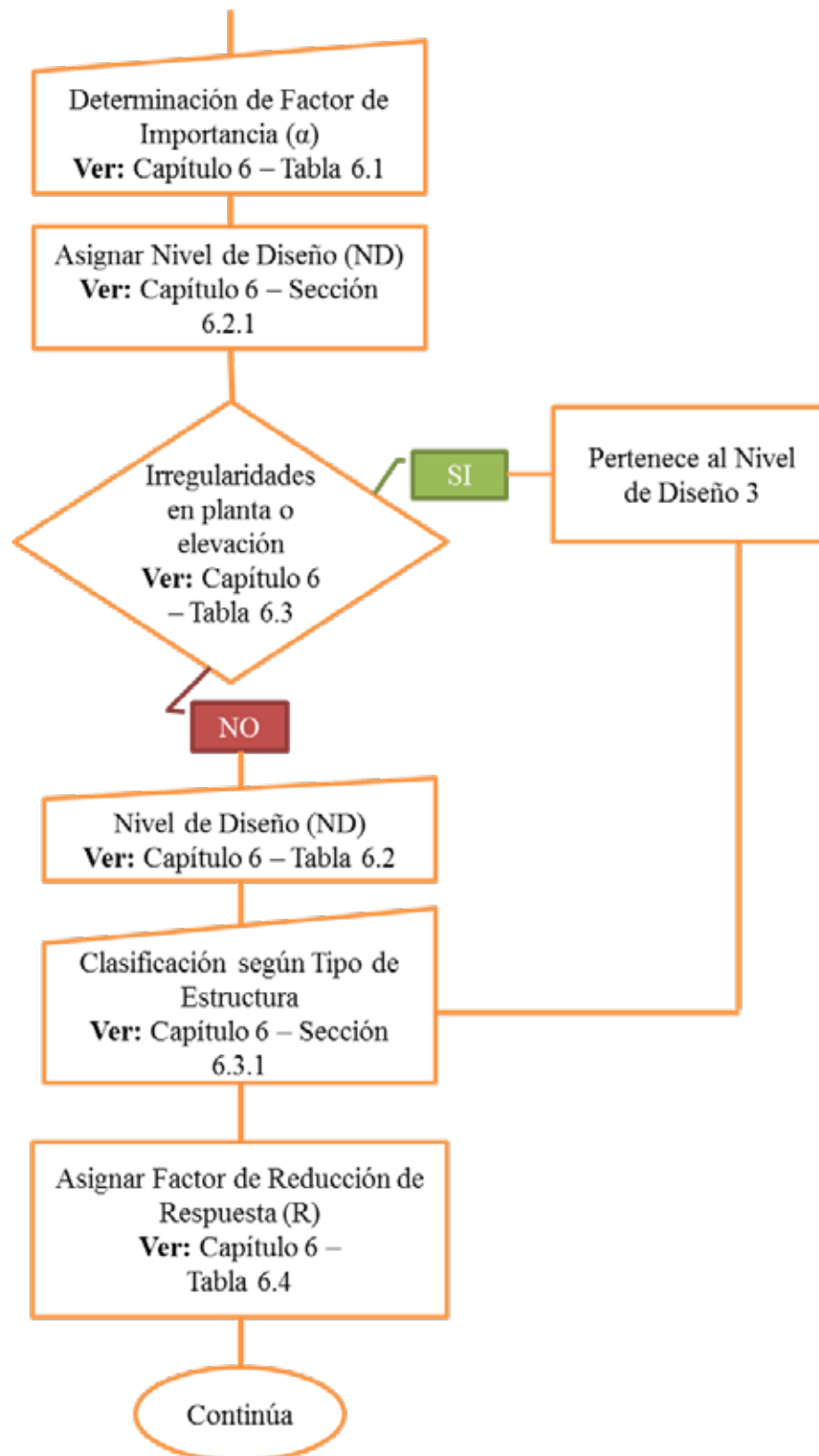
LEYENDA		
Imagen	Nombre	Descripción
	Decisión	Define la selección entre dos o más alternativas a través de una pregunta.
	Proceso Alternativo	Define el proceso a través de dos o más alternativas
	Proceso	Define un proceso obligatorio
	Notas	Define las notas para el completo entendimiento del diagrama
	Búsqueda en tablas	Define datos externos a utilizar
	Continuidad o finalización	Define la continuación o finalización del diagrama

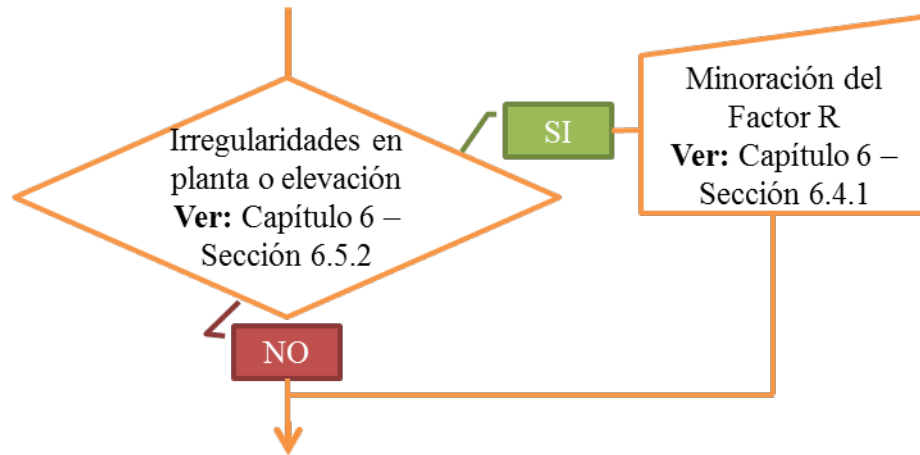
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

4.2.1 Diagrama de flujo Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)

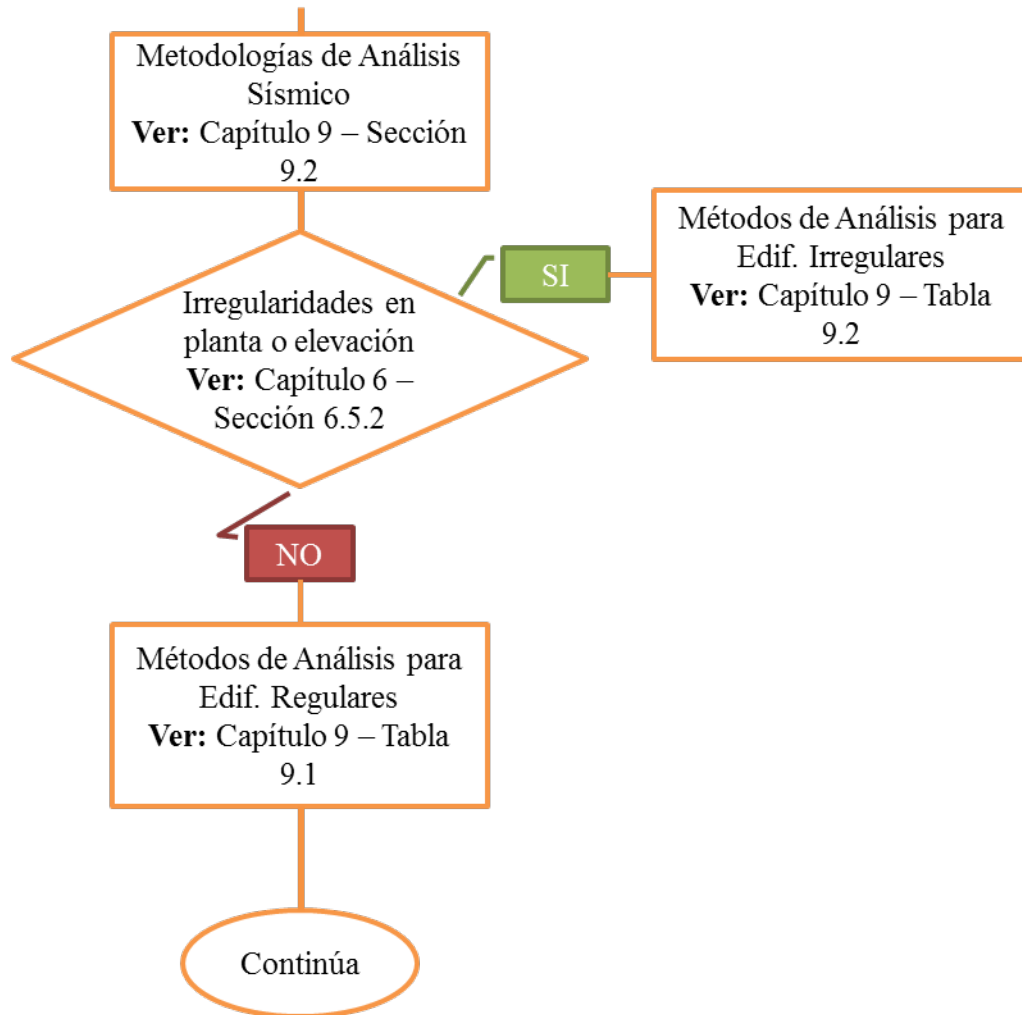


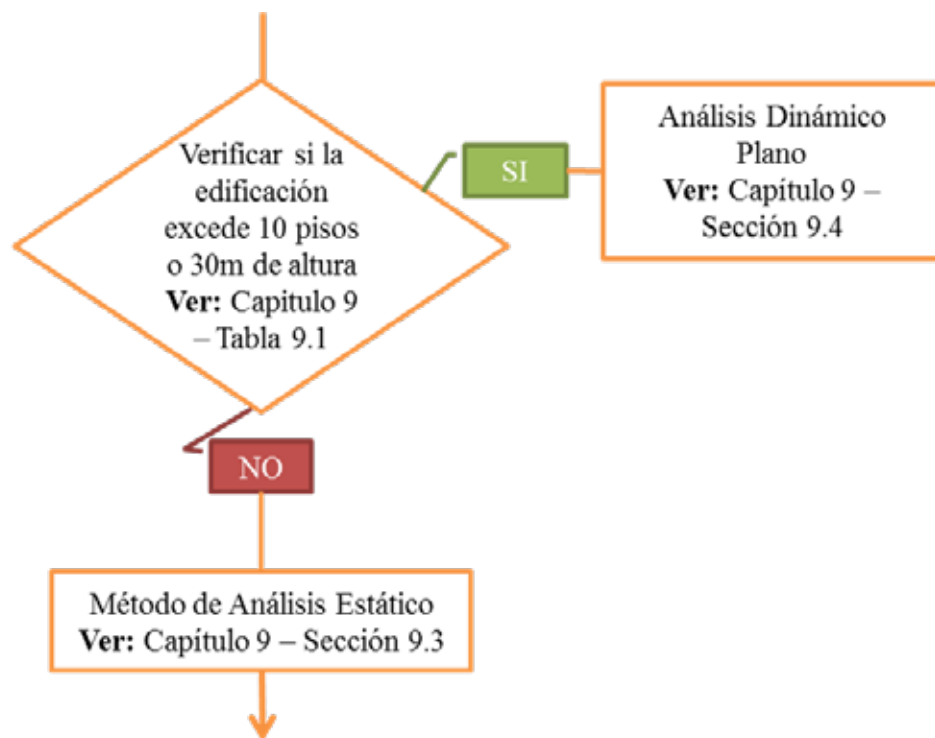




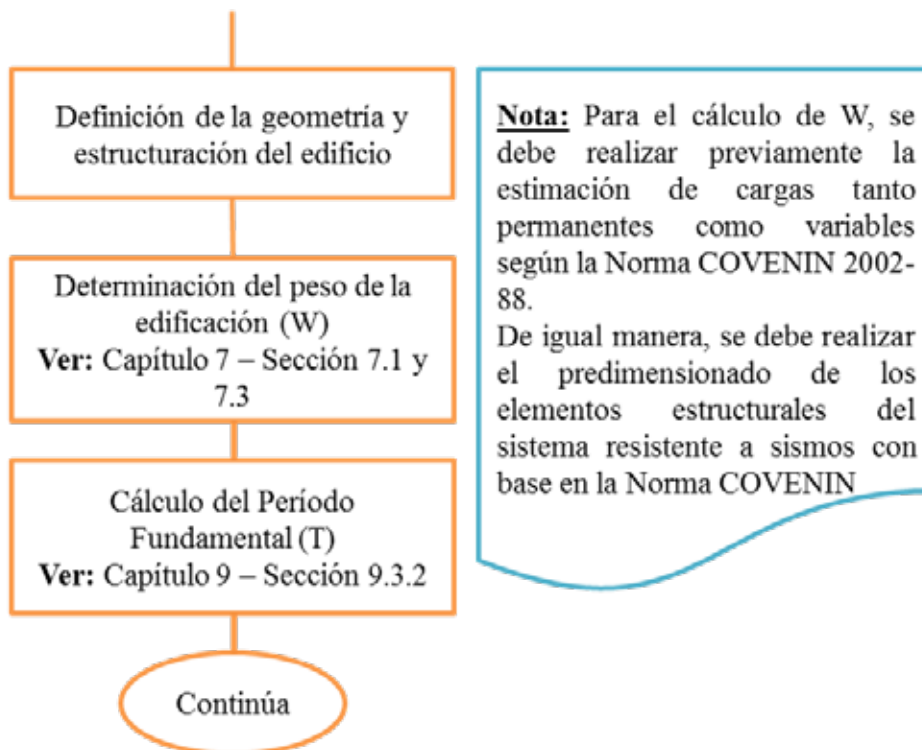


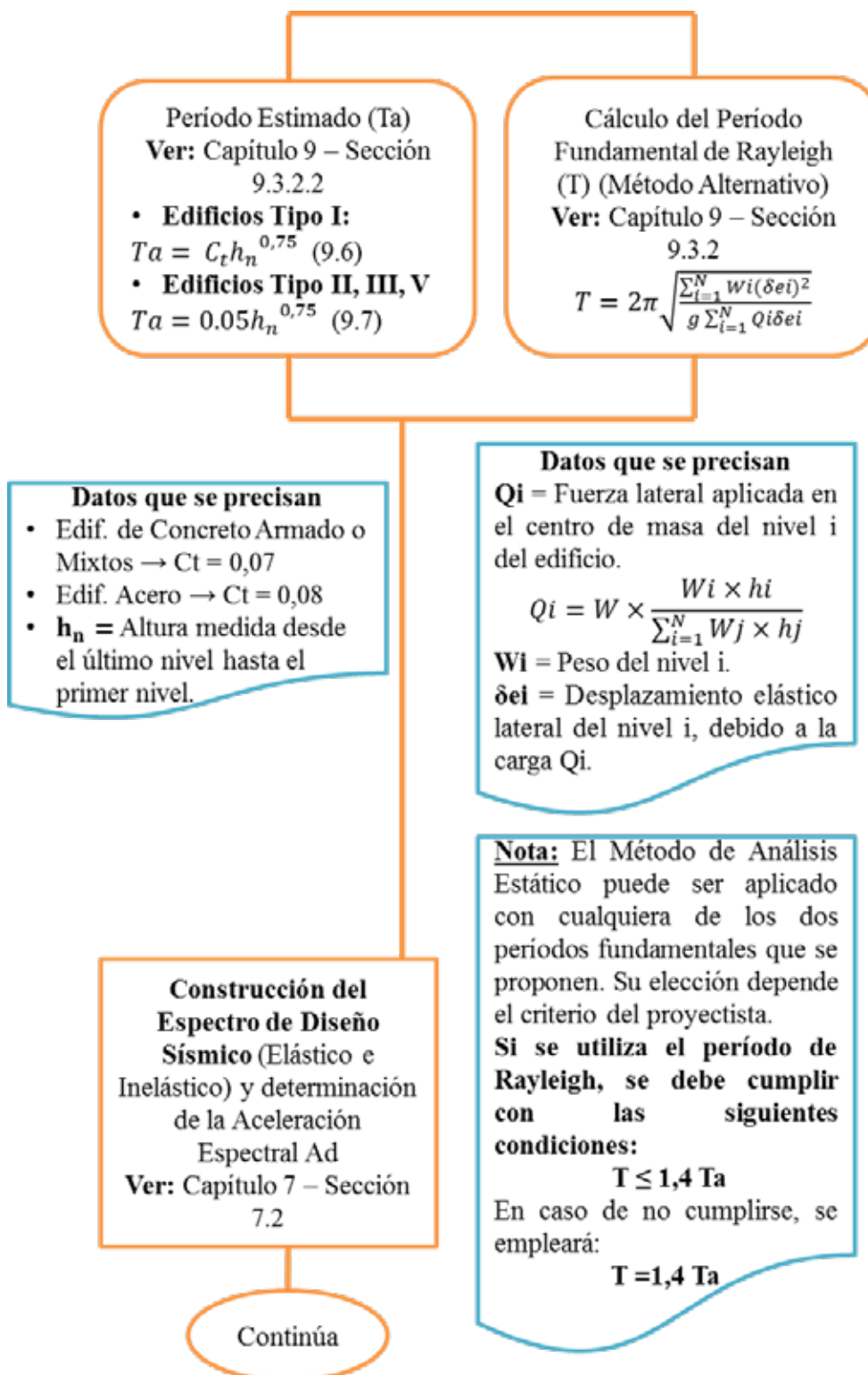
Etapa II: Método de Análisis Sísmico





Etapa III: Aplicación del Método de Análisis Estático





Fórmulas para definir las ramas del espectro

- Primera rama $T \leq T^+$ (7.1)

$$A_d = \frac{\alpha \varphi A_o [1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1)]}{1 + (\frac{T}{T^+})^c (R - 1)}$$

- Segunda rama $T^+ \leq T \leq T^*$ (7.2)

$$A_d = \frac{\alpha \varphi \beta A_o}{R}$$

- Tercera rama $T > T^*$ (7.3)

$$A_d = \frac{\alpha \varphi \beta A_o}{R} \times \left(\frac{T^*}{T}\right)^p$$

Parámetros Sísmicos

- ✓ A_o (Tabla 4.1)
- ✓ Forma Espectral - (Tabla 5.1)
- ✓ φ - (Tabla 5.1)
- ✓ α - (Tabla 6.1)
- ✓ R - (Tabla 6.4)
- ✓ β - (Tabla 7.1)
- ✓ T^* - (Tabla 7.1)
- ✓ ρ - (Tabla 7.1)
- ✓ T_o - $0.25 T^*$ (Sección 7.2)
- ✓ T^+ - (Tabla 7.2)
- ✓ $C \rightarrow \sqrt[4]{R/\beta}$

Fórmulas para calcular el Factor de participación de masas (μ)

$$\mu = 1,4 \left[\frac{N+9}{2+12} \right] \quad (9.2)$$

$$\mu = 0,80 + \frac{1}{20} \left[\frac{T}{T^*} - 1 \right] \quad (9.3)$$

Datos que se precisan:

- μ → Factor de modificación de cortantes
- A_d → Ordenada espectral para el Periodo T (**Ver:** Capítulo 7 – Sección 7.2)
- W → Peso total de la edificación
- N → Niveles de la edificación

Fórmula para cálculo del Corte Basal

$$V_o = \mu \times A_d \times W \quad (9.1)$$

Nota: Se selecciona el mayor de los dos valores de μ obtenidos.

Continúa

Cálculo y verificación del Coeficiente Sísmico (C)

$$C = \frac{V_o}{W} \geq \alpha \times \frac{A_o}{R}$$

Ver: Capítulo 7 – Sección 7.1

Nota: Fuerzas Ft y Fi se aplican en los centros de masa respectivos

Fuerza lateral concentrada en el nivel N (Último piso)
(9.9)

$$F_t = \left(0.06 \frac{T}{T^*} - 0.02\right) V_o$$

Cumpliendo los siguientes límites:

$$0.04V_o \leq F_t \leq 0.10V_o$$

Cálculo de distribución vertical debido a los efectos traslacionales

$$V_o = F_t + \sum_{i=1}^N F_i$$

Ver: Capítulo 9 – Sección 9.3.3

Fuerza lateral correspondiente al nivel i
(9.11)

$$F_i = (V_o - F_t) \frac{W_i \times h_i}{\sum_{j=1}^N W_j \times h_j}$$

Etapa IV: Verificaciones necesarias de comportamiento

Control de Desplazamientos Laterales (Derivas)
Ver: Capítulo 10 – Sección 10.1

Donde:

Δe_i = Desplazamiento lateral del nivel i calculado para las fuerzas de diseño, tomando en consideración que la edificación se comporta elásticamente, de manera que se incluyen los efectos traslacionales, de torsión en planta y P- Δ .

Cálculo de desplazamientos laterales totales

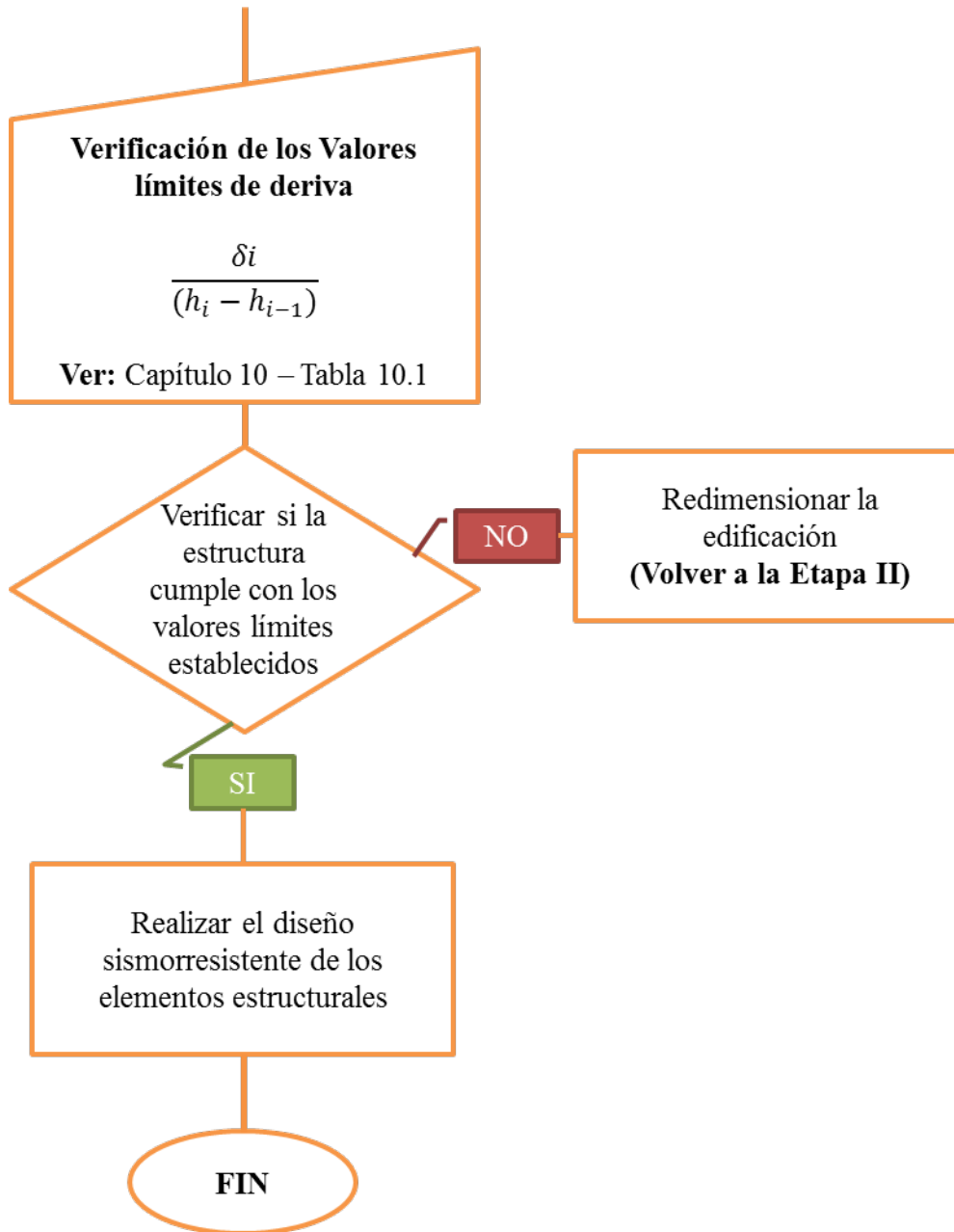
$$\Delta_i = 0,8 \times R \times \Delta e_i \quad (10.1)$$

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1} \quad (10.2)$$

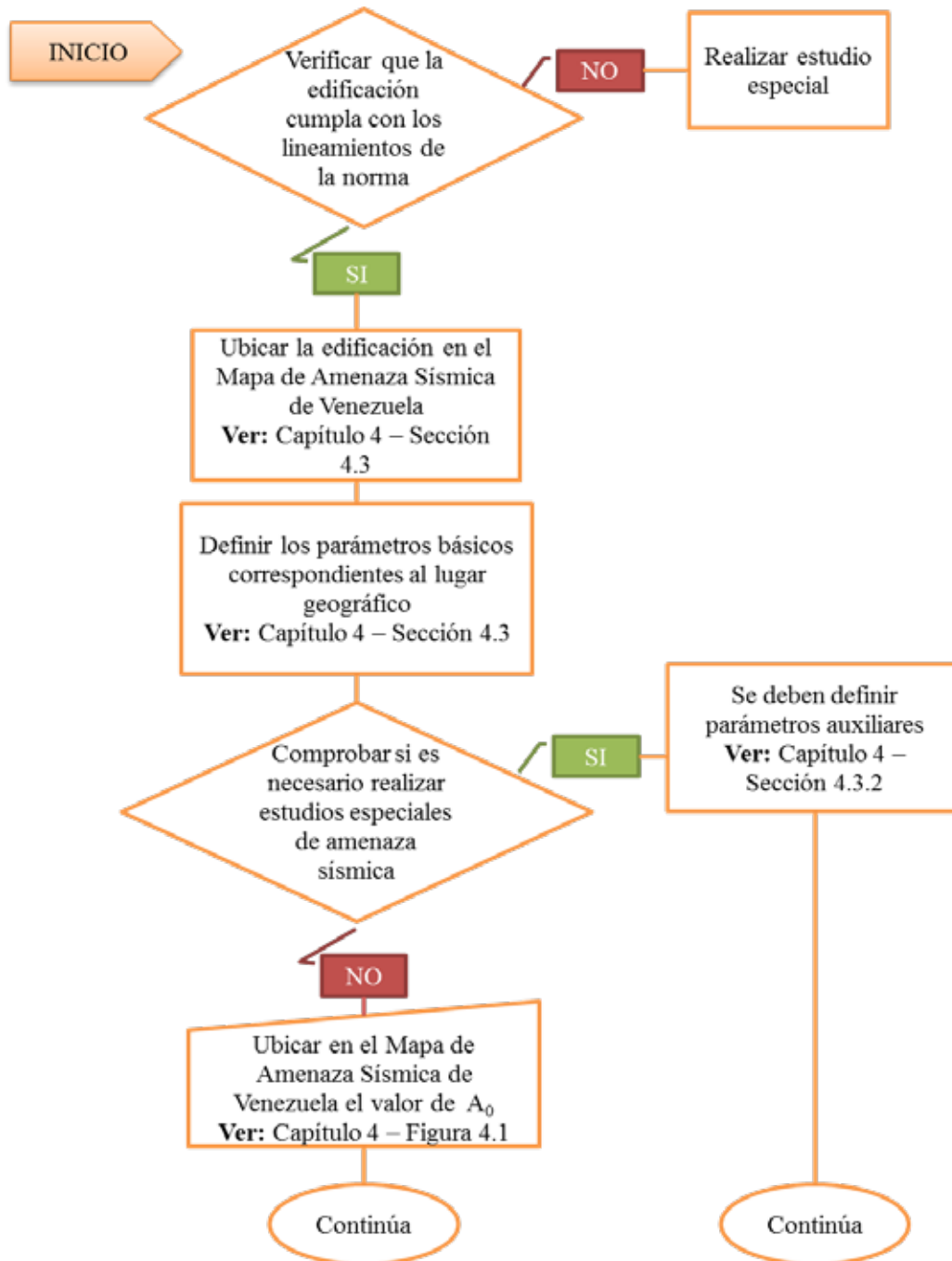
Donde:

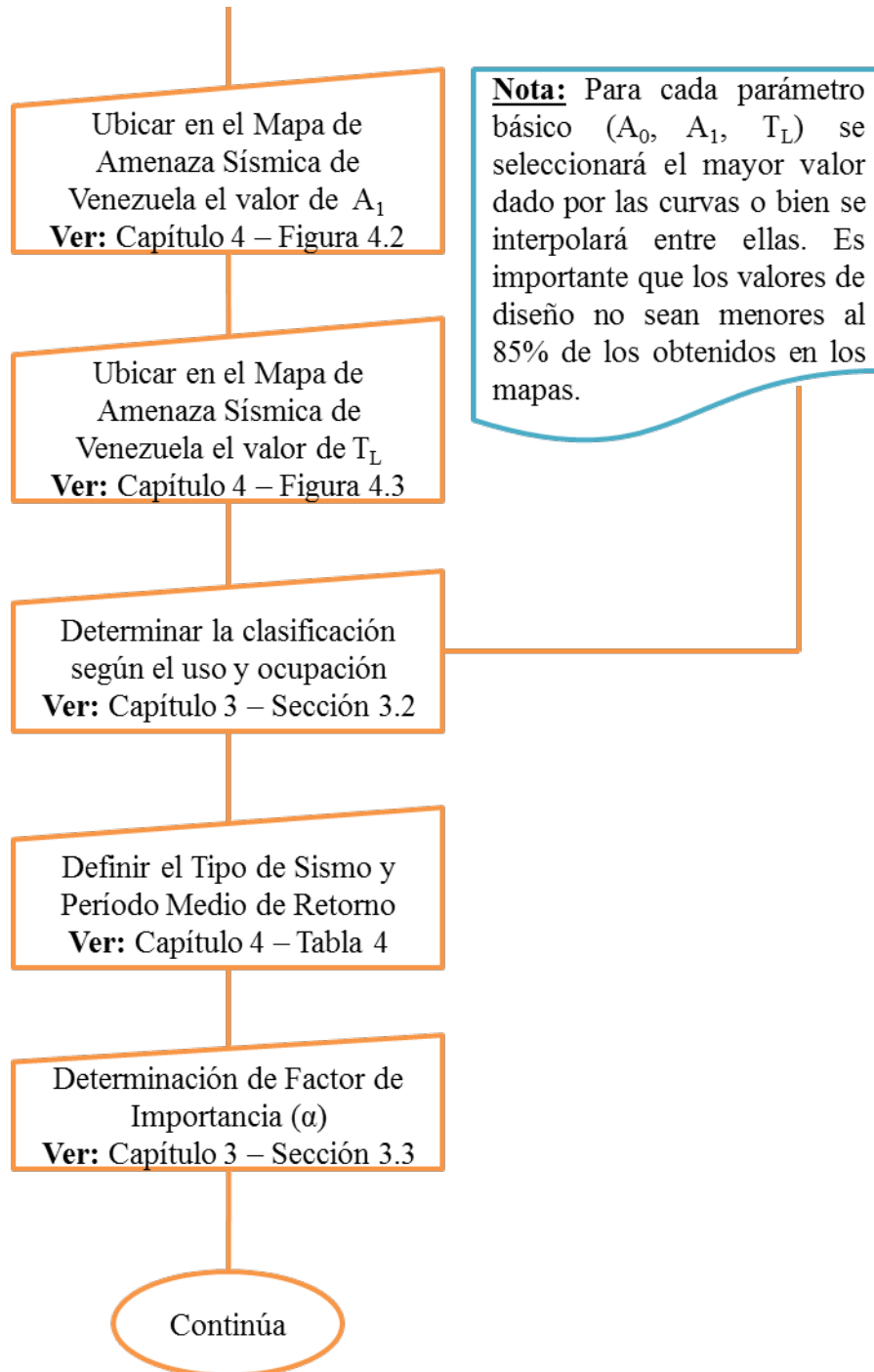
$(h_i - h_{i-1})$ = Separación entre pisos o niveles consecutivos. Se compara con los valores establecidos en la Norma.

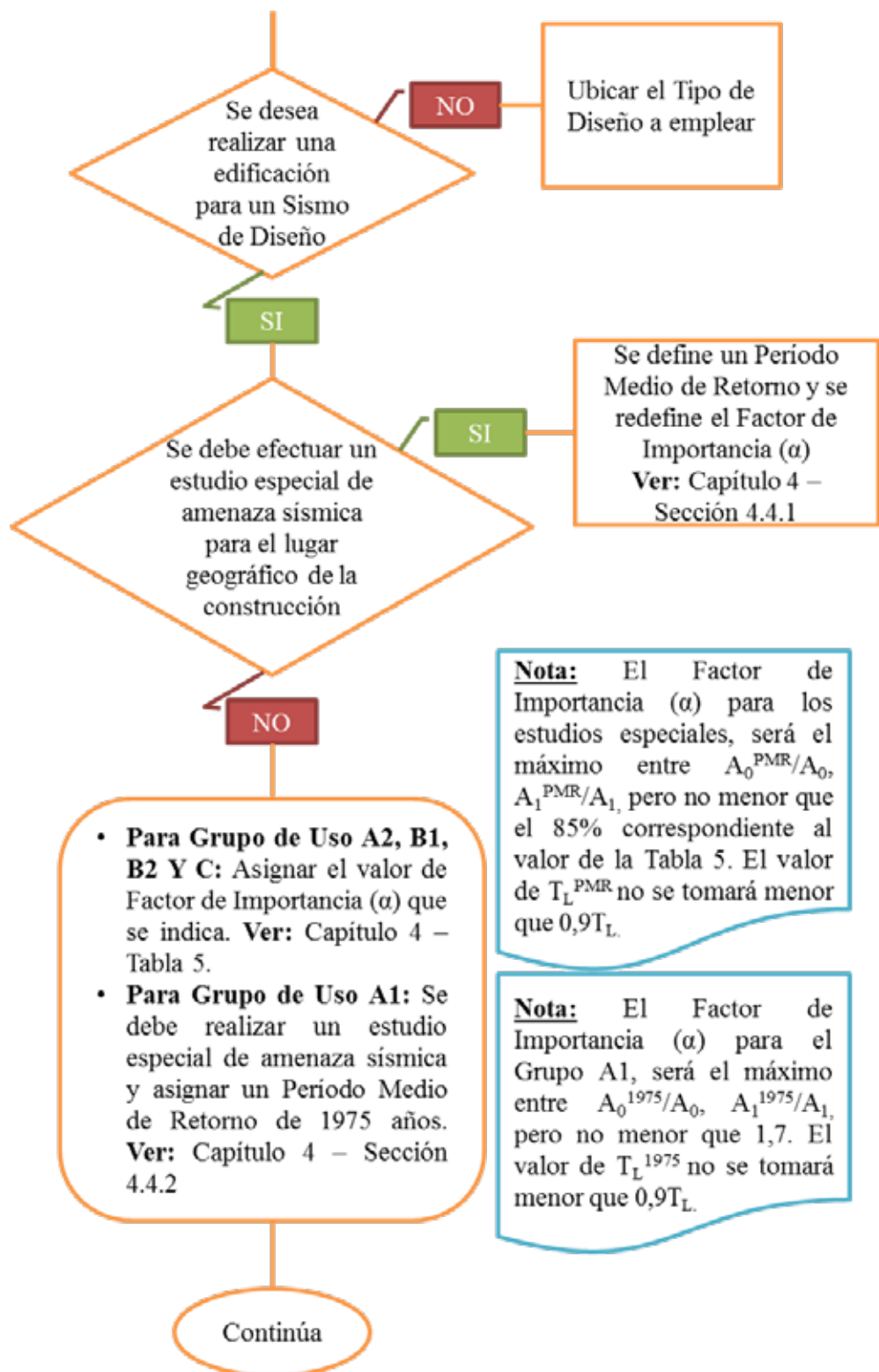
Continúa

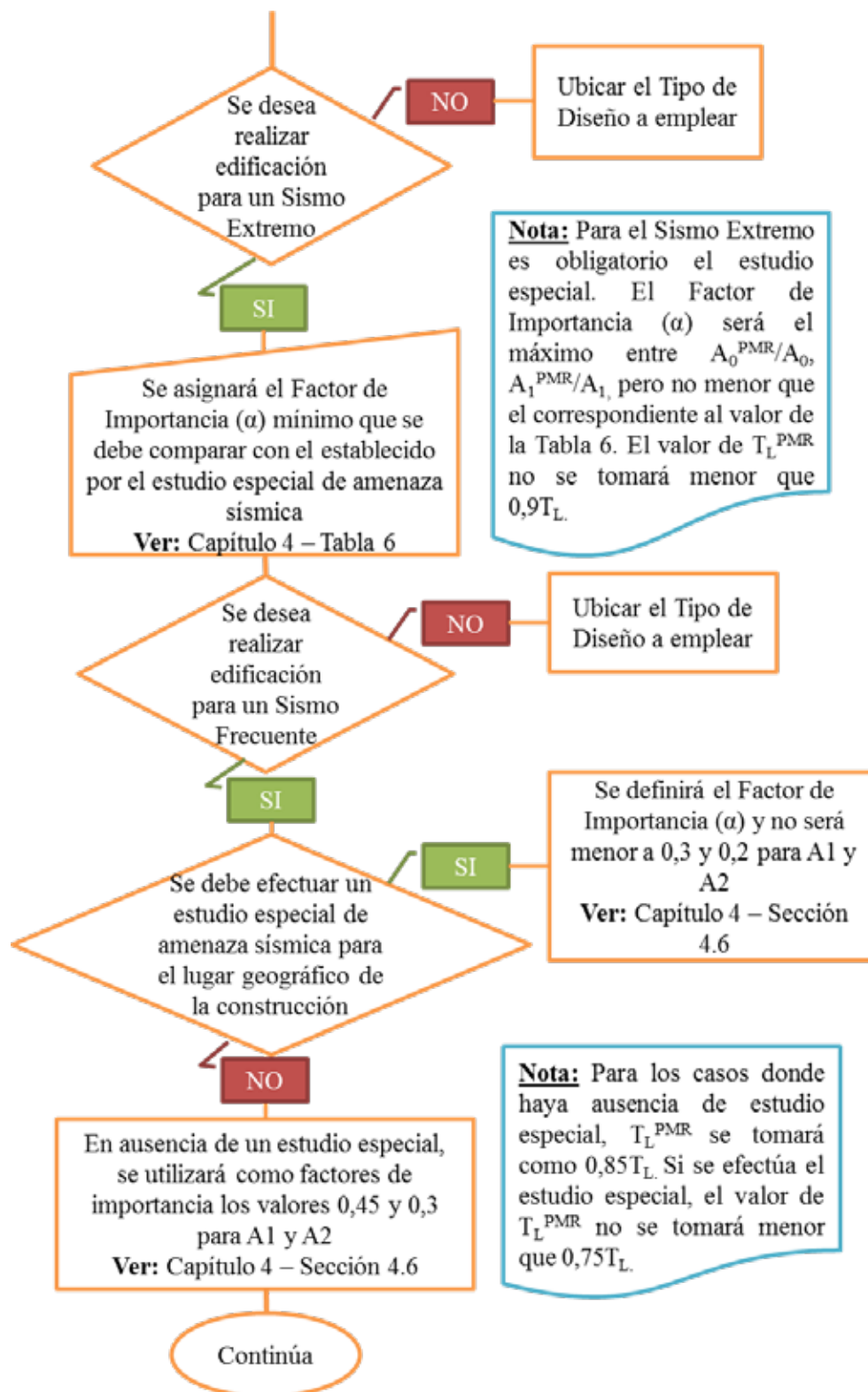


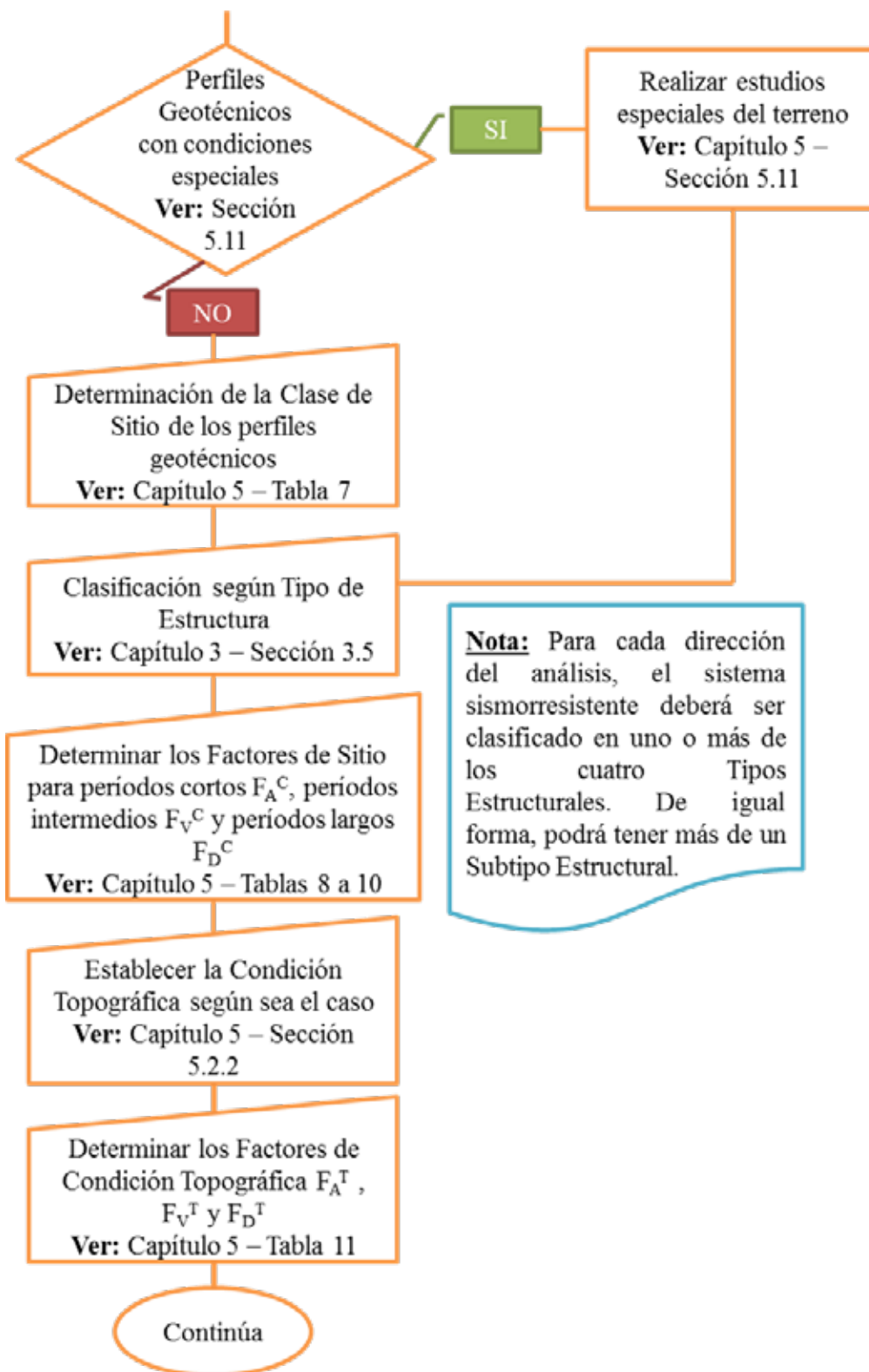
4.2.2 Diagrama de flujo Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela)

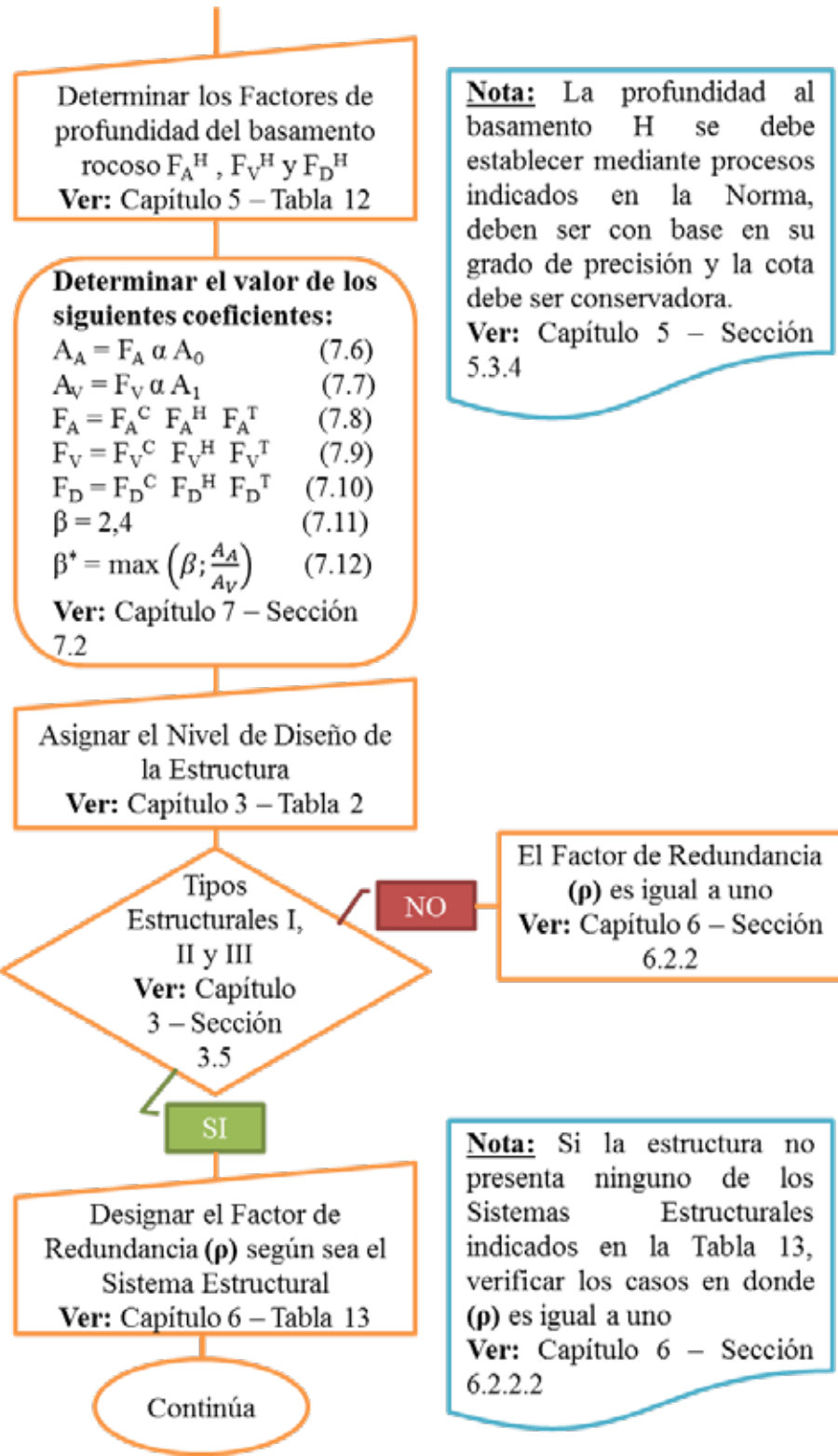


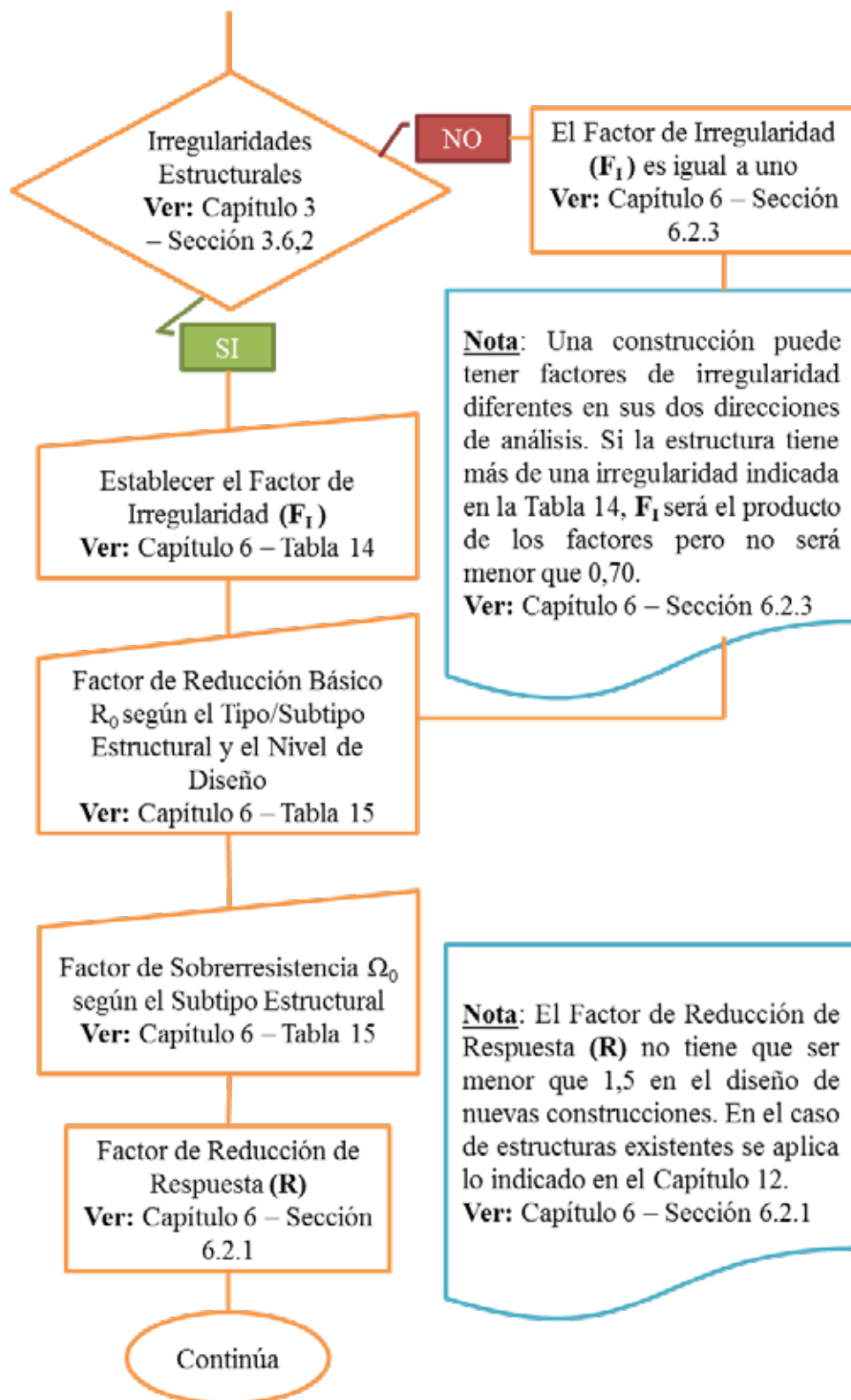












Asignar el valor del coeficiente (q) de la rama espectral para periodos largos
Ver: Capitulo 7 – Tabla 17

Valores del periodo característico T^+ en segundos
Ver: Capitulo 7 – Tabla 18

Formulaciones que definen las Ramas del Espectro de Respuesta Elástica:

$$A(T) = A_A$$

$$A(T) = A_A \left[1 + \left(\frac{T - T_A}{T_B - T_A} \right) (\beta^* - 1) \right]$$

$$A(T) = \beta^* A_A$$

$$A(T) = \beta^* A_A \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$A(T) = \beta^* A_A \left(\frac{T_C}{T_D} \right) \left(\frac{T_D}{T} \right)^q$$

Ver: Capitulo 7 – Sección 7.2

Datos Requeridos

$$T_A = 0,20 T_B$$

$$0,02 s \leq T_A \leq 0,05 s$$

$$T_B = 0,25 T_C$$

$$T_C = \frac{1}{2,4} \left(\frac{A_V}{A_A} \right)$$

$$T_D = T_L \frac{F_D}{F_V}$$

Formulaciones que definen las Ramas del Espectro de Diseño:

$$A_d(T) = A_A / 1,5$$

$$A_d(T) = A_A \left[\left(\frac{1}{1,5} + \frac{\beta^*}{R} - \frac{1}{1,5} \right) \left(\frac{T - T_A}{T^+ - T_A} \right) \right]$$

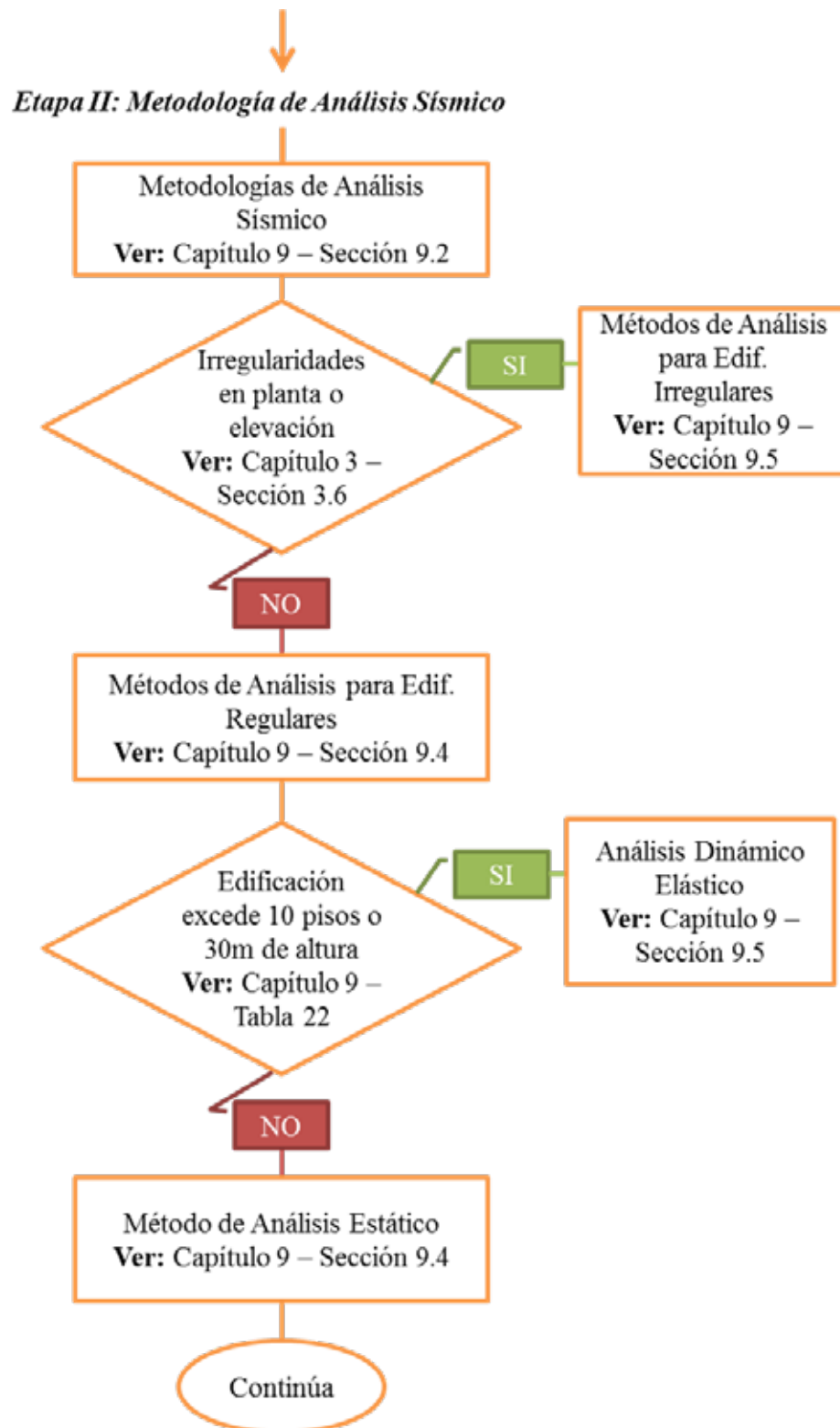
$$A_d(T) = \frac{\beta^* A_A}{R}$$

$$A_d(T) = \frac{\beta^* A_A}{R} \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

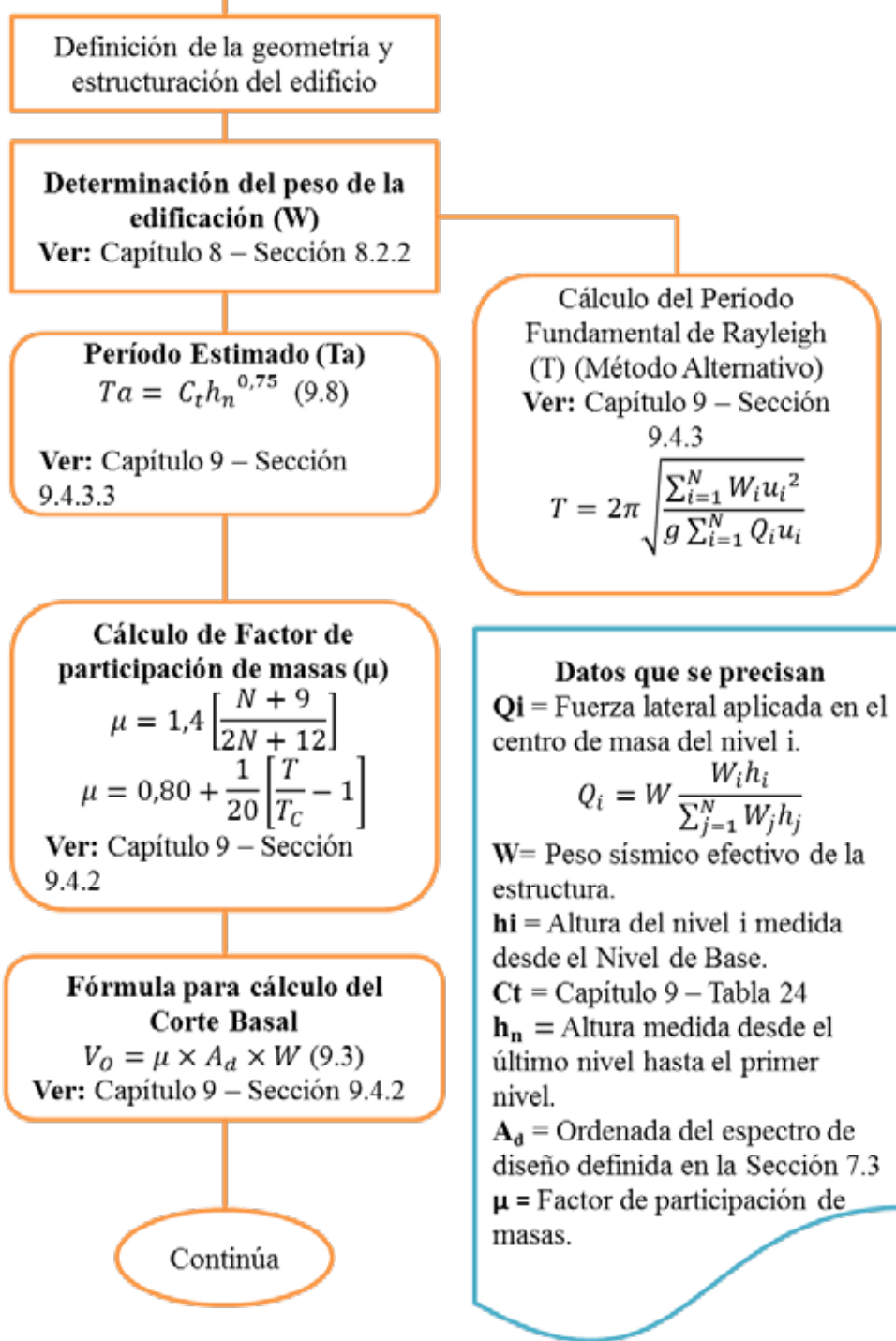
$$A_d(T) = \frac{\beta^* A_A}{R} \left(\frac{T_C}{T_D} \right) \left(\frac{T_D}{T} \right)^q$$

Ver: Capitulo 7 – Sección 7.3

Continúa



Etapa III: Aplicación del Método de Análisis Estático



Cálculo y verificación del Coeficiente Sísmico (C)

$$C = \frac{V_o}{W}$$

Ver: Capítulo 9 – Sección 9.2

Nota: Fuerzas F_t y F_i se aplican en los centros de masa respectivos

Cálculo de distribución vertical debido a los efectos traslacionales

$$V_o = F_t + \sum_{i=1}^N F_i$$

Ver: Capítulo 9 – Sección 9.4.4

Fuerza lateral concentrada en el nivel N (Último piso)
(9.10)

$$F_t = \left(0.06 \frac{T}{T_c} - 0.02\right) V_o$$

Cumpliendo los siguientes límites:

$$0.04V_o \leq F_t \leq 0.10V_o$$

Fuerza lateral correspondiente al nivel i
(9.12)

$$F_i = (V_o - F_t) \frac{W_i \times h_i}{\sum_{j=1}^N W_j \times h_j}$$

Etapa IV: Verificaciones necesarias de comportamiento

Desplazamiento y Deriva Lateral Total

Ver: Capítulo 10 – Sección 10.2

Datos Requeridos:

C_d = Factor de amplificación del desplazamiento elástico. Tabla 15

Δ_{ei} = Desplazamiento lateral elástico del nivel i

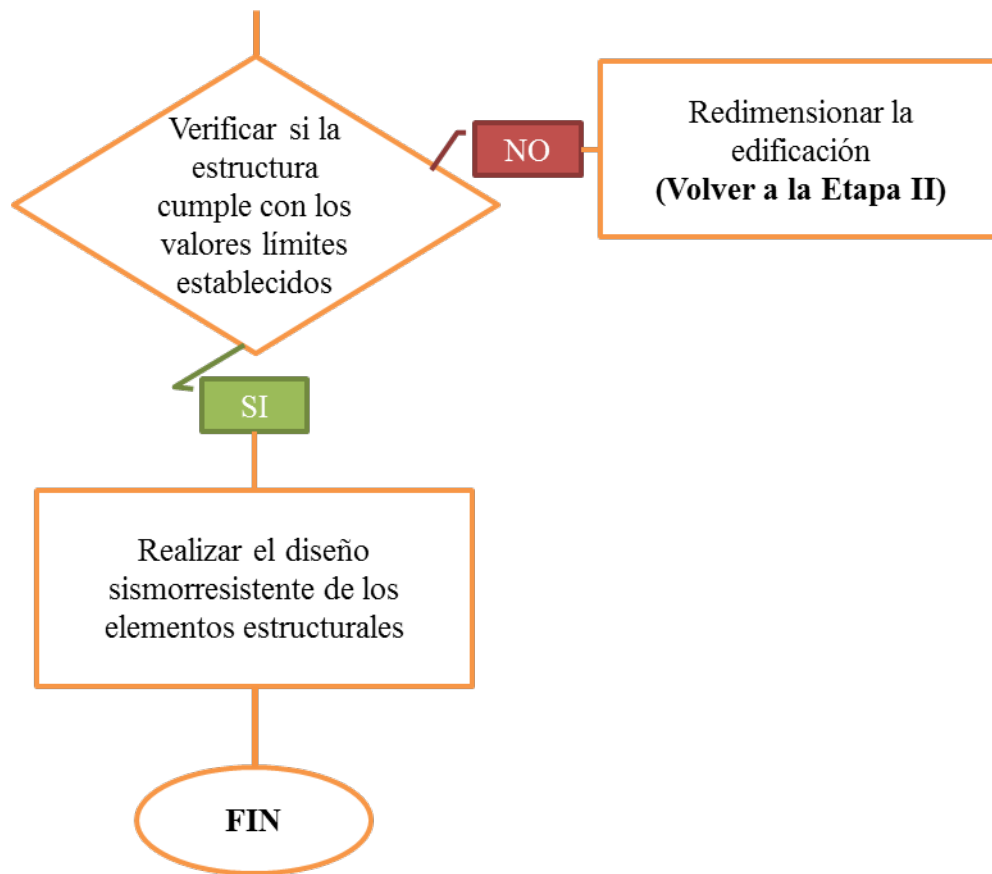
Cálculo de desplazamientos laterales totales

$$\delta_i = C_d \delta_{ei}$$

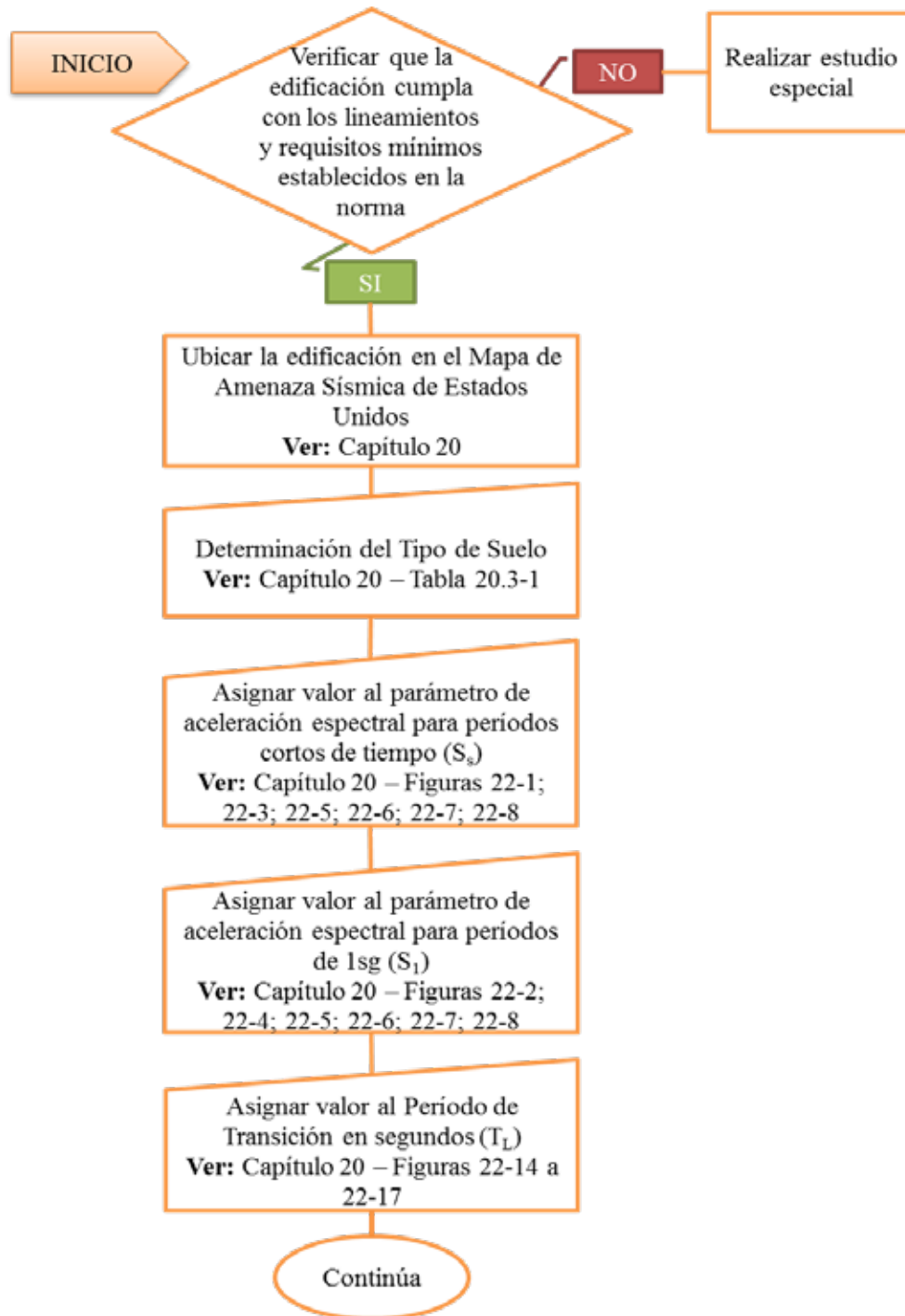
$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1}$$

Ver: Capítulo 10 – Sección 10.2

Continúa



4.2.3 Diagrama de flujo Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16



Coefficiente de Sitio para períodos cortos (F_a)

Ver: Capítulo 11 – Sección 11.4.8

Coefficiente de Sitio para períodos de 1sg (F_v)

Ver: Capítulo 11 – Sección 11.4.8

Determinar los parámetros de aceleración y respuesta espectral para períodos cortos (S_{MS}) y para períodos de 1 segundo (S_{M1})

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Ver: Capítulo 11 – Sección 11.4.4

Calcular los parámetros de aceleración de diseño espectral para períodos cortos (S_{DS}) y para períodos de 1 segundo (S_{D1})

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

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

Ver: Capítulo 11 – Sección 11.4.5

Continúa

Determinar los periodos de vibración de la estructura (T_0) y (T_s) basados en T_L

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

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

Ver: Capitulo 11 – Sección 11.4.6

Cálculo del coeficiente S_a

- Para periodos menores a T_0

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

- Para periodos mayores o iguales a T_0 y menores o iguales a T_s , la aceleración de diseño espectral S_a será igual al valor de S_{DS} .
- Para periodos que sean mayores a T_s y menores o iguales a T_L

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

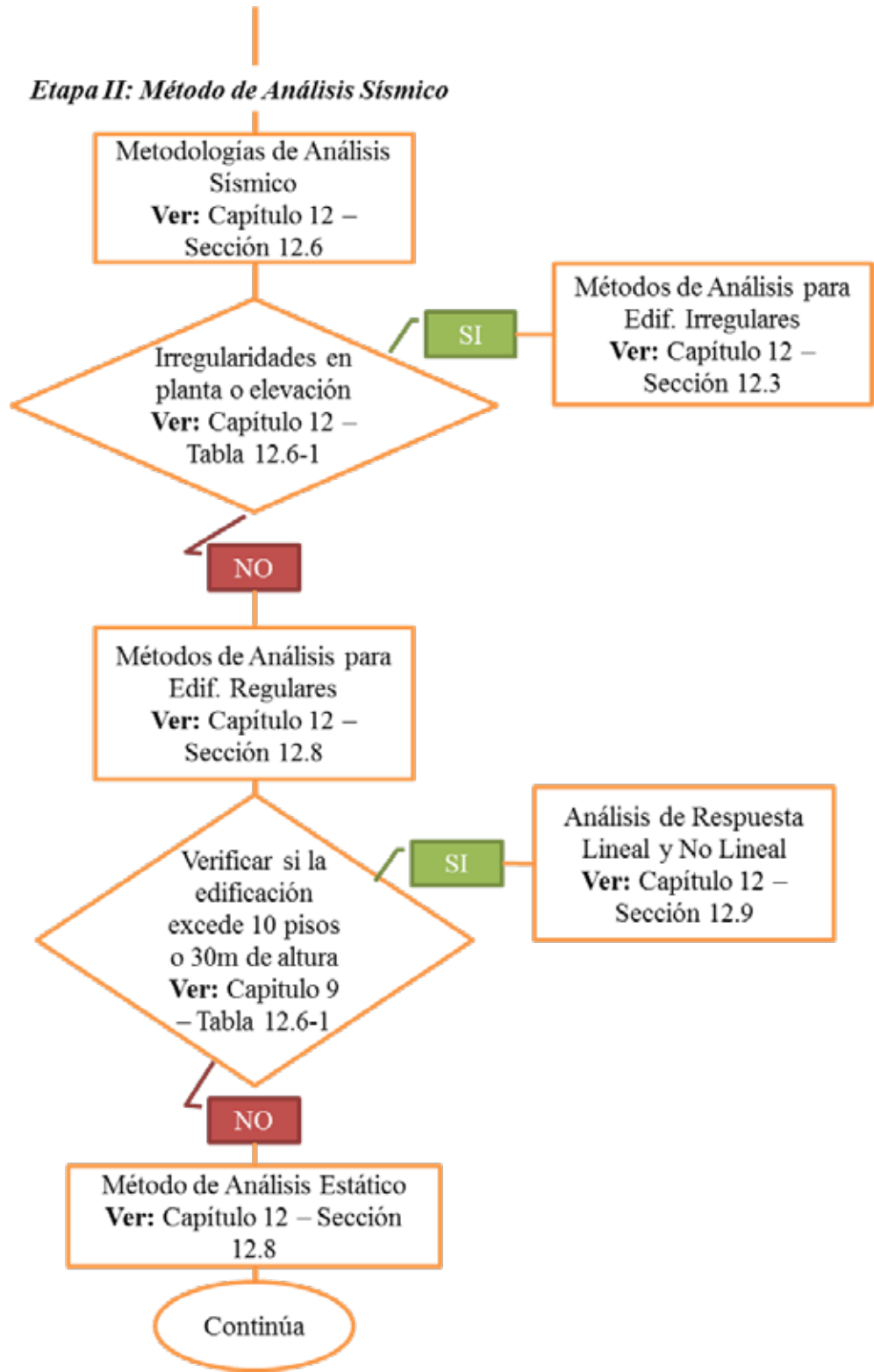
- Para periodos mayores a T_L

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

Ver: Capitulo 11 – Sección 11.4.6

Continúa

Etapa II: Método de Análisis Sísmico



Etapa III: Aplicación del Método de Análisis Estático

Definición de la geometría y estructuración del edificio

Determinación del peso de la edificación (W)
Ver: Capítulo 19 – Sección 19.2 y 19.3

Cálculo del Período Fundamental Aproximado (T_a)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.2

Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica (C_s)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.1.1

Fórmula para cálculo del Corte Basal
 $V = C_s \times W$ (12.8-1)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8

Continúa

Datos Requeridos:
 C_t = Coeficiente de período de construcción
 h_n = Altura estructural
 x = Nivel bajo consideración

Datos Requeridos:
 S_{DS} = Parámetro de aceleración de respuesta espectral
 R = Factor de modificación de respuesta
 I_e = Factor de Importancia

Etapa III: Aplicación del Método de Análisis Estático

Definición de la geometría y estructuración del edificio

Determinación del peso de la edificación (W)
Ver: Capítulo 19 – Sección 19.2 y 19.3

Cálculo del Período Fundamental Aproximado (T_a)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.2

Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica (C_s)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.1.1

Fórmula para cálculo del Corte Basal
 $V = C_s \times W$ (12.8-1)
Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8

Continúa

Datos Requeridos:
 C_t = Coeficiente de período de construcción
 h_n = Altura estructural
 x = Nivel bajo consideración

Datos Requeridos:
 S_{DS} = Parámetro de aceleración de respuesta espectral
 R = Factor de modificación de respuesta
 I_e = Factor de Importancia

Cálculo de Distribución de Fuerzas Sísmicas Verticales

$$F_x = C_{vx}V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.3

Datos Requeridos:

C_{vx} = Factor de distribución vertical

V = Cortante basal de la estructura

w_i y w_x = Porción del peso de la estructura desde el nivel i hasta el x

h_i y h_x = Altura desde la base del nivel i hasta el x

k = Exponente relacionado con el período de la estructura

Cálculo de Distribución de Fuerzas Sísmicas Horizontales

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.4

Datos Requeridos:

F_i = Porción del cortante basal sísmico (V) inducido en el nivel i

Eta IV: Verificaciones necesarias de comportamiento

Verificación de Volcamiento

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Ver: Capítulo 12 – Sección 12.8.5

Datos Requeridos:

F = Magnitud de Fuerza Sísmica por nivel

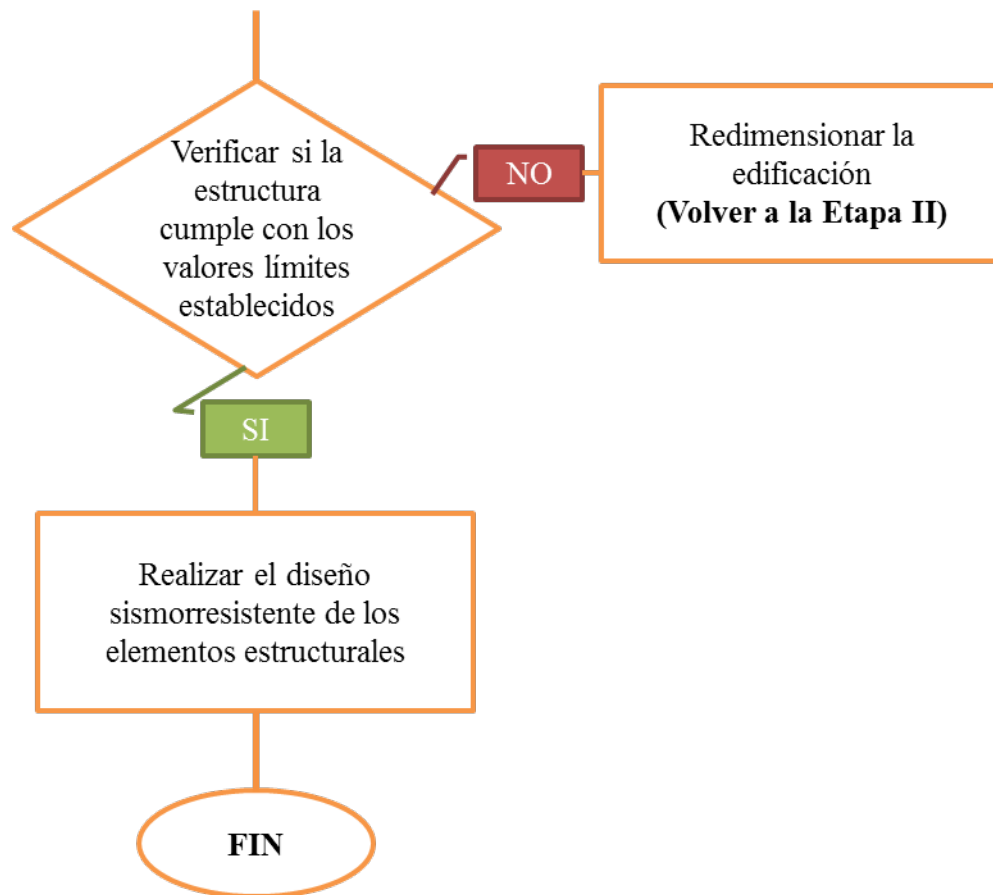
C_d = Factor de deflexión amplificada

δ_{xe} = Deflexión requerida localizada, se determina mediante un análisis elástico

I_e = Factor de Importancia

Δ_a = Volcamiento permitido por planta – Tabla 12.12-1

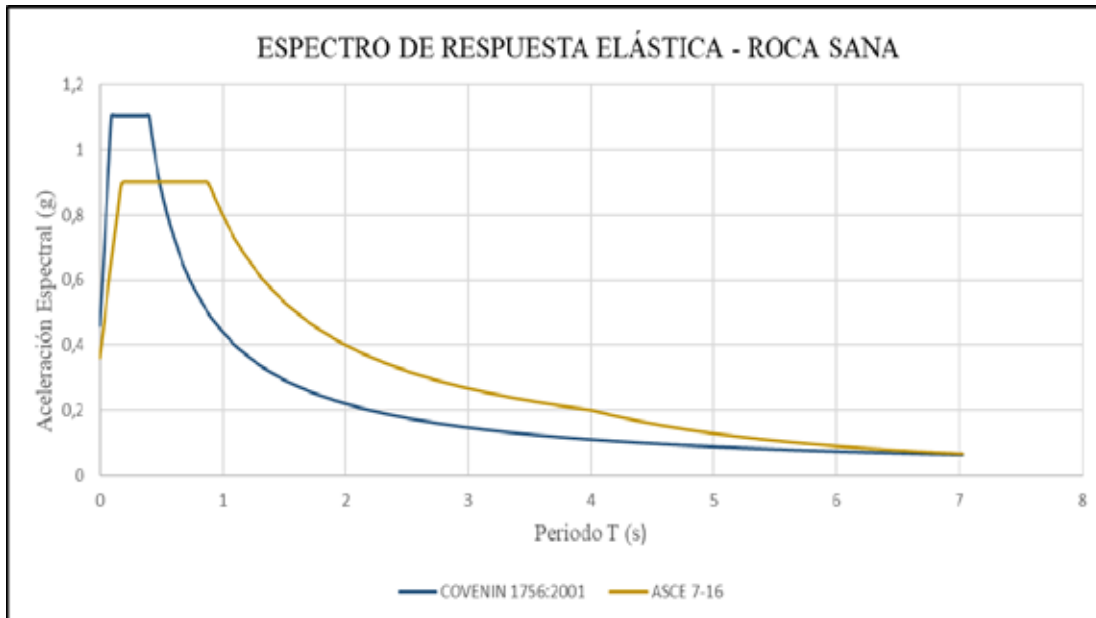
Continúa



4.3 Ejecución de un análisis comparativo de los espectros de diseño para distintos parámetros sísmicos.

Para la construcción de los espectros se establecieron diferentes aceleraciones espectrales sin ubicación específica, esto con la finalidad de poder crear un artificio matemático para unificar las mismas y que el comportamiento fuese lo más parecido posible a nivel de forma del espectro. De igual manera, se seleccionaron diferentes tipos de perfiles geotécnicos, pero en igualdad para cada norma estudiada, con el fin de analizar el comportamiento del espectro y ver las diferencias y dispersiones en sus valores y forma entre ellas en la comparación.

Gráfica 1. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos de roca sana.

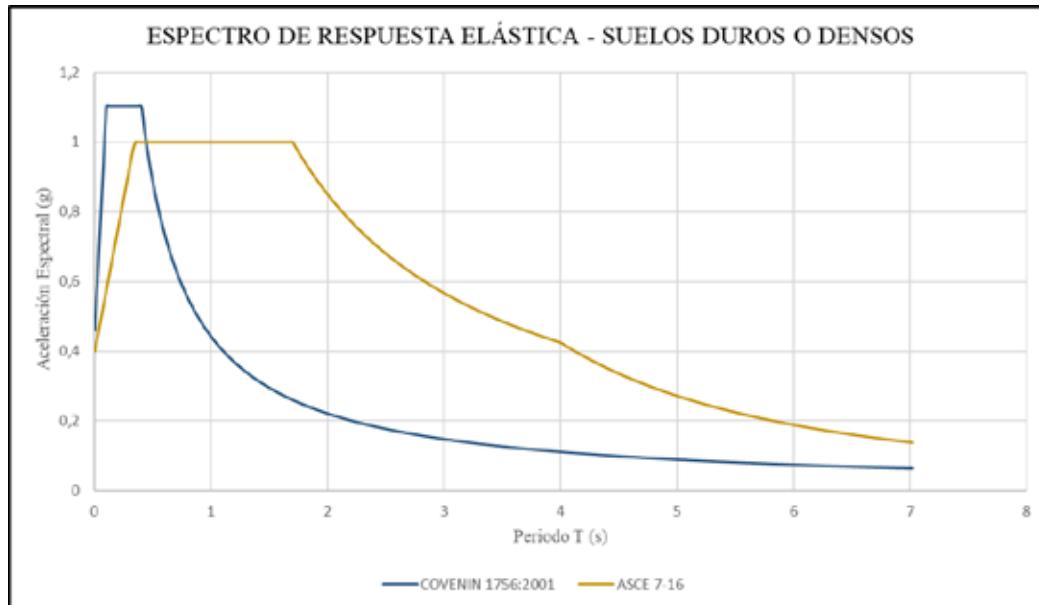


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En lo que respecta a la **Gráfica 1**, se aprecian los espectros elásticos de la Norma COVENIN 1756:2001 y la ASCE 7-16, se aplicó el análisis para un tipo de suelo de roca sana con las aceleraciones más desfavorables. Se logra distinguir una gran diferencia en la zona de la meseta, también denominada zona de aceleración constante, ya que la Norma COVENIN 1756:2001 desarrolla mayores valores de aceleración espectral en los primeros 0,55s, a diferencia de la ASCE 7-16 que partir de ese período de tiempo es que comienza a incrementar su valor en las aceleraciones.

En efecto, se observa que en el punto de inicio de la aceleración espectral, la Norma ASCE 7-16 presenta una variación del 21,7% con respecto a la COVENIN 1756:2001, así como para el punto donde se da el inicio de la meseta, la Norma ASCE 7-16 experimenta una variación del 50%, permitiendo observar que para el punto final de la meseta presenta una variación de 54,3% con respecto a la Norma COVENIN 1756:2001. En referencia a la zona de la meseta, se logra determinar una variación de A_0 correspondiente a un 18,5% entre ambas Normas.

Gráfica 2. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos duros o densos.

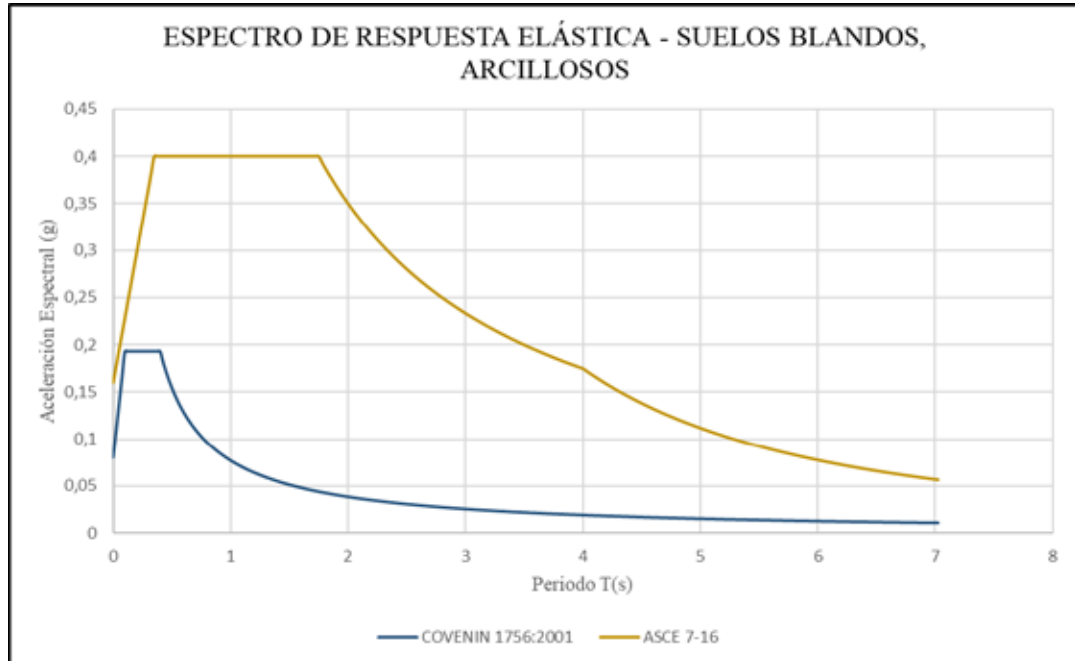


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 2**, se observan los espectros elásticos de la norma COVENIN 1756:2001 y la ASCE 7-16, cuyo comportamiento es analizado bajo la influencia que tienen las aceleraciones más desfavorables en tipos de suelo duros o densos. Se logra distinguir gran diferencia con respecto a suelos de roca sana, ya que la curva se amplía, permitiendo que las aceleraciones máximas de diseño de la norma ASCE 7-16 aumenten con respecto a las aceleraciones de diseño de roca sana durante periodos largos de tiempo. De igual manera, se aprecia como la norma COVENIN 1756:2001 muestra mayores valores de aceleración espectral los primeros 0,45s, punto a partir del cual la ASCE 7-16 comienza a experimentar mayores aceleraciones.

Con respecto al comportamiento de las aceleraciones iniciales de ambas normas, la ASCE 7-16 presenta una variación del 13% con respecto a la COVENIN 1756:2001, así como para el punto correspondiente al inicio de la meseta la ASCE 7-16 varía en un 71,4%, permitiendo que se aprecie una diferencia al final de la meseta que alcanza el valor del 76,5%. Finalmente, en la zona de la meseta se estima variación entre A_0 de 9,4% entre ambas Normas.

Gráfica 3. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelos blandos arcillosos.



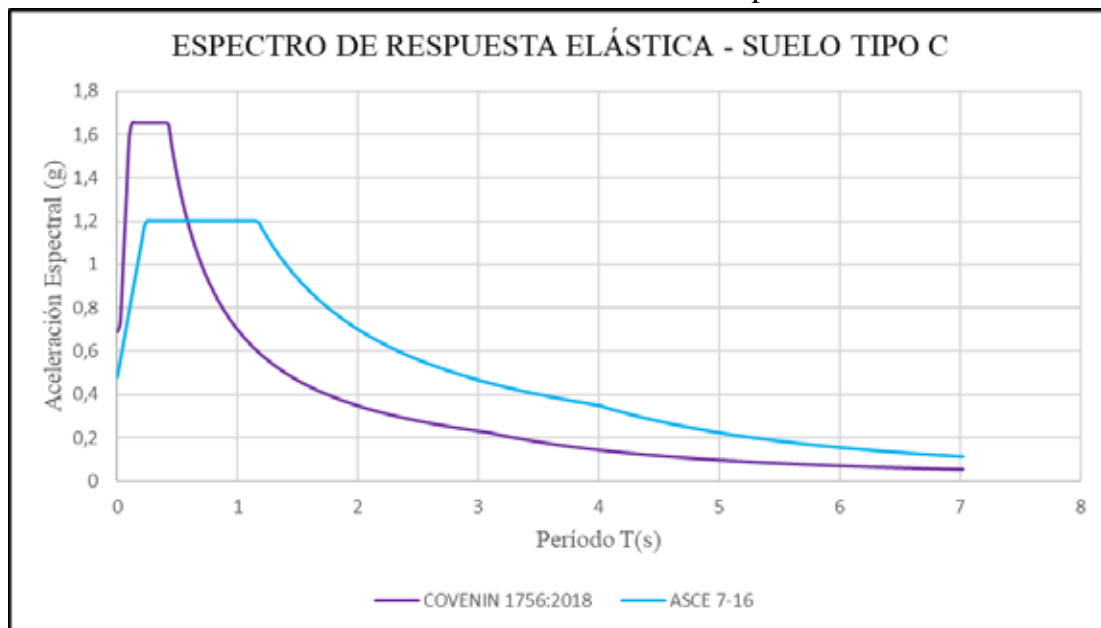
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 3**, se analiza el comportamiento de los espectros elásticos de la Norma COVENIN 1756:2001 y la ASCE 7-16 para los efectos sobre suelos blandos, para ello se consideraron las aceleraciones menos desfavorables. Estas condiciones permitieron determinar diferencias significantes con respecto a suelos de roca sana, así como también con los suelos densos, ya que se aprecia como la curva del espectro se amplía, a causa de que las aceleraciones máximas de diseño de la ASCE 7-16 aumentan, siendo ésta considerada como la Norma más exigente para este tipo de suelo. De esta gráfica se puede concluir que la norma ASCE 7-16 muestra mayores valores de aceleración durante todo el espectro.

Con referencia al punto en que se da comienzo a la representación de las aceleraciones, la ASCE 7-16 presenta una variación del 49.7% con respecto a la COVENIN 1756:2001, así como para el instante en que se da inicio a la meseta la ASCE 7-16 presenta una variación del 71.4%, finalmente cuando la meseta termina,

se presenta una variación de 77.1%. De semejante manera, en la zona de la meseta se aprecia una variación de A_0 del 51.7%.

Gráfica 4. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con valores más desfavorables de Aceleración Espectral.



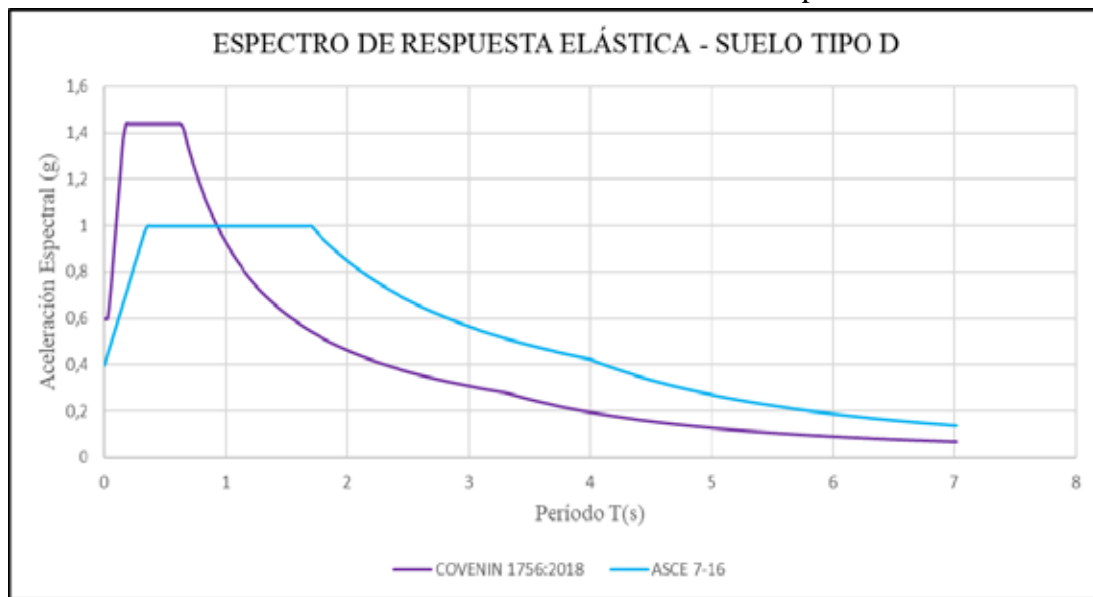
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En primeras circunstancias de la **Gráfica 4**, se muestran los espectros elásticos de la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16 para suelos Tipo C. Se aprecia principalmente diferencias en la amplitud de las mesetas, y en los máximos valores de aceleración espectral alcanzados en cada Norma. Es posible evidenciar como en el espectro de la norma venezolana se representan valores máximos de A_0 entre 0s y 0.625s, siendo a partir de ese punto en donde la ASCE 7-16 registra máximos valores de A_0 por un período de tiempo más largo, siendo sus valores de aceleración espectral mayores por el resto del espectro.

Como puede observarse, el punto de inicio del registro en la ASCE 7-16 presenta una variación del 30.4% con respecto a la aceleración de la COVENIN 1756:2018, permitiendo evidenciar en la zona de inicio de la meseta una variación del

50% y en la zona final de la misma una diferencia del 65.2%. Con respecto a las aceleraciones máximas presenta una variación del 27.4% entre ambas Normas.

Gráfica 5. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo D con valores más desfavorables de Aceleración Espectral.



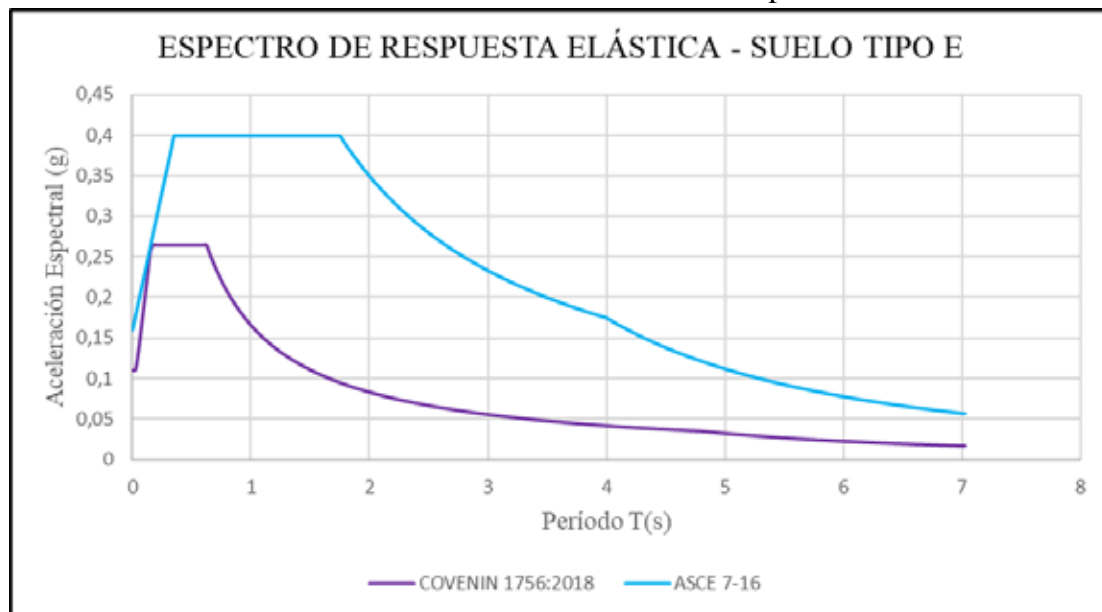
Fuente: Días S. y Valera C. (2020)

Como puede observarse en la **Gráfica 5**, ambos son espectros elásticos para suelos Tipo D, aplicando los valores más desfavorables de A_0 . A pesar de no evidenciar una gran diferencia con respecto a los que se registran en un tipo de suelo C, estos presentan un aumento en la zona de la meseta, así como también en los máximos valores de aceleración alcanzados en la respectiva aplicación de cada norma. Se puede observar que en la gráfica, la norma venezolana presenta valores máximos de A_0 entre períodos de tiempo comprendidos entre los 0s y 0.975s, siendo en ese instante en el que la ASCE 7-16 comienza a alcanzar sus valores máximos de A_0 por un período de tiempo más largo que la COVENIN 1756:2018, permitiendo registrar valores de aceleración espectral mayores por el resto del espectro.

Con respecto a diferencias porcentuales, en el punto de inicio de aceleraciones espectrales, la ASCE 7-16 presenta una variación del 33.3% con respecto a la COVENIN 1756:2018, así como en la zona de inicio de la meseta presenta una

variación del 64.3% y en el punto final de la misma un 63.2%. Con respecto a las aceleraciones máximas alcanzadas presenta una variación del 30.6%.

Gráfica 6. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo E con valores menos desfavorables de Aceleración Espectral.



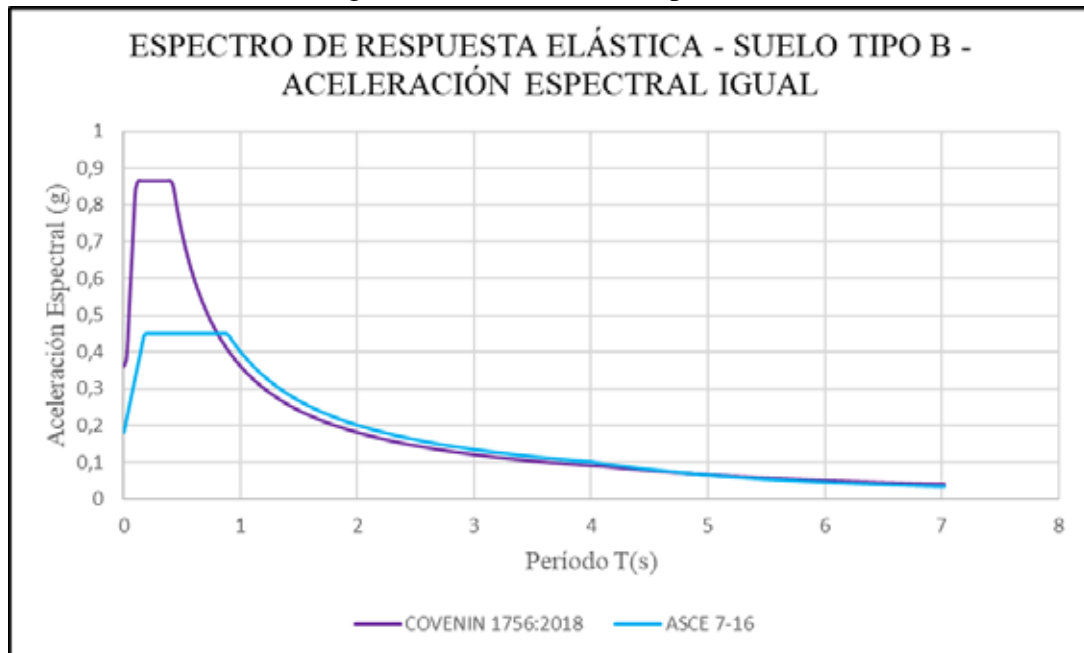
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Para efectos de establecer esta comparación en la **Gráfica 6**, se evalúa un tipo de suelo E, en donde se consideraron los valores menos desfavorables de cada norma, ya que para una aceleración mayor la ASCE 7-16 precisa de un estudio de suelos especializado. Se puede apreciar como los espectros elásticos para suelos de tipo E presentan diferencias mayores en comparación a los tipos de suelos anteriores. Esto se debe a que la ASCE 7-16 refleja mayores valores de aceleración durante todo el espectro siendo así la norma más exigente para este tipo de suelo, lo cual se opone contra las comparaciones anteriores, en donde se observa que la COVENIN 1756:2018 era la que resultaba ser más exigente en los primeros periodos de tiempo. También se puede apreciar como la zona de la meseta se genera un aumento en la norma americana.

En cuanto al punto de inicio del registro del espectro, la ASCE 7-16 presenta una variación del 31.3% con respecto a la aceleración de la COVENIN 1756:2018,

así como en la zona de inicio de la meseta se aprecia una variación del 50% y del punto final un 64.3%. Con respecto a las aceleraciones máximas presenta una variación del 34% entre ambas Normas.

Gráfica 7. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo B con valores iguales de Aceleración Espectral.

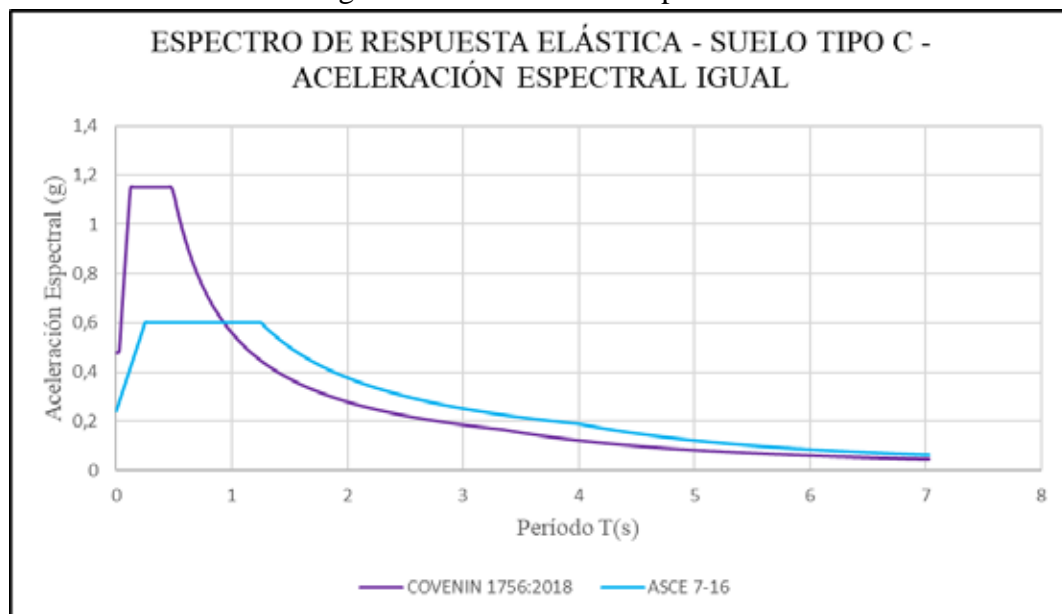


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tal como se observa en la **Gráfica 7**, ambos son espectros elásticos de la norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16 respectivamente, para un tipo de suelo B y valores de aceleración espectral iguales para cada caso. Se hace inevitable apreciar una gran diferencia en la amplitud de las mesetas, y los máximos valores alcanzados de cada norma, esto se debe a las exigencias de cada una con respecto a las aceleraciones espectrales en este tipo de suelo. Como se puede observar en la gráfica, la norma venezolana presenta valores máximos de A_0 entre 0s y 0.775s ya que a partir de ese punto la ASCE 7-16 comienza a experimentar máximos valores de A_0 por un período de tiempo hasta los 4s, donde ambos espectros tienden a tomar los mismos valores de aceleración luego de ese período de tiempo transcurrido.

En cuanto al punto de inicio de los espectros, la ASCE 7-16 presenta una variación del 50% con respecto a la aceleración de la COVENIN 1756:2018, así como también en la zona de inicio de la meseta presenta una variación del 37.5% y del punto final de la misma un 54.3%. Con respecto a las aceleraciones máximas presenta una variación del 47.9% entre ambas normativas.

Gráfica 8. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con valores iguales de Aceleración Espectral.

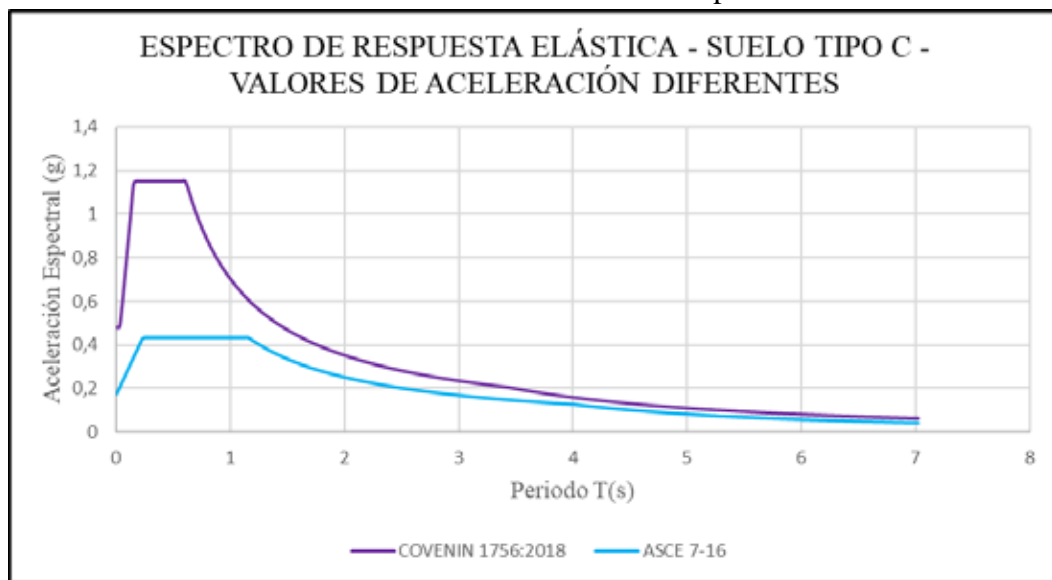


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De la **Gráfica 8**, se logra evaluar el comportamiento de los espectros elásticos para suelos de Tipo C con valores de aceleración espectral iguales para cada norma. Se pueden apreciar diferencias en cuanto a la amplitud de las mesetas, y los máximos valores de aceleración espectral alcanzados por cada norma. Si se considera la gráfica anterior, ambas se diferencian notablemente en la amplitud que existe en el área de la curva, siendo así la ASCE 7-16 la que alcanza los valores más altos con respecto a la aceleración, a pesar de que la norma venezolana presenta valores máximos de aceleración entre 0s y 0.925s y a partir de ese valor la ASCE 7-16 experimenta valores más grandes de aceleración.

En cuanto a la aceleración espectral del inicio, la ASCE 7-16 ocupa una variación del 50% con respecto a la aceleración de la COVENIN 1756:2018, de igual manera, en la zona de inicio de la meseta presenta una variación del 50% y en el punto final de la misma una diferencia del 62%. Con respecto a las aceleraciones máximas presenta una variación del 47.9% con respecto a las normas en estudio.

Gráfica 9. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.



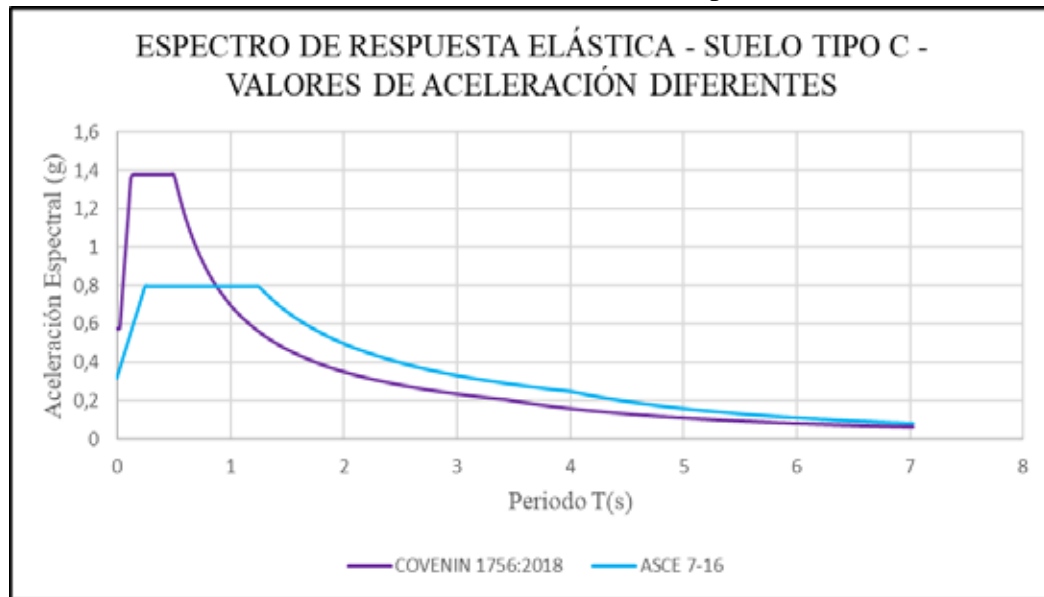
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Al observar la **Gráfica 9**, se aprecia cómo se obtuvo el espectro insertando valores iguales para ambas normas siendo A_0/S_{Ds} igual a 0.4, A_1/S_{D1} igual a 0.5 y T_L igual a 4. Se observa que la norma COVENIN 1756:2018 presenta mayores valores de aceleración durante todo el espectro, a pesar que luego del segundo 3,900s aproximadamente, las curvas se acercan al punto en que sus valores se consideran parecidos, aún así sigue siendo la norma venezolana la que presenta mayores registros de aceleraciones.

Con respecto al porcentaje de variación entre ambas normas, en el inicio de los espectros, se presenta una variación del 63.9% en las aceleraciones, asimismo, en la zona de la meseta en su punto de inicio su variación es de aproximadamente un 30%

mientras en el final de la meseta se registra una diferencia del 47.8%. Con respecto a las aceleraciones espectrales en la zona de la meseta, se aprecia una variación del 62.4% entre ambas normas.

Gráfica 10. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.



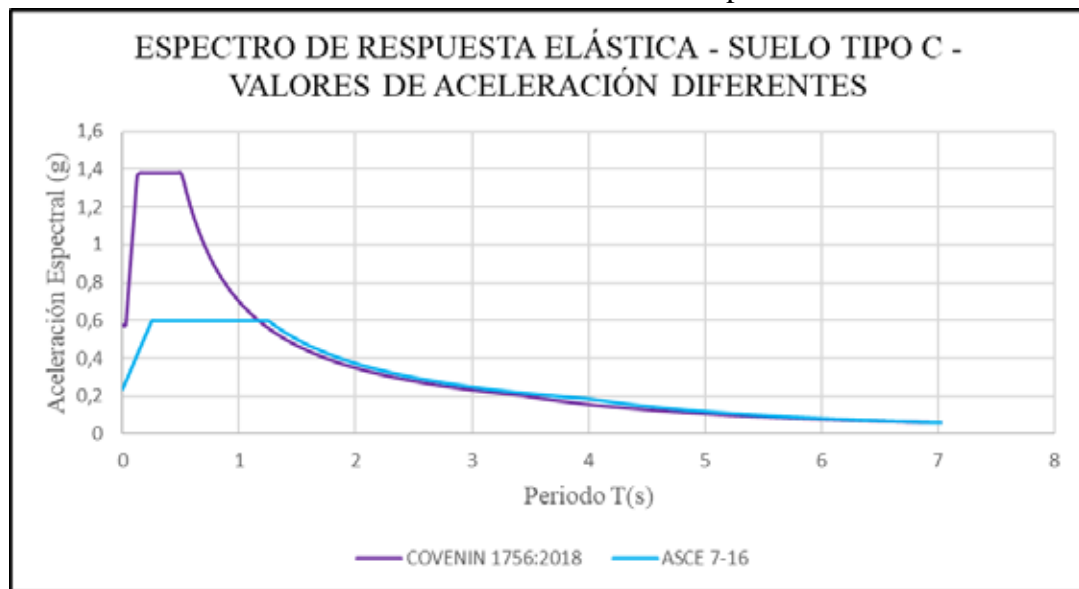
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De acuerdo a la **Gráfica 10**, siendo los valores de A_0/S_{DS} igual a 0.8, A_1/S_{D1} igual a 1 y T_L igual a 4, se puede apreciar diferencias si se compara con la gráfica de los espectros anteriores, ya que la norma ASCE 7-16 experimenta valores de aceleración espectral mayores a la COVENIN 1756:2018 luego de transcurrir un tiempo de 0.85s. De igual manera, luego de alcanzar los 6s de tiempo aproximadamente, las curvas de las ramas de ambos espectros se acercan al punto que casi representan los mismos valores, a pesar de que sigue siendo la norma americana la que presenta los máximos valores de aceleración espectral.

Con respecto a la variación entre ellas, en el punto de inicio de los espectros se percibe una variación del 44.3%, en la zona de la meseta en su punto de inicio su variación es de 40% y en final de la misma se registra una diferencia que alcanza el

60%. La variación entre aceleraciones espectrales en la zona de la meseta es del 42% entre ambas normas en estudio.

Gráfica 11. Espectros superpuestos de respuesta elástica para suelo Tipo C con distintos valores de Aceleración Espectral.



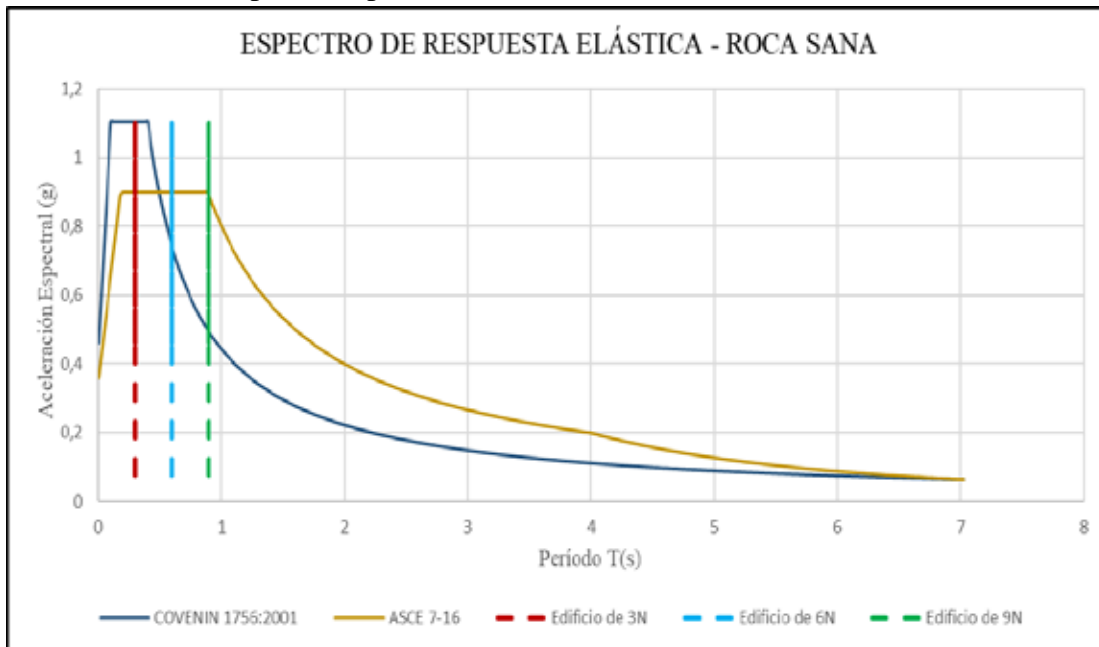
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Por otra parte en la **Gráfica 11**, en donde se establecen los valores de A_0/S_{D5} igual a 0,4, A_1/S_{D1} igual a 0,4 y T_L igual a 4, se puede apreciar cómo a diferencia de las gráficas de los espectros anteriores, la zona de la curva tiende a acercarse a tal punto en el cual sus aceleraciones alcanzan valores muy similares luego de los 2,025s de tiempo transcurridos. De igual manera se observa que la COVENIN 1756:2018 presenta valores de aceleración más altos hasta 1,175s a partir de ese valor la norma ASCE 7-16 logra alcanzar valores de aceleración mayores a la COVENIN 1756:2018 aunque sus diferencias no sean tan determinantes.

Con respecto a la variación entre ellas, en el punto de inicio de los espectros se aprecia una variación del 58,3%, en la zona de la meseta en su punto de inicio se registra una diferencia que alcanza un 40% y en su punto final la variación alcanza un 60%. En referencia al comportamiento entre aceleraciones en la zona de la meseta, se diferencian en un 56,5% ambas normas en estudio.

Se puede concluir que en las gráficas 8 a 10, donde el tipo de suelo es el mismo y las aceleraciones son distintas, la norma que arroja mayores valores de aceleración los primeros segundos es la COVENIN 1756:2018, mientras que a nivel de la variación de los valores de aceleración espectral varía la conducta de la curva de ambas normas.

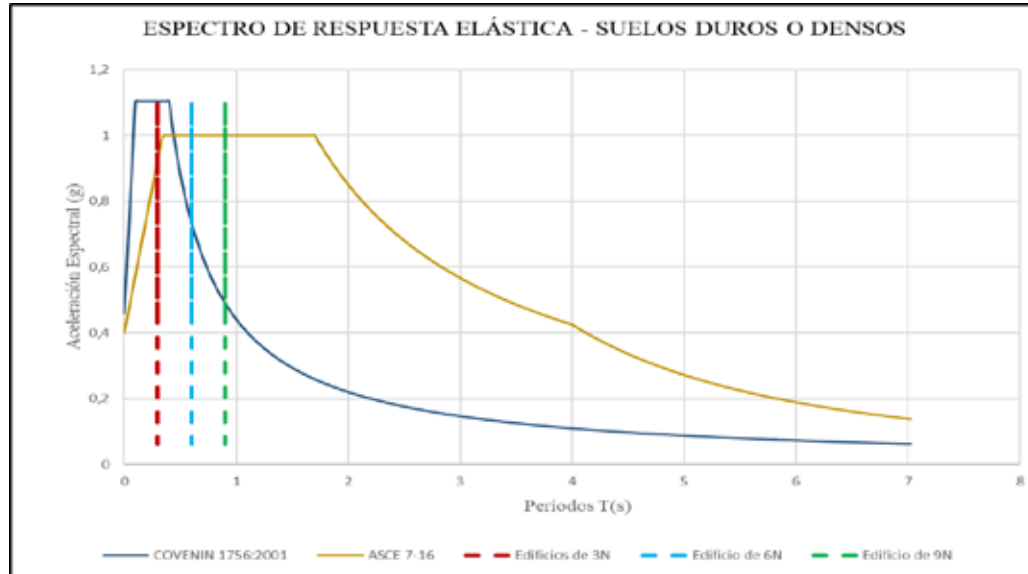
Gráfica 12. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos de roca sana.



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 12**, se ha realizado una comparación para edificios de 3, 6 y 9 niveles con un período de $N/10$ en los tres tipos de suelos. En el caso de los espectros elásticos para suelos de roca sana, se aprecia que los tres tipos de edificios en estudio alcanzan los máximos valores de aceleración en la Norma ASCE 7-16, a diferencia de la COVENIN 1756:2001 en donde el único edificio que genera respuesta con los valores máximos de aceleración es el de 3 niveles, permitiendo así establecer que para edificios bajos se puede tener diseños más costosos en la norma venezolana. Con referencia a los edificios de 6 y 9 niveles la ASCE 7-16 desarrolla un nivel de exigencia mayor.

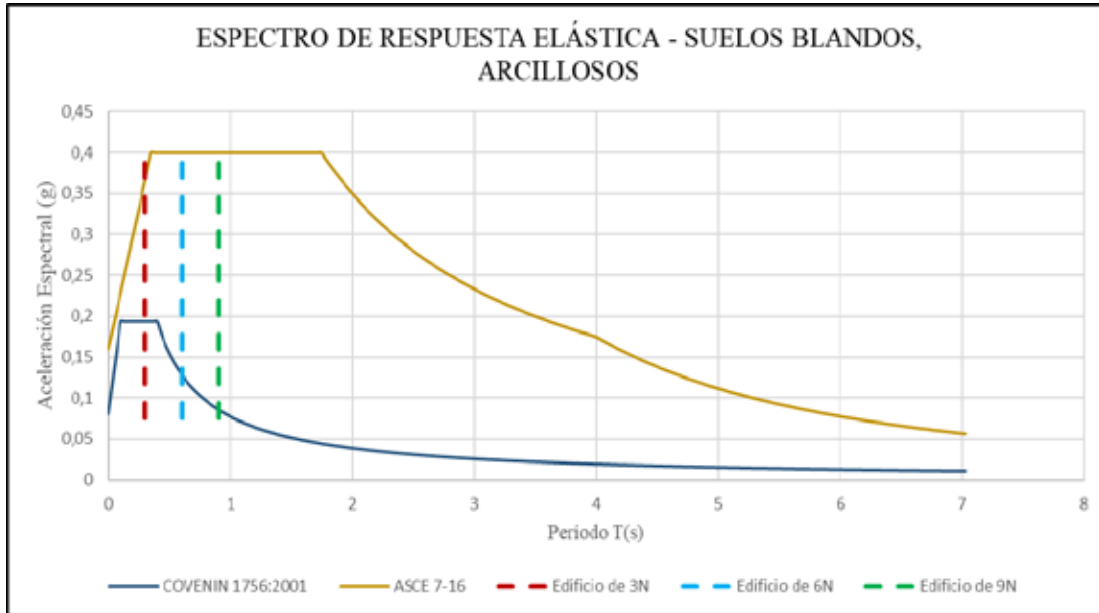
Gráfica 13. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos duros o densos.



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Por otra parte, al analizarlo con suelos duros o densos (**Ver Gráfica 13**), se evidencia que para el edificio de 3 niveles la Norma COVENIN 1756:2001 presenta mayor exigencia que la ASCE 7-16, ya que esta se encuentra en los mayores valores de aceleración espectral de la norma venezolana, y no logra alcanzar a los máximos valores de la ASCE 7-16. A diferencia de los edificios de 6 y 9 niveles, los cuales presentan mayor exigencia en la norma americana con respecto a la venezolana, permitiendo la obtención de una demanda sísmica superior en ambos tipos de edificios. Finalmente, se puede concluir que para los edificios de bajos niveles el diseño podría ser más conservador cuando se refiere a la norma venezolana.

Gráfica 14. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos blandos o arcillosos.

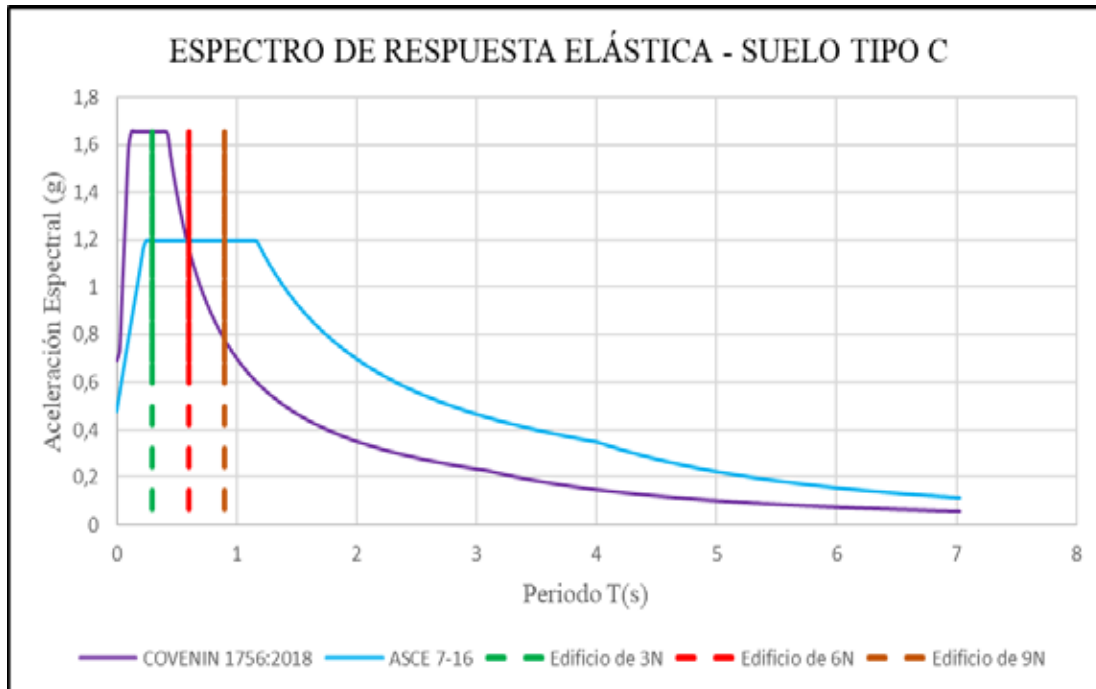


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a los suelos blandos que se evalúan para las aceleraciones menos desfavorables, en la **Gráfica 14** se puede apreciar cómo la Norma COVENIN 1756:2001 sigue presentando el mismo patrón con respecto a los edificios de niveles bajos, siendo así el de 3 niveles el que abarca el mayor valor de aceleración con respecto a esta norma, a pesar de que la misma haya disminuido notablemente su amplitud de aceleración espectral con referencia a las anteriores. Además se observa que en la ASCE 7-16 los edificios de mayor exigencia son los de 6 y 9 niveles ya que el de 3 niveles no alcanza su valor máximo de aceleración.

Se puede concluir que para la ASCE 7-16 los edificios se mantienen en la zona de aceleraciones máximas por lo que se puede desarrollar una demanda sísmica importante para los edificios de bajos niveles con respecto a los de altos niveles y por ende presentarían un diseño más conservador. Por otra parte, la norma venezolana presenta diseños más costosos para los edificios de bajos niveles, considerándose como conservadores los pequeños edificios y no los edificios altos.

Gráfica 15. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C.

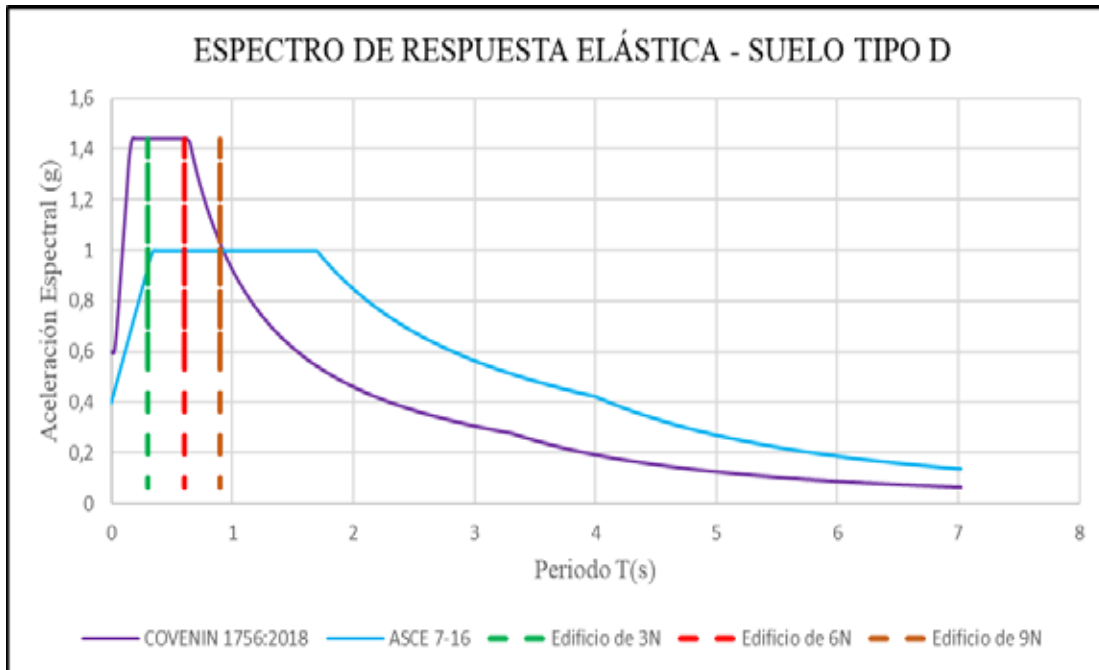


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De acuerdo a la **Gráfica 15**, se establece una comparación para edificios de 3, 6 y 9 niveles con un período de $N/10$ en cada uno de los espectros elásticos obtenidos de cada norma. Para el caso de estudio de suelo Tipo C, aplicando los valores más desfavorables de aceleración, se evidencia que para el caso de la Norma COVENIN 1756:2018 es más exigente para los edificios de bajos niveles, ya que se encuentra en el rango donde se reflejan la aceleración espectral máxima, a su vez se observa que los edificios de 6 niveles para ambas normas coinciden en la misma exigencia de diseño, siendo un poco más conservadora para la norma venezolana.

De igual manera, se percibe como los tres tipos de edificios estudiados se encuentran en los valores de aceleración máxima para norma ASCE 7-16 teniendo así una exigencia mayor para los 3 casos.

Gráfica 16. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo D.

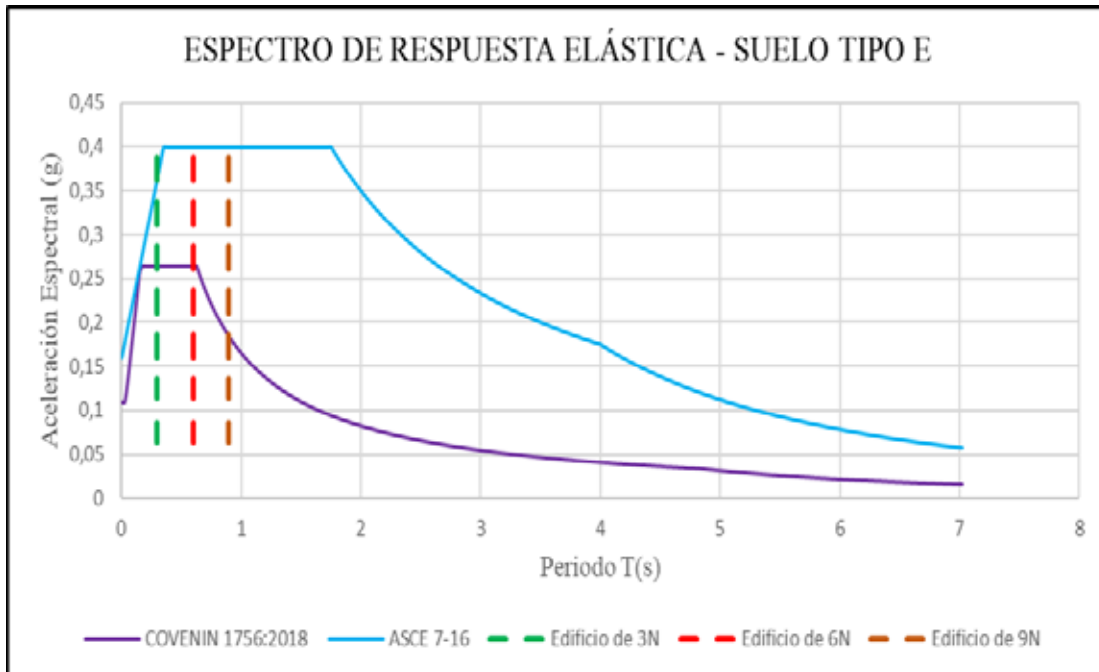


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 16**, se aplica el análisis en suelos Tipo D, de manera que se logra percibir que para los edificios de 3 y 6 niveles en la Norma COVENIN 1756:2018 se requiere de una exigencia superior que la que se precisa para los edificios de 9 niveles. En ese mismo sentido, en la Norma ASCE 7-16 los edificios de 3 niveles presentan menor exigencia que el resto, a pesar de que se encuentra muy cercano al máximo valor de aceleración. A diferencia de los edificios de 6 y 9 niveles que se ubican en la zona de aceleraciones máximas del espectro.

A su vez se percibe que el edificio de 9 niveles prácticamente coinciden en ambas normas, sin embargo presenta una mayor exigencia de diseño en la norma americana con respecto a la venezolana, confirmando así que para los edificios de bajos niveles el diseño podría ser mucho más costoso en a la norma venezolana.

Gráfica 17. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo E.

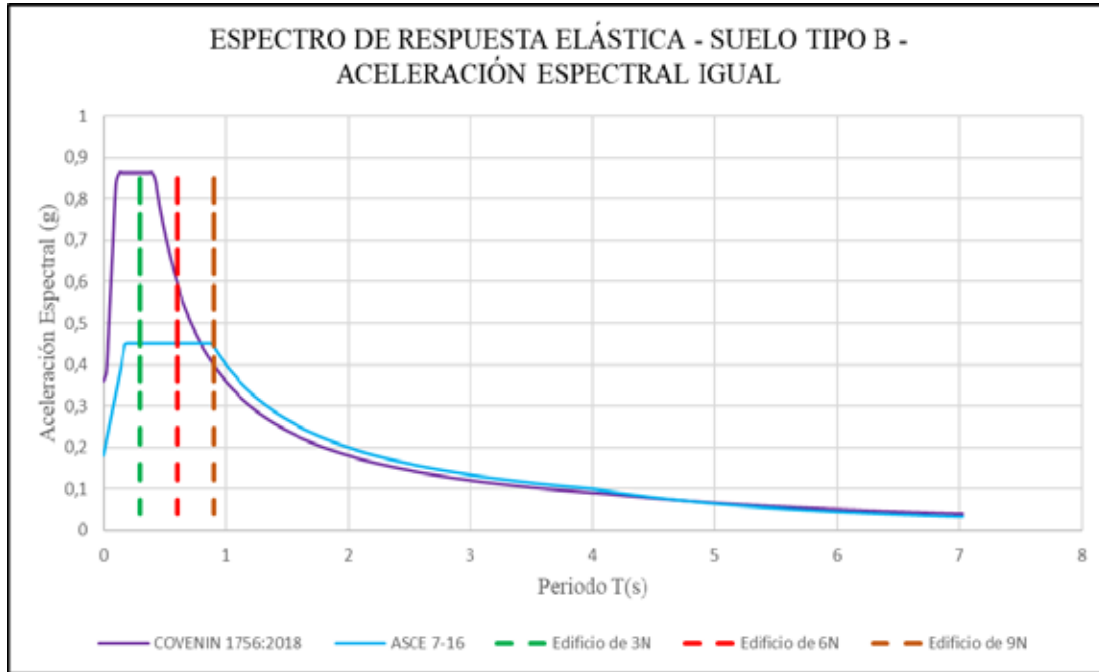


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 17**, los suelos Tipo E se debieron estudiar bajo la aplicación de las aceleraciones menos desfavorables para ambas normas. Se puede observar que a pesar de que ha disminuido considerablemente la amplitud generada por la aceleración espectral en la Norma COVENIN 1756:2018, se continúa manifestando el mismo patrón con respecto a los edificios de bajos niveles, siendo los de 3 y 6 niveles los que abarcan mayor valor de aceleración cuando se considera esta norma.

Asimismo, se evidencia que para la Norma ASCE 7-16, los edificios de mayor exigencia son los de 6 y 9 niveles ya que el de 3 niveles no alcanza los valores máximos de aceleración, siendo en este caso los que precisan de diseños menos exigentes.

Gráfica 18. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo B con igual aceleración espectral.

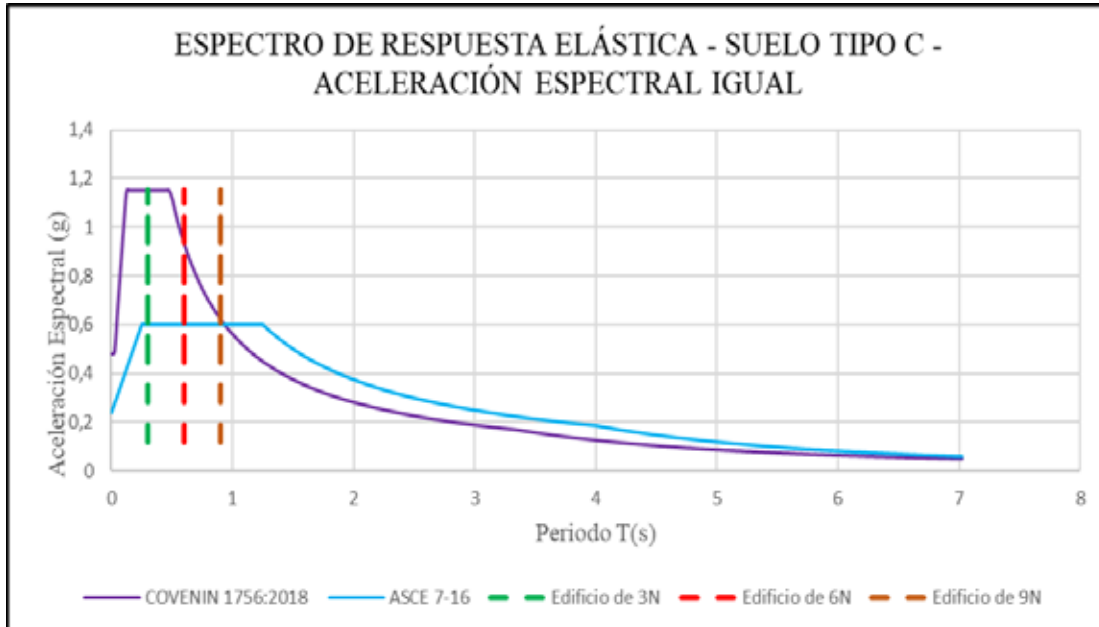


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Por otra parte, al tratarse de suelos Tipo B y aplicando iguales aceleraciones espectrales para ambas normas (**Ver Gráfica 18**), se aprecia como los edificios de 3 niveles alcanzan los mayores valores de aceleración espectral en la Norma COVENIN 1756:2018, siendo los de 6 y 9 niveles los que precisan de menores exigencias, generando así diseños más conservadores.

A diferencia de la Norma ASCE 7-16, en donde se aprecia que en el espectro los edificios de 3, 6 y 9 niveles, logran alcanzar los valores máximos de aceleración, siendo el caso en esta norma en que los 3 tipos exigen diseños más costosos. Sin embargo, sigue predominando la norma venezolana en el caso de los edificios de 3 niveles como la más exigente, generando que las estructuras de bajos niveles sean las que precisan de diseños menos conservadores.

Gráfica 19. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con igual aceleración espectral.

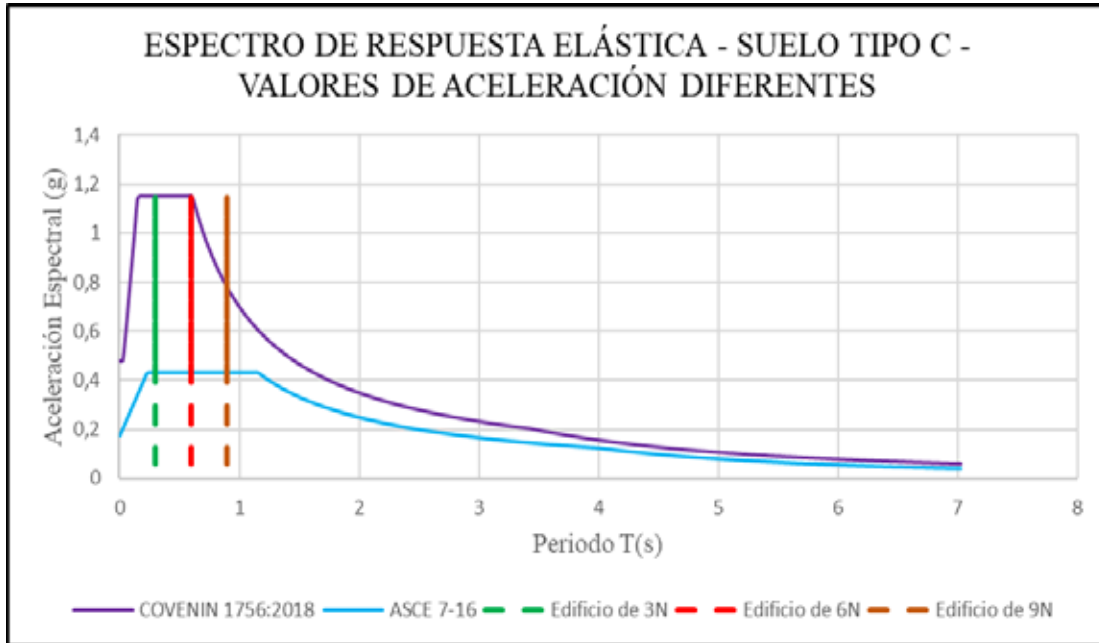


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De acuerdo a la **Gráfica 19**, se evidencia el comportamiento de edificios de 3, 6 y 9 niveles para un tipo de suelo B, aplicando iguales aceleraciones espectrales para ambas normas. Se observa como los edificios de 3 niveles mantienen el mismo patrón de las gráficas anteriores, ya que alcanzan los valores máximos de aceleración espectral en la Norma COVENIN 1756:2018, siendo los de 6 y 9 niveles los que precisan de menores exigencias.

De igual manera, se aprecia como en la Norma ASCE 7-16 los 3 tipos de edificios alcanzan los mayores valores de aceleración espectral, presentando en este caso, la misma exigencia de diseño menos conservadora y más costosa. Asimismo se puede evidenciar como los edificios de 9 niveles en ambas normas coinciden con los mismos valores de aceleración espectral, la diferencia es que para la Norma COVENIN 1756:2018, este es el caso en donde la aceleración que se precisa para el diseño es menor, lo cual generaría un diseño más conservador.

Gráfica 20. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con diferentes valores de aceleración espectral.

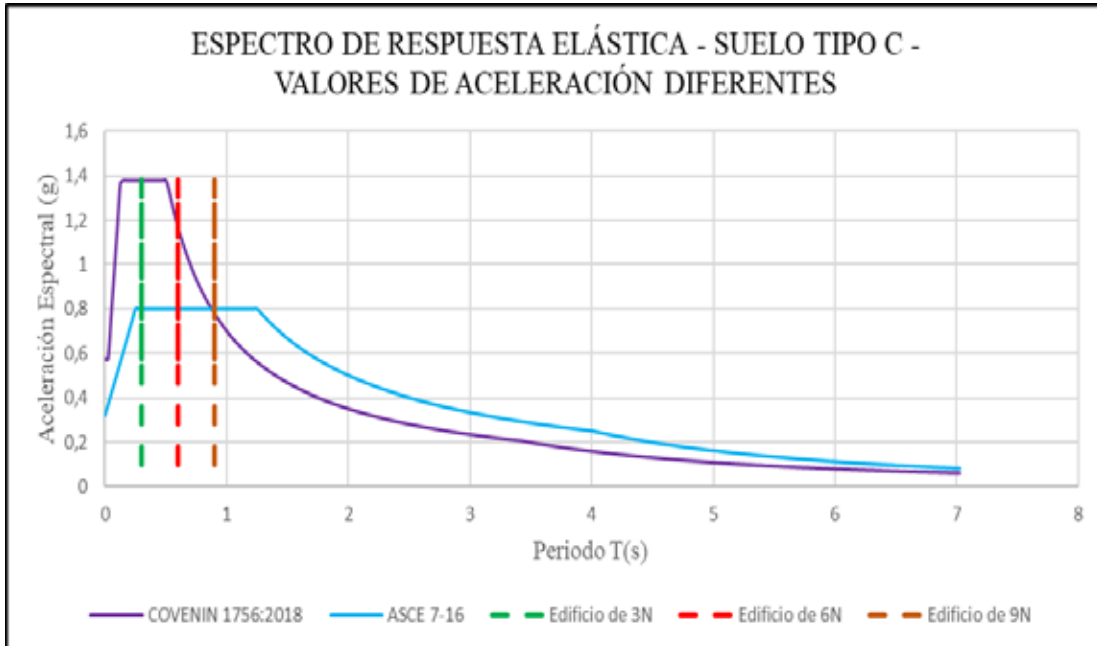


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 20**, se aplica los espectros elásticos de cada norma para edificios comprendidos entre 3, 6 y 9 niveles, en suelos de Tipo C y para distintos valores de aceleración espectral, siendo A_0/S_{DS} igual a 0.4, A_1/S_{D1} igual a 0.5 y T_L igual a 4. Se aprecia como los edificios de 3 y 6 niveles en la Norma COVENIN 1756:2018 alcanzan los mayores valores de aceleración espectral, siendo así el diseño requerido para estos casos más exigente que los de 9 niveles.

En ese mismo sentido, la Norma ASCE 7-16 presenta la peculiaridad de que los 3 tipos de edificios alcanzan las aceleraciones máximas del espectro, lo cual genera que en todos los casos el nivel de exigencia sea el mismo y a su vez corresponda al más alto, por lo que se va a requerir diseños menos conservadores y más costosos para esta norma. Sin embargo, predomina la norma venezolana como la más exigente en todos los casos.

Gráfica 21. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con diferentes valores de aceleración espectral.



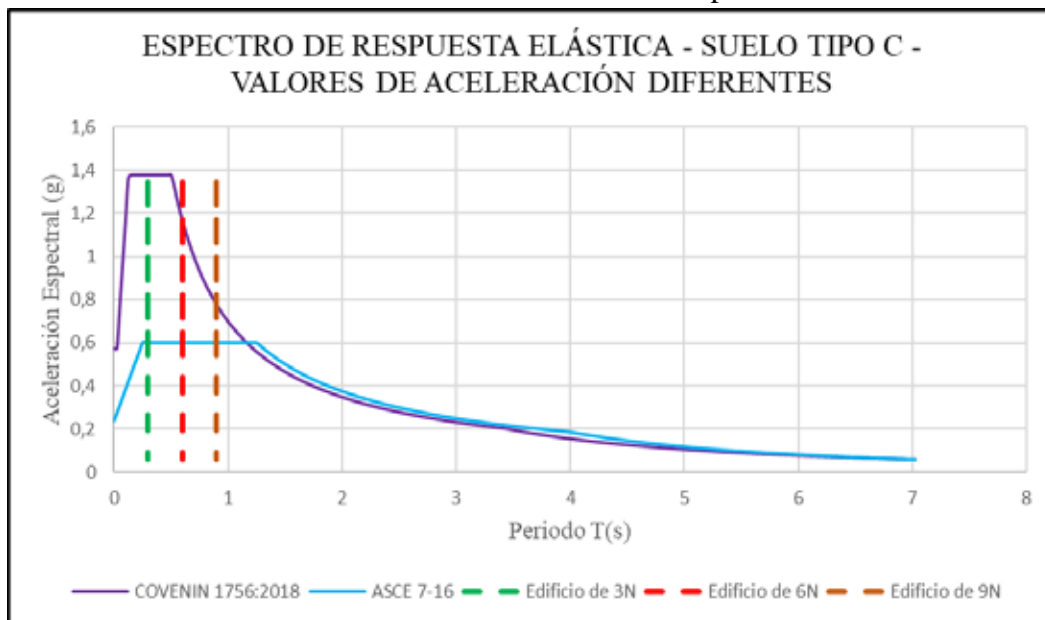
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

De acuerdo a la **Gráfica 21**, se aplica los espectros elásticos de cada norma para edificios comprendidos entre 3, 6 y 9 niveles, en suelos de Tipo C y para distintos valores de aceleración espectral, siendo A_0/S_{Ds} igual a 0,8, A_1/S_{D1} igual a 1 y T_L igual a 4. Se aprecia como los edificios de 3 niveles en la Norma COVENIN 1756:2018 alcanzan el valor máximo de aceleración espectral, siendo así el diseño requerido para estos casos el más exigente y menos conservador a diferencia de los de 6 y 9 niveles.

Para los efectos a evaluar en la Norma ASCE 7-16, se evidencia que los 3 tipos de edificios alcanzan las aceleraciones máximas del espectro, demandando en todos los casos los niveles de exigencia más altos, por lo que se va a requerir diseños menos conservadores y más costosos para esta norma. Asimismo, se observa como los edificios de 9 niveles en ambas normas coinciden en el mismo valor de aceleración espectral, sin embargo, en la norma venezolana éste es el caso que precisa de menor

exigencia con respecto a la norma americana. Esto permite concluir que la norma persiste como la más exigente.

Gráfica 22. Respuesta espectral elástica en edificaciones en suelos Tipo C con diferentes valores de aceleración espectral.



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con referencia a la **Gráfica 22**, se aplica los espectros elásticos de cada norma para edificios comprendidos entre 3, 6 y 9 niveles, en suelos de Tipo C y para distintos valores de aceleración espectral, A_0/S_{DS} igual a 0,4, A_1/S_{D1} igual a 0,4 y T_L igual a 4. Se evidencia como los edificios de 3 niveles en la Norma COVENIN 1756:2018 logran alcanzar el valor máximo de aceleración espectral, siendo así el diseño requerido para estos casos el más exigente a diferencia de los de 6 y 9 niveles cuyos diseños son más conservadores.

De igual manera, la Norma ASCE 7-16 presenta la peculiaridad de que los 3 tipos de edificios alcanzan las aceleraciones máximas del espectro, lo cual genera que en todos los casos el nivel de exigencia sea el mismo y a su vez corresponda al más alto, por lo que se va a requerir diseños menos conservadores y más costosos para esta norma. Sin embargo, predomina la norma venezolana como la más exigente en todos los casos.

4.4 Análisis de cuadros y gráficos comparativos sobre la respuesta sísmica de edificaciones de concreto armado, al aplicar los Métodos de Análisis Estático.

En lo que respecta a la aplicación del Método de Análisis Estático, se realiza mediante la programación de hojas de cálculo. Específicamente realizadas para aplicar el método de análisis estático según la Norma COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y la ASCE 7-16 respectivamente. A través de este instrumento se pudo obtener el valor del cortante basal y la distribución de fuerzas laterales por nivel en cada uno de los casos en estudio. De igual forma se realizó el modelado de las edificaciones correspondientes en un software de análisis y diseño estructural ETABS V16.2, para estimar los desplazamientos y derivas por nivel para cada caso, tal y como se muestra a continuación.

4.4.1 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2001” (Venezuela)

Se proporcionó la ubicación de la edificación, esto permite conocer la zonificación sísmica y posteriormente se obtiene el valor del coeficiente “A₀” (Ver Figura 53).

COVENIN 1756:2001		
Zonificación Sísmica de Venezuela		
Zona Sísmica	Peligro Sísmico	A ₀
7	ELEVADO	0,40
6		0,35
5		0,30
4	INTERMEDIO	0,25
3		0,20
2	BAJO	0,15
1		0,10
0		0,00
7		
A ₀		0,40

Se encuentra en el subcapítulo 4.2 de la Norma. Según cada zona se encuentra un coeficiente de aceleración horizontal del terreno (A₀) diferente.

Figura 53. Obtención del coeficiente A₀, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

las condiciones geotécnicas evaluadas (Ver Figura 54).

Forma Espectral y Factor de Reducción						Se encuentra en el subcapítulo 6.1
Material	Vp(m/s)	H(m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	α	Forma Espectral	α
Roca sana fracturada	>300	-	S1	0,85	S1	1,00
Roca blanda o material	>400	<30	S1	0,85	S1	1,00
		30-50	S2	0,80	S2	0,90
		>50	S3	0,70	S2	0,90
Suelos duros o densos	210-400	<15	S1	0,80	S1	1,00
		15-20	S2	0,80	S2	0,90
		>20	S3	0,75	S2	0,90
Suelos medios o densos	170-250	≤ 20	S3	0,70	S3	0,93
		>20	S3 ^{II}	0,70	S3	0,75
Suelos blandos usual	<170	≤ 15	S3	0,70	S2	0,90
		>15	S3 ^{II}	0,70	S3	0,80
Suelos blandos o sueltos ^{III} intercalados con suelos más rígidos	-	H	S3 ^{II}	0,65	S1	0,70
<input type="checkbox"/> Material de relleno con las zonas 1 a 4			S1	PALSA	S1	1,00

^{II} Si A_v ≤ 0,15 usase S4
^{III} El espesor de los estratos blandos o sueltos (V_s < 170 m/s) debe ser mayor que 0,1H
^{IV} Si H_v ≥ 0,2H y A_v ≤ 0,20 usase S4

Figura 54.

1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Según el uso, se establece el grupo de la edificación, esto permitirá conocer (ver Figura 55).

Clasificación según el uso		Se encuentra en el subcapítulo 6.1 de la Norma
Grupo	Descripción	
A	Todas aquellas estructuras con fines de uso esencial, que se encuentran destinadas a prestar servicio en situaciones de emergencia y las cuales pueden causar grandes pérdidas humanas. Entre ellas se encuentran: hospitales, edificios gubernamentales, estaciones de bomberos y de policía, subestaciones eléctricas, edificios educativos, de valor histórico o artístico.	
B1	Edificaciones de uso público o privado, densamente ocupadas temporal o permanentemente. Entre ellas se encuentran: edificios con capacidad de ocupación de más de 3 000 personas, algunos centros de salud.	
B2	Estructuras de uso público o privado, con baja densidad de ocupación. Algunas son: viviendas, apartamentos, oficinas, hoteles, restaurantes, almacenes, cines y teatros.	
C	Todas las construcciones no clasificadas en los grupos anteriores, aquellas que no se encuentran destinadas a la habitación o uso público y cuyo derrumbe no cause daños a las edificaciones de los tres primeros grupos.	

Factor de Importancia

Grupo	α
A	1,30
B1	1,15
B2	1,00
α	1,00

Se encuentra en el subcapítulo 6.1.3

Figura 55.

1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, se selecciona el tipo de estructura según sus componentes estructurales (Ver Figura 56).

Tipo de Estructura	
Se encuentra en el subcapítulo 6.3.1	
Tipo	Descripción
I	Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas, tales como los sistemas estructurales constituidos por pórticos.
II	Estructuras constituidas por combinaciones de los Tipos I y III, teniendo ambos el mismo Nivel de Diseño. Su acción conjunta debe ser capaz de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas.
III	Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. En este grupo se distinguen los sistemas acoplados con dinteles o vigas dúctiles, además de los pórticos de acero con diagonales excéntricas.
IIIa	Sistemas conformados por muros de concreto armado acoplados con dinteles o vigas dúctiles, así como los pórticos de acero con diagonales excéntricas acopladas con eslabones dúctiles.
IV	Estructuras que no posean diafragmas con la rigidez y resistencia necesarias para distribuir eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Estructuras sustentadas por una sola columna. Edificaciones con losas sin vigas
I	

Figura 56. Selección de Tipo de Estructura, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Según el grupo y la zona sísmica se selecciona el Nivel de Diseño de la estructura (Ver Figura 57).

Nivel de Diseño			
Se encuentra en el subcapítulo 6.2			
Niveles de Diseño ND			
Grupo	Zona Sísmica		
	1 y 2	3 y 4	5, 6 y 7
A; B1	ND2	ND3	ND3
	ND3		
B2	ND1(*)	ND2(*)	ND3
	ND2		
	ND3	ND3	
ND3			
(*) Válido para edificaciones de hasta de 10 pisos ó 30m de altura.			
(**) Válido para edificaciones de hasta de 2 pisos u 8m de altura.			

Figura 57. Selección de Nivel de Diseño, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Según el tipo de material se selecciona la tabla del factor de reducción de respuesta “R” que se ubica según el tipo de estructura y el nivel de diseño (Ver Figura 58).

Factor de Reducción de Respuesta

Tipo de Material

Concreto Armado
 Acero
 Mixtas

Se encuentra en el subcapítulo 6.4 de la Norma

Factor de Reducción R					
Nivel De Diseño	ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO				
	Tipo de Estructura				
	I	II	III	IIIa	IV
ND3	6,00	5,00	4,50	5,00	2,00
ND2	4,00	3,50	3,00	3,50	1,50
ND1	2,00	1,75	1,50	2,00	1,25
				R	6,00

Figura 58. Selección de factor de reducción de respuesta “R”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Seguidamente, según la forma espectral “S” se procede a definir los parámetros característicos del espectro (Ver Figura 59).

Valores de T^* , β y p

Se encuentra en la tabla 7.1 de la Norma.

Valores de T^* , β y p			
Forma Espectral	T^* (seg)	β	p
S1	0,4	2,4	1,0
S2	0,7	2,6	1,0
S3	1,0	2,8	1,0
S4	1,3	3,0	0,8
S1			

Valores de $T^+(1)$	
Caso	T^+ (seg)
R<5	0,1 (R-1)
R>5	0,4

(1) $T_v \leq T^+$

Valores	
R	6,000
α	1,000
ϕ	1,000
A_v	0,400
T^+	0,400
β	2,400
T^*	0,400
c	1,257
p	1,000
T_v	0,100

Figura 59. Definición de parámetros característicos del espectro, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Dependiendo del tipo de edificación, se procede a determinar el período estimado “T_a” (Ver Figura 60).

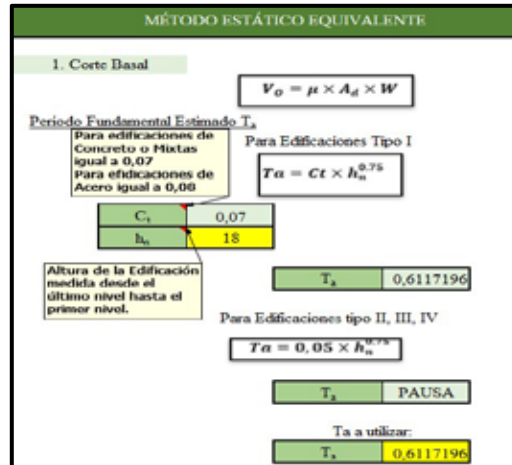


Figura 60. Período Estimado T_a, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Una vez obtenido el valor de “T_a”, se procede a calcular el valor de la aceleración espectral “A_d” según las características fundamentales del espectro.

cual será el mayor valor entre dos fórmulas aplicadas que dependen del número de niveles de la edificación y del período de vibración respectivamente (Ver Figura 31).

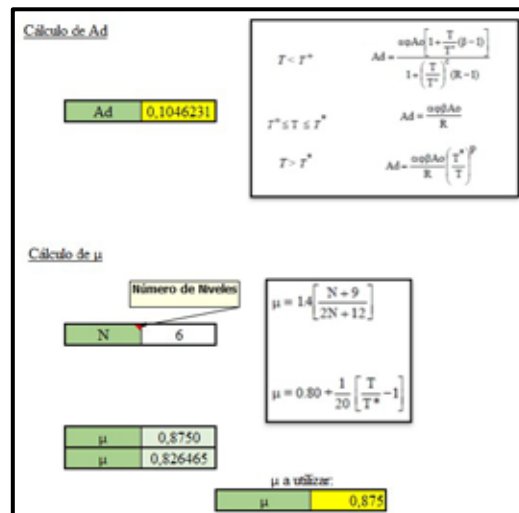


Figura 61.

1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, se procede a introducir el peso de la estructura previamente calculado para finalmente obtener el valor de la fuerza de corte basal (Ver Figura 62).

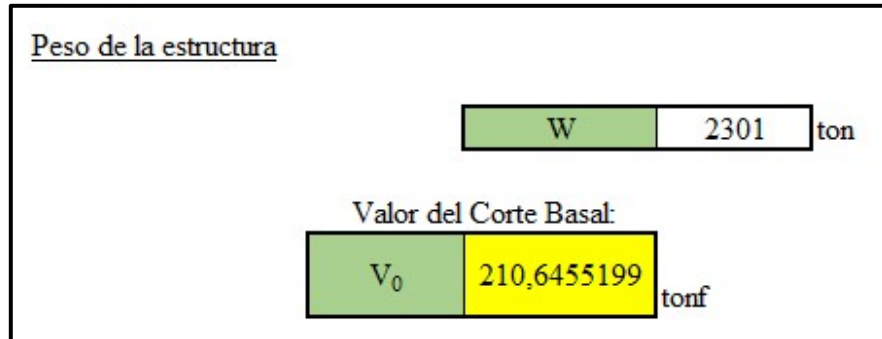


Figura 62. Cálculo fuerza cortante basal “V”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Una vez obtenido el valor de la fuerza de corte basal, se procede a realizar el cálculo de la fuerza lateral concentrada (Ver Figura 63).

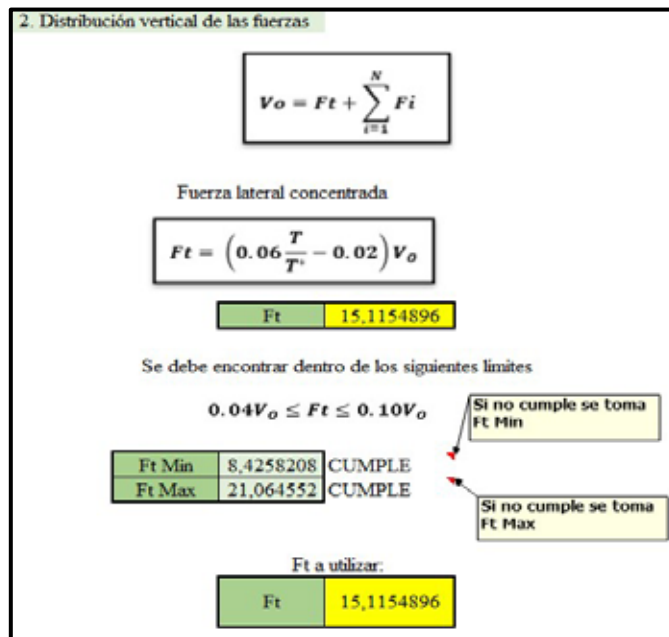


Figura 63. Cálculo fuerza lateral concentrada “Ft”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con base en los resultados obtenidos anteriormente, se realizó el procedimiento para la distribución de fuerzas laterales por piso (Ver Figura 64).

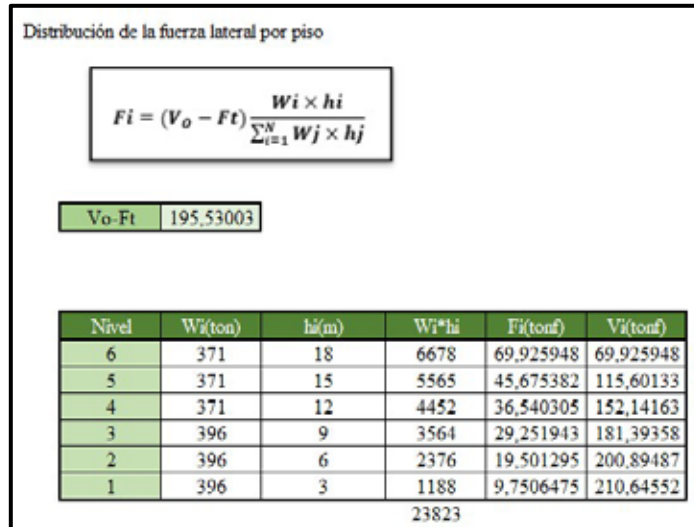


Figura 64. Distribución de fuerzas laterales, hoja de cálculo COVENIN 1756:2001.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Finalmente, estas fuerzas fueron introducidas en el modelo computarizado de la edificación para así tener los desplazamientos laterales y derivas. Este proceso se repite para los casos de las edificaciones de 3, 6 y 9 niveles.

4.4.2 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756:2018” (Venezuela)

Se ubica la estructura y seleccionan los valores según los mapas de amenaza sísmica de Venezuela, en este caso se determinaron los valores más desfavorables de cada Estado y su Capital y se seleccionó el más desfavorable para la obtención de los valores de A_0 , A_1 y T_L (Ver Figura 65).

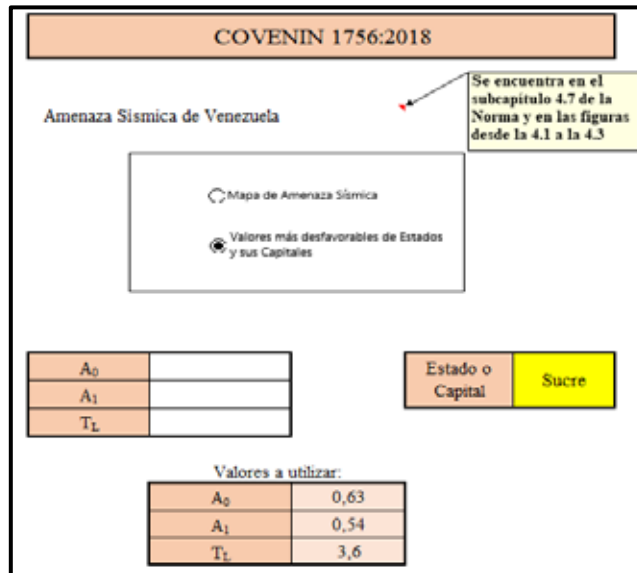


Figura 65. Valores de A₀, A₁ y T_L, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Según el uso, se determina el grupo de la edificación (Ver Figura 66).

Clasificación según el uso		Se encuentra en el subcapítulo 3.2 de la Norma
GRUPO	DEFINICIÓN	
A1	Construcciones de Alto Impacto	Son aquellas cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas o daños colaterales, tales como, aunque no limitadas a: a) Construcciones para la producción o el almacenamiento de sustancias tóxicas o explosivas.
A2	Construcciones Esenciales	Son aquellas que deben mantenerse en operación durante o después de un sismo, tales como aunque no limitadas a: a) Hospitales y centros de salud, públicos y privados.
B1	Construcciones Comunes de Alta Ocupación	a) Construcciones para viviendas, oficinas, comercios, hoteles, bancos, teatros, restaurantes e industrias (excepto las que clasifican en el Grupo A1) y que cumplen con una de las condiciones siguientes: (i) El número de personas expuestas es mayor que 500; (ii) El número de pisos es mayor que 20 o la altura es mayor que 60 metros; (iii) El
B2	Construcciones Comunes de Ocupación Normal	a) Las edificaciones con los usos indicados en el Literal a) del Grupo B1 que no cumplen con las condiciones dadas de alta ocupación. b) Puentes rurales de menor importancia. c) Toda construcción del Grupo C que pueda poner en peligro a alguna de este grupo.
C	Otras Construcciones	Son aquellas indicadas a continuación y cuyo derrumbe no pueda causar daño a las construcciones de los otros grupos: a) Construcciones provisionales con un servicio menor de tres años. b) Construcciones de uso agropecuario, sin ocupación humana permanente.
B2		

Figura 66. Clasificación según el uso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, según el tipo de sismo y el grupo de la edificación se obtiene el factor 67).

FACTOR DE IMPORTANCIA		
TABLA 5. Factor de Importancia para sismo de diseño		
Grupo	α	
A2	1,5	
B1	1,2	
B2	1,0	
C	0,7	
	α	1
Factor de Importancia para Sismo Frecuente		
GRUPO	α	
A1	0,45	
A2	0,3	
	α	PAUSA
Tabla 6. Factor de Importancia para el Sismo Extremo		
GRUPO	α	
A1	3	
A2	2,4	
B1	2	
B2	1,85	
	α	PAUSA
α a utilizar:		
	α	1

Tipo de Sismo

- Sismo de Diseño
- Sismo Frecuente
- Sismo Extremo

Figura 67. Factor de Importancia “ α ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Seguidamente, se selecciona el tipo de estructura de la edificación (Ver Figura 68).

Clasificación según el tipo Estructural	
TIPO	ESTRUCTURA
I	Estructuras de vigas y columnas que ante las acciones sísmicas se deforman
I-a	Estructuras constituidas por pórticos, con vigas y columnas conectadas por juntas, de a) En el caso de pórticos de concreto armado, no se consideran como vigas o columnas b) En el caso de pórticos de acero deben utilizarse las secciones y conexiones c) Las conexiones parcialmente restringidas no se consideran parte del sistema resistente d) Si en una dirección dada se tiene más de un Nivel de Diseño, véase 6. 6.
I-b	Pórticos de acero con vigas de celosía. Califican como ND3 al ser diseñados con
I-c	Pórticos de acero con columnas articuladas en la base.
I-d	Estructuras de concreto armado constituidas por muros o columnas con losas sin vigas. a) Las estructuras con losas macizas y losas reticulares armadas en sus dos direcciones y b) Las estructuras con losas macizas apoyadas en muros, con ausencia de muros en una c) Las estructuras de columnas con losas nervadas sin vigas. Califican como ND1 en la
II	Estructuras duales constituidas por combinaciones de los Tipos I y III. Su acción conjunta
II-a	Estructuras constituidas por la combinación de los Subtipos I-a y III-a.
II-b	Estructuras constituidas por la combinación de los Subtipos I-a y III-b.
III	Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante muros de concreto armado, o de sección mixta acero-concreto, o por muros de mampostería, o
III-a	acoplamiento dúctiles, o por pórticos de acero con arriostramientos excéntricos son las estructuras conformadas por muros de concreto armado sin acoplamientos de dinteles dúctiles, los muros de pared delgada sin elementos de borde del tipo túnel, o las conformadas por pórticos de acero o mixtos (acero-concreto) con arriostramientos
III-b	a) Los arriostramientos diseñados solamente a tracción, clasifican con Nivel de Diseño b) No se permiten los arriostramientos con configuración en K.
III-c	Son las estructuras conformadas por muros prefabricados de concreto armado, o por resistentes, cuando más de la mitad de dichos planos poseen una sola columna cada uno en la dirección del análisis. Estructuras constituidas por pórticos de acero con vigas articuladas en sus extremos.
IV	
I-a	--

Figura 68. Clasificación según Tipo Estructural, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Se procede a seleccionar la clase de sitio según el perfil geotécnico del suelo (Ver Figura 69).

Clase de Sitio		
Tabla 7. Clase de sitio de los perfiles geotécnicos		
CLASE	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA	V _{s30} (m/s)
A	Roca cristalina sana muy dura, sin fracturación m	>1500
AB	Propiedades intermedias entre las clases A y B	1300 a 1500
B	Roca dura o formación similar (e.g. conglomerados), con	850 a 1300
BC	Propiedades intermedias entre las clases B y C	650 a 850
C	1) Roca dura con espesor meteorizado superior a 5 metros. 2) Roca blanda (e.g. margas). 3) Arenas o gravas muy densas. 4) Arcillas muy duras.	400 a 650
CD	Propiedades intermedias entre las clases C y D.	300 a 400
D	1) Arenas o gravas densas a medio-densas. 2) Arcillas duras. 3) Arcillas finas de menos de 30 metros de espesor.	200 a 300
DE	Propiedades intermedias entre las clases D y E.	170 a 200
E	1) Arenas sueltas o arenas limosas, con suficiente proporción 2) Arcillas blandas, plásticas (IP > 20) u orgánicas, no incluidas en la Clase F.	120 a 170
F	Arenas o arenas limosas susceptibles de licuación, arcillas sensibles, suelos cementados colapsables, turbas o arcillas orgánicas de más de 3 metros de espesor, arcillas con índice de plasticidad IP > 75 y más de 7 metros de espesor, arcillas finas o blandas con más de 30 metros de espesor, rellenos artificiales con o sin pendiente y sitios con V _{s30} < 120 m/s. Se debe aplicar 5.11.	
AB		

Figura 69. Clase de Sitio, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Una vez seleccionada la clase de sitio, junto con los valores A₀ y A₁, se procede a obtener los factores de sitio para períodos cortos, intermedios y largos (Ver Figura 70).

Factores de sitios									
Factor de clase de sitio para periodos cortos									
Tabla 8. Factor de clase de sitio para periodos cortos, F _A ^c									
A ₀	CLASE DE SITIO								
	A	AB	B	BC	C	CD	D	DE	E
0.05	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.08	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.1	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.15	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.2	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.3	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.4	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.5	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
0.75	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1.0	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1.5	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
2.0	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
3.0	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
4.0	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
5.0	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
7.5	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
10	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
15	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
20	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
30	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
40	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
50	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
75	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
100	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
150	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
200	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
300	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
400	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
600	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
850	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1300	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1500	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
2000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
3000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
4000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
5000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
7500	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
10000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
15000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
20000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
30000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
40000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
50000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
75000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
100000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
150000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
200000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
300000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
400000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
500000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
750000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1500000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
2000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
3000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
4000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
5000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
7500000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
10000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
15000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
20000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
30000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
40000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
50000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
75000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
100000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
150000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
200000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
300000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
400000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
500000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
750000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1500000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
2000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
3000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
4000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
5000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
7500000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
10000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
15000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
20000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
30000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
40000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
50000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
75000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
100000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
150000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
200000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
300000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
400000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
500000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
750000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1000000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
1500000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
2000000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
3000000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
4000000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
5000000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
7500000000000	0.80	0.83	0.90	1.00	1.40	1.80	2.40	3.00	3.70
10000000000000	0.80	0.8							

Se selecciona la condición topográfica del suelo, con la finalidad de determinar los valores de los factores de condición topográfica (Ver Figura 71).

CONDICIÓN TOPOGRÁFICA	
LEVE	Pendiente promedio menor de 40% o situado en la parte media inferior de una ladera con pendiente mayor a 40%.
MODERADA	Pendiente promedio entre 40% y 75%; situado en la parte media superior de una ladera o bien en la cima dentro de una distancia al borde de la pendiente del orden de la altura de la ladera.
SEVERA	Pendiente promedio mayor de 75%; situado en la parte media superior de una ladera o bien en la cima dentro de una distancia al borde de la pendiente del orden de la altura de la ladera.
Leve	

TABLA 11. Factores de condición topográfica			
Condición topográfica	F_A^T	F_V^T	F_D^T
Leve	1,00	1,00	1,00
Moderada	1,20	1,10	1,05
Severa	1,40	1,20	1,10

F_A^T	1
F_V^T	1
F_D^T	1

Figura 71. Factores de Condición Topográfica, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, se selecciona la profundidad en la que se encuentra el basamento rocoso, para obtener los valores de los factores de profundidad de basamento rocoso (Ver Figura 72).

PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO ROCOSO			
TABLA 12. Factores de profundidad del basamento rocoso			
H(m)	F_A^H	F_V^H	F_D^H
0,00	1,00	0,98	0,93
10	1,00	1,00	0,96
30	1,00	1,00	1,00
60	1,00	1,02	1,05
100	1,01	1,05	1,10
200	1,02	1,08	1,20
300	1,03	1,10	1,30
500	1,05	1,20	1,60
750	1,07	1,30	2,10
≥1000	1,10	1,40	2,80
30			

F_A^H	1
F_V^H	1
F_D^H	1

Figura 72. Factores de profundidad del basamento rocoso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Se selecciona el nivel de diseño de la edificación según el coeficiente de aceleración y el grupo de la edificación, con la finalidad de obtener el factor de reducción de respuesta. Es necesario definir si la estructura es irregular, para determinar el factor de redundancia según el sistema estructural.

NIVEL DE DISEÑO			
TABLA 2. Niveles de Diseño permitidos			
Grupo	Coeficiente de Aceleración A_d		
	$A_d \leq 0,10$	$0,10 < A_d \leq 0,20$	$A_d > 0,20$
A1, A2, B1	ND2	ND3	ND3
	ND3		
B2, C	ND1	ND1	ND2
	ND2	ND2	ND3
	ND3	ND3	ND3

FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA	
REGULARIDAD ESTRUCTURAL	REGULAR = 1

TABLA 13. Factor de Redundancia p	
Sistema Estructural	p
análisis, cada uno de ellos con al menos tres vanos	1,00
Posee al menos dos planos simétricos en la dirección de análisis, cada uno de ellos con al menos dos vanos.	0,80
Posee al menos dos planos simétricos en la dirección de análisis, con un sólo vano.	0,65
Posee un sólo plano simétrico en la dirección de análisis.	0,50

Sistema estructural	Posee al menos tres planos simétricos en la dirección de análisis, cada uno de ellos con al menos tres vanos
p	1

Figura 73.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, si existe irregularidad en la estructura, se selecciona la experimente la edificación, junto con el tipo de sistema sismorresistente y el material constructivo, con la finalidad de obtener el factor de reducción de respuesta “R” (Ver Figura 74).

TABLA 14. Factor de Irregularidad	
Irregularidad	FI
Vertical: c) Distribución irregular de masas de uno de los pisos contiguos	0,90
Vertical: d) Aumento de las masas con la elevación	0,90
Vertical: e) Variaciones en la geometría del sistema estructural	0,90
Vertical: f) Edulzar excesiva	0,90
Vertical: g) Discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales	0,80
Vertical: h) Falta de conexión entre miembros verticales	0,90
En planta: a) Gran excentricidad	0,70
En planta: b) Riesgo torsional elevado	0,70
En planta: c) Sistema en ortogonal	0,90
En planta: d) Diafragma flexible	0,90

IRREGULARIDAD	Vertical: g) Discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales
FI	1

SISTEMA SIMORRESISTENTE	
Porticos de concreto armado (vigas y columnas)	

MATERIAL/NORMA	
Concreto - C1	

R_s	6
D_n	3
FACTOR DE REDUCCIÓN	6

Figura 74. Factor de irregularidad “FI”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Según la clase de sitio, se obtiene el coeficiente de la rama espectral para periodos largos, permitiendo determinar los valores característicos del espectro (Ver Figura 75).

Clase de sitio		q
A		1,5
AB		1,5
B		1,5
BC		1,7
C		1,7
CD		1,9
D		1,9
DE		2
E		2

C.ASO	T' (seg)
R<5	0,1 (R-1)
R≥5	0,4

R=	6,000000
α=	1,000000
A _s =	0,630000
A ₁ =	0,540000
T ₁ =	3,600000
A _g =	0,510000
F _v =	0,850000
F _p =	0,900000
A _v =	0,425000
β=	2,400000
β [*] =	2,400000
T _p =	3,811765
T _c =	0,347222
T _g =	0,086806
T _a =	0,017361
T [*] =	0,086806
q=	1,500000

Figura 75. Coeficiente de períodos largos, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, se selecciona el tipo estructural de la edificación para así obtener el valor de C_t , seguidamente se suministra la altura del edificio en estudio y finalmente se calcula el valor del Período Estimado “ T_a ” (Ver Figura 76).

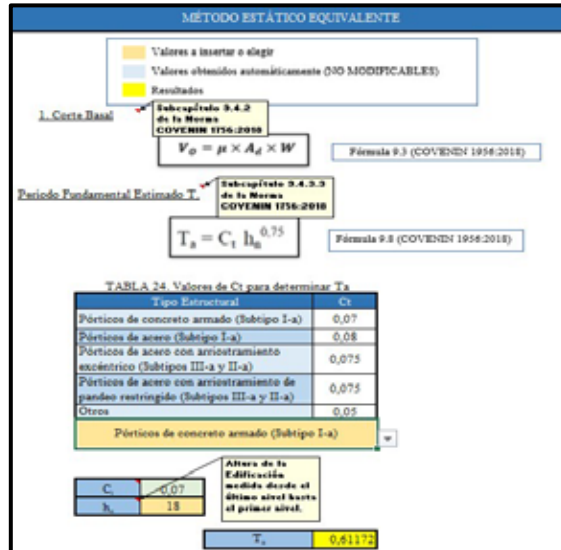


Figura 76. Período Estimado “ T_a ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Una vez calculado el valor de “ T_a ”, se procede a obtener el valor A_d según las

siendo este el mayor valor entre dos fórmulas establecidas, una de ellas depende del número de niveles de la edificación y la otra depende netamente del período (Ver Figura 77).

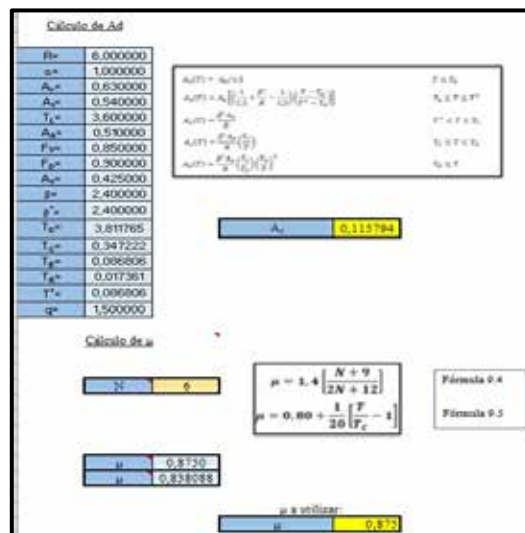


Figura 77.

COVENIN 1756:2018.
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Seguidamente, se procede a introducir el peso de la estructura previamente calculado mediante el predimensionado, con la finalidad de obtener el valor de la fuerza de corte basal y proceder al cálculo de la fuerza lateral concentrada (Ver Figura 78).

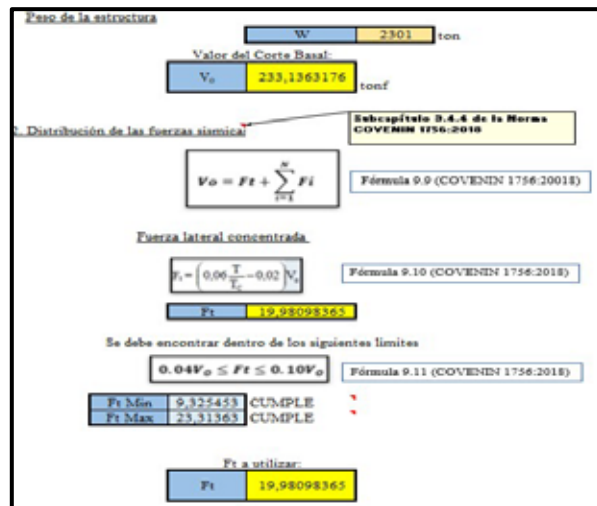


Figura 78 Cálculo de fuerza lateral concentrada “ F_t ”, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Se realiza el procedimiento de distribución de fuerzas laterales por piso (Ver Figura 79).

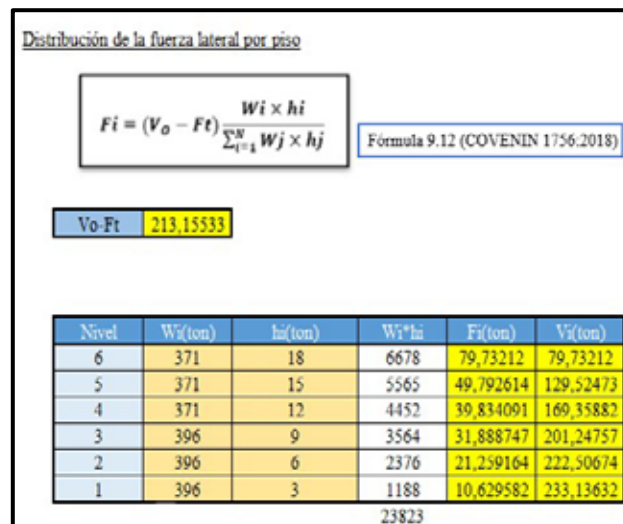


Figura 79. Distribución de fuerzas laterales por piso, hoja de cálculo COVENIN 1756:2018.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Finalmente, se introducen las fuerzas determinadas en el modelo computarizado de la edificación para así tener los desplazamientos laterales y derivas. Este proceso se repite para los casos de las edificaciones de 3, 6 y 9 niveles.

4.4.3 Aplicación del Método de Análisis Estático – Norma “Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras” ASCE 7-16

Se selecciona el tipo de suelo donde se ubicará la edificación (Ver Figura 80).

ASCE 7-16				
TIPO DE SUELO				
Tipo de Suelo	Identificación	Valores Vs30 (m/sg)	Valor del Ensayo SPT	Promedio de la Resistencia al Corte no Drenado (kgf/cm ²)
A	Roca dura	> 1524	NA	NA
B	Roca	762 a 1524	NA	NA
C	Suelo muy denso a roca blanda	365 a 762	> 50	> 0.98
D	Suelo rígido	182 a 365	15 a 50	0.49 a 0.98
E	Arcillas blandas	< 182	< 15	< 0.49
F	Suelos que requieren un análisis de respuesta	En la sección 20.3.1 de la ASCE 7-16, se establecen las condiciones para clasificar este tipo determinado de suelo.		

Figura 80. Selección de Tipo de Suelo, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Se procede a indicar la aceleración espectral para períodos cortos “S_s” y largos “S_l”, que corresponde a la ubicación de la estructura en los mapas de zonificación encontrados en la norma ASCE 7-16. Seguidamente, se selecciona el valor de los factores de coeficiente de clase de sitio para períodos cortos “F_a” y largos “F_v” (Ver Figura 81).

ACELERACIÓN ESPECTRAL		SE ENCUENTRA EN EL CAPÍTULO 11.4.4 DE LA NORMA ASCE 7-16	
Períodos Cortos S_s		SE ENCUENTRA EN LAS FIGURAS 22-1, 22-3, 22-5, 22-6, 22-7, 22-8 DE LA NORMA ASCE 7-16	Períodos Largos S_l
S_s	1,5		S_l
			SE ENCUENTRA EN LAS FIGURAS 22-2, 22-4, 22-5, 22-6, 22-7, 22-8 DE LA NORMA ASCE 7-16

TABLA 11.4-1 COEFICIENTE DE SITIO PARA PERÍODOS CORTOS						
Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para períodos cortos F_s					
	S_s					
	$\leq 0,25$	0,5	0,75	1	1,25	$\geq 1,5$
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	1
E	2,4	1,7	1,3	Ver Sección 11.4.8		
F	Ver Sección 11.4.8					
F_s	0,9					

TABLA 11.4-2 COEFICIENTE DE SITIO PARA PERÍODOS LARGOS						
Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para períodos largos F_v					
	S_l					
	$\leq 0,25$	0,5	0,75	1	1,25	$\geq 1,5$
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*	2,0*	1,9*	1,8*	1,7*
E	4,2	Ver Sección 11.4.8				
F	Ver Sección 11.4.8					
F_v	0,8					

Figura 81. Coeficientes de sitio para períodos cortos y largos, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego se obtienen los valores característicos del espectro (Ver Figura 82).

S_{MS}	1,35	S_{DS}	0,9
S_{M1}	1,2	S_{D1}	0,8
T_0	0,17777778	SE ENCUENTRA EN LAS FIGURAS DE LA 22-14 A LA 22-17 DE LA NORMA ASCE 7-16	
T_s	0,88888889		
T_L	4		

Figura 82. Valores característicos del espectro, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Seguidamente, se da comienzo a la aplicación del método estático equivalente (Ver Figura 83).

MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE

Valores a insertar o elegir

Valores obtenidos automáticamente (NO MODIFICABLES)

Resultados

1. Corte Basal Subcapítulo 12.8.1 de la Norma ASCE 7-16

$V = C_s W$

Fórmula 12.8-1 (ASCE 7-16)

C_s = Coeficiente de Respuesta Sísmica
 W = Peso sísmico efectivo por sección

Figura 83. Método Estático Equivalente, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Luego, se calcula el Período Estimado “ T_a ” con la altura de la edificación, de igual manera, un coeficiente de período de construcción y el nivel bajo consideración. Ambos obtenidos por tabla según el tipo de estructura (Ver Figura 84).

Periodo Fundamental Aproximado Capítulo 12.8.2.1 de la Norma ASCE 7-16

$T_a = C_t h_n^x$

Fórmula 12.8-7 (ASCE 7-16)

h_n = Altura estructural
 C_t = Coeficiente de Período de Construcción
 x = Nivel bajo consideración

Tabla 12.8-1 (ASCE 7-16)

Tipo de Estructura	C_t	x
Estructuras de acero resistentes a momento	0,0724	0,8
Estructuras de concreto resistentes a momento	0,0466	0,9
Bastidores de acero con refuerzo excéntrico establecidos en la Tabla 12.2-1 pertenecientes a B1 o D1	0,0731	0,75
Marcos arriostrados con refuerzos de acero	0,0731	0,75
Otros sistemas estructurales	0,0488	0,75

C_t	0,0466
x	0,9
h_n	18

T_a

0.6282480818

Figura 84. Cálculo de Período Aproximado “ T_a ”, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Para el cálculo del coeficiente de respuesta sísmica “C_s”, se selecciona el tipo de sistema aperticado resistente al momento, de manera que se pueda obtener el factor de modificación de respuesta “R”.

Coeficiente de Respuesta Sísmica

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Subcapítulo 12.8.1.1 de la Norma ASCE 7-16
Fórmula 12.8-2 (ASCE 7-10)

S_{DS} = Parámetro de aceleración de respuesta espectral
R = Factor de modificación de respuesta
I_e = Factor de Importancia

Tabla 12.2-1 (ASCE 7-16)

Factor de Modificación de Respuesta	
Sistemas aperticados resistentes al momento	R
Pórticos de acero especial resistentes a momentos	8
Pórticos de cerchas de acero especial resistentes al momento	7
Pórticos de acero intermedio resistentes al momento	4,5
Pórticos de acero ordinario resistentes al momento	3,5
Pórticos de concreto armado especial resistentes al momento	8
Pórticos de concreto armado intermedio resistentes al momento	5
Pórticos de concreto armado ordinario resistentes al momento	3
Pórticos compuestos por acero y concreto especial resistentes al momento	8
Pórticos compuestos por acero y concreto intermedio	5
Pórticos compuestos por acero y concreto parcialmente restringidos al momento	6
Pórticos compuestos por acero y concreto ordinario resistentes al momento	3
Acero conformado en frío - Pórticos atornillados resistentes al momento	3,5
Pórticos de concreto armado especial resistentes al momento	8

Figura 85. Determinación del factor de modificación de respuesta “R”, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Para determinar el factor de importancia “I_e”, se ubica la categoría de riesgo que se obtiene según el uso de la edificación, esto permite estimar un valor de “C_s” (Ver Figura 86).

Tabla 1.5-1 (ASCE 7-16)

Ocupación o Uso de la Edificación	Categoría de riesgo
Edificios de menor importancia, se consideran de bajo riesgo para la vida humana ante un evento de falla	I y II
Edificaciones asociadas a la producción o almacén de materiales peligrosos	III
Edificios de importancia excepcional, tales como: hospitales, estaciones de bombero, y similares	IV
Edificios de menor importancia, se consideran de bajo riesgo para la vida humana ante un	I y II

Tabla 1.5-2 (ASCE 7-16)

Categoría de Riesgo	Factor de Importancia
I y II	1
III	1,25
IV	1,5

R	8
I _e	1

T _s	0,17778
T _z	0,00000
T _z	4,00000
S _{DS}	0,90000
S _{D1}	0,80000

C_s = 0,1125

Figura 86. Determinación del factor de importancia “I_e” y el coeficiente “C_s”, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Se realizan las verificaciones necesarias para el coeficiente de respuesta sísmica “Cs” (Ver Figura 87).

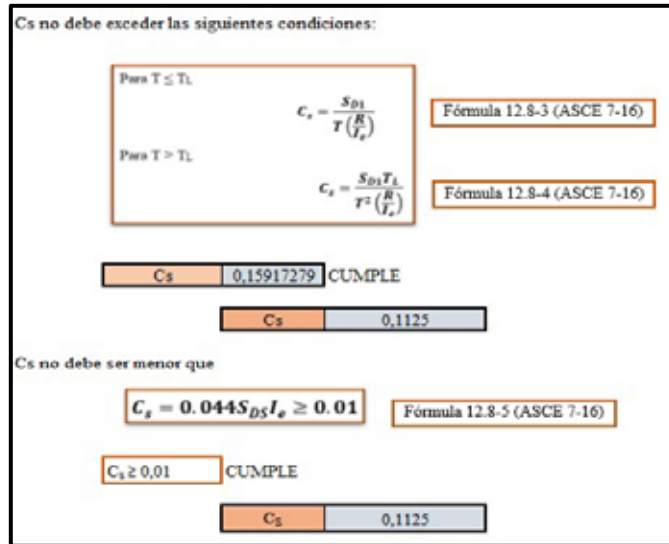


Figura 87. Verificación del coeficiente de respuesta sísmica “Cs”, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Para la determinación el valor de “Cs”, se introduce el peso de la estructura previamente calculado en el predimensionado y se obtiene el valor del corte basal (Ver Figura 88).

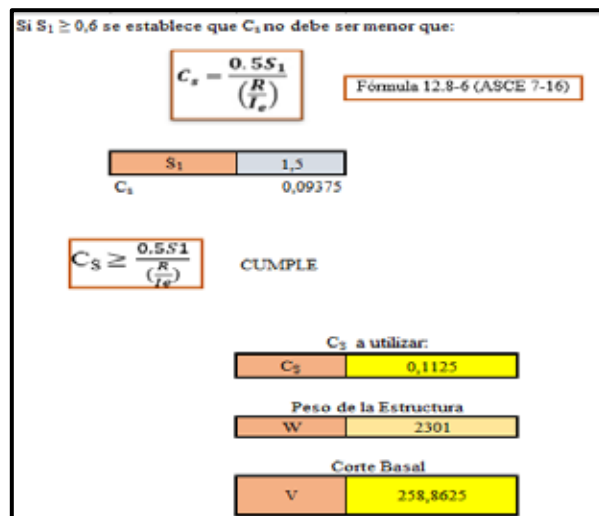


Figura 88. Determinación del coeficiente “Cs”, hoja de cálculo ASCE 7-16.

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Seguidamente, se realiza la distribución de fuerzas laterales por piso de cada nivel de la estructura, y para ello se determina el valor del exponente “k”, relacionado con el período de la estructura (Ver Figura 89).

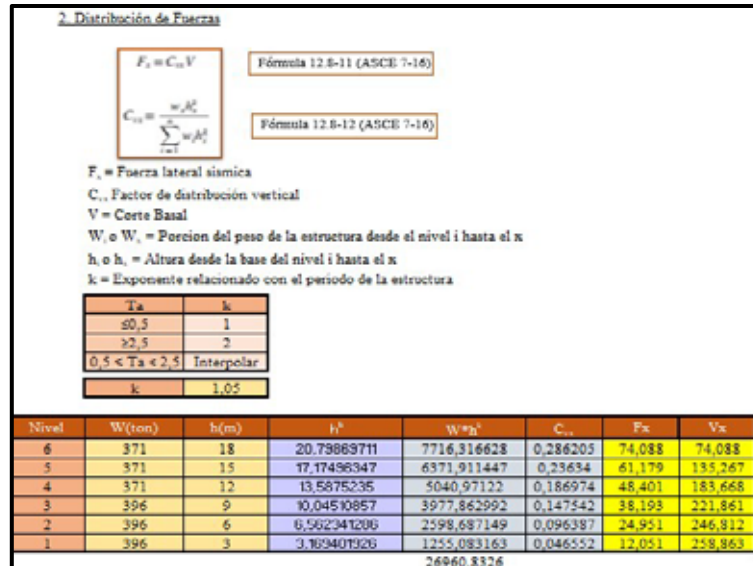


Figura 89. Distribución de las fuerzas laterales, hoja de cálculo ASCE 7-16.
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Finalmente, los valores determinados para dichas fuerzas, se introducen en el modelo computarizado de la edificación para así tener los desplazamientos laterales y derivas. Este proceso se repite para los casos de las edificaciones de 3, 6 y 9 niveles. Seguidamente se obtuvieron los siguientes resultados para el caso en estudio:

Tabla 10. Períodos y aceleraciones espectrales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.

Períodos y Aceleraciones Espectrales por Edificación		
NORMA	Período Estimado	
	Ta (s)	A (g)
Edificio de 3 Niveles		
COVENIN 1756:2001	0,3637307	0,1672371
ASCE 7-16	0,3366981	0,1125
Edificio de 6 Niveles		
COVENIN 1756:2001	0,611719632	0,104623093
ASCE 7-16	0,628248082	0,1125
Edificio de 9 Niveles		
COVENIN 1756:2001	0,829126628	0,077189657
ASCE 7-16	0,904926496	0,110506213

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 11. Períodos y aceleraciones espectrales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Períodos y Aceleraciones Espectrales por Edificación		
NORMA	Período Estimado	
	Ta (s)	A (g)
Edificio de 3 Niveles		
COVENIN 1756:2018	0,36373067	0,206196525
ASCE 7-16	0,3366981	0,1125
Edificio de 6 Niveles		
COVENIN 1756:2018	0,61171963	0,122605187
ASCE 7-16	0,62824808	0,1125
Edificio de 9 Niveles		
COVENIN 1756:2018	0,82912663	0,090456629
ASCE 7-16	0,9049265	0,110506213

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 12. Fuerzas Cortantes Basales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.

Fuerzas de Cortantes Basales por Edificación		
Edificio	Corte Basal (Tonf)	
	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
3 Niveles	186,3689971	134,325
6 Niveles	235,6373613	289,575
9 Niveles	259,3518673	434,952454

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 13. Fuerzas Cortantes Basales por edificación en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Fuerzas de Cortantes Basales por Edificación		
Edificio	Corte Basal (Tonf)	
	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
3 Niveles	229,7854071	134,325
6 Niveles	276,1375327	289,575
9 Niveles	309,5367695	434,9524539

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 14. Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16.

Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel (Tonf)		
Nivel	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Edificio de 3 Niveles		
1	29,81903954	22,3875
2	59,63807907	44,775
3	96,91187849	67,1625
Edificio de 6 Niveles		
1	10,73063247	13,25905403
2	21,46126495	27,45326712
3	32,19189742	42,02327138
4	41,15859031	54,50680314
5	51,44823788	68,89793806
6	78,64673824	83,43466627
Edificio de 9 Niveles		
1	5,382020726	7,038158348
2	10,76404145	16,16944183
3	16,14606218	26,30295483
4	20,95272211	36,15481296
5	26,19090264	47,25612806
6	31,42908317	58,81331107
7	35,74428909	68,98266044
8	40,85061611	80,97114415
9	71,89212986	93,26384216

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 15. Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.

Distribución de Fuerzas Laterales por Nivel (Tonf)		
Nivel	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Edificio de 3 Niveles		
1	36,65641521	22,3875
2	73,31283043	44,775
3	119,8161615	67,1625
Edificio de 6 Niveles		
1	11,66533243	13,25905403
2	23,33066487	27,45326712
3	34,9959973	42,02327138
4	48,66110101	54,50680314
5	60,82637626	68,89793806
6	96,65806086	83,43466627
Edificio de 9 Niveles		
1	6,423448291	7,038158348
2	12,84689658	16,16944183
3	19,27034487	26,30295483
4	25,00709936	36,15481296
5	31,2588742	47,25612806
6	37,51064904	58,81331107
7	42,66085257	68,98266044
8	48,75526008	80,97114415
9	85,80334454	93,26384216

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 16. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 3 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	COVENIN 1756:2001	Limite	Porcentaje
Edificio de 3 Niveles			
3	0,00732	0,024	31
2	0,0100512	0,024	42
1	0,0069024	0,024	29

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 17. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 3 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	COVENIN 1756:2018	Limite	Porcentaje
Edificio de 3 Niveles			
3	0,019193	0,022	87
2	0,0234685	0,022	107
1	0,01426725	0,022	65
Distorsiones de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)			
3	0,00800275	0,022	36
2	0,010982	0,022	50
1	0,00753525	0,022	34

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 18. Desplazamientos de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 3 Niveles.

Desplazamientos de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	ASCE 7-16	Limite (m)	Porcentaje
	(m)		
Edificio de 3 Niveles			
3	0,042482	0,06	71
2	0,0525855	0,06	88
1	0,032197	0,06	54
Desplazamientos de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)			
3	0,025157	0,06	42
2	0,034551	0,06	58
1	0,0237215	0,06	40

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 19. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 6 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)					
Nivel	COVENIN 1756:2001		Limite	Porcentaje	
	X	Y		X	Y
Edificio de 6 Niveles					
6	0,0044352	0,0047328	0,024	18	20
5	0,0071664	0,0075888	0,024	30	32
4	0,0093888	0,0099072	0,024	39	41
3	0,0089952	0,0095568	0,024	37	40
2	0,008808	0,0092832	0,024	37	39
1	0,0051024	0,0052992	0,024	21	22

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 20. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 6 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)					
Nivel	COVENIN 1756:2018		Limite	Porcentaje	
	X	Y		X	Y
Edificio de 6 Niveles					
6	0,011475	0,0122995	0,022	52	56
5	0,0177055	0,0188063	0,022	80	85
4	0,0227078	0,024021	0,022	103	109
3	0,0224315	0,0237618	0,022	102	108
2	0,0205105	0,0215603	0,022	93	98
1	0,0105698	0,0109778	0,022	48	50
Distorsiones de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)					
6	0,004794	0,0051128	0,022	22	23
5	0,0076755	0,0081218	0,022	35	37
4	0,0099705	0,0105188	0,022	45	48
3	0,0094478	0,0100385	0,022	43	46
2	0,0091885	0,0096858	0,022	42	44
1	0,0053083	0,0055123	0,022	24	25

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 21. Desplazamiento de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 6 Niveles.

Desplazamientos de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)					
Nivel	ASCE 7-16		Limite (m)	Porcentaje	
	X (m)	Y (m)		X	Y
Edificio de 6 Niveles					
6	0,040909	0,042559	0,06	68	71
5	0,0666215	0,0689205	0,06	111	115
4	0,088583	0,09141	0,06	148	152
3	0,0893915	0,0923065	0,06	149	154
2	0,0825825	0,08492	0,06	138	142
1	0,0427735	0,043703	0,06	71	73
Desplazamientos de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)					
6	0,0168575	0,0174625	0,06	28	29
5	0,0288145	0,029711	0,06	48	50
4	0,038874	0,040018	0,06	65	67
3	0,037697	0,0389455	0,06	63	65
2	0,0370865	0,038148	0,06	62	64
1	0,021527	0,021978	0,06	36	37

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 22. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2001 – Edificio de 9 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	COVENIN 1756:2001	Limite	Porcentaje
Edificio de 9 Niveles			
9	0,0038928	0,024	16
8	0,0059136	0,024	25
7	0,0077424	0,024	32
6	0,0084144	0,024	35
5	0,0094272	0,024	39
4	0,0101232	0,024	42
3	0,0096192	0,024	40
2	0,0084768	0,024	35
1	0,0043344	0,024	18

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 23. Distorsiones de Entrepiso por Nivel en la Norma COVENIN 1756:2018 – Edificio de 9 Niveles.

Distorsiones de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	COVENIN 1756:2018	Limite	Porcentaje
Edificio de 9 Niveles			
9	0,0101065	0,022	46
8	0,014909	0,022	68
7	0,019584	0,022	89
6	0,02209575	0,022	100
5	0,02444175	0,022	111
4	0,0256105	0,022	116
3	0,023953	0,022	109
2	0,019856	0,022	90
1	0,00920975	0,022	42
Distorsiones de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)			
9	0,004114	0,022	19
8	0,0062475	0,022	28
7	0,00818125	0,022	37
6	0,008891	0,022	40
5	0,00996625	0,022	45
4	0,0107015	0,022	49
3	0,010166	0,022	46
2	0,008959	0,022	41
1	0,00457725	0,022	21

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 24. Desplazamiento de Entrepiso por Nivel en la Norma ASCE 7-16 – Edificio de 9 Niveles.

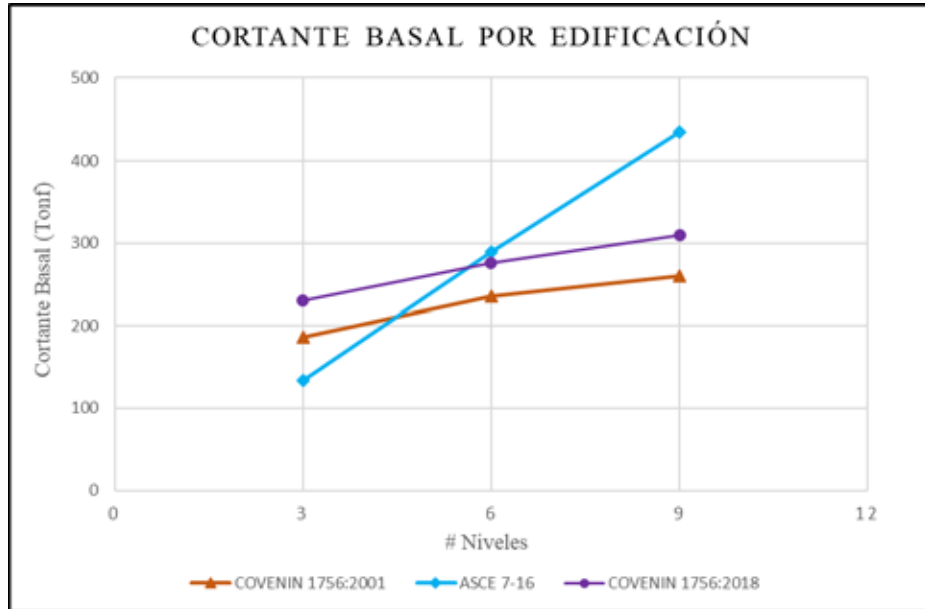
Desplazamientos de Entrepiso por Nivel (Dirección X y Y)			
Nivel	ASCE 7-16	Limite (m)	Porcentaje
	(m)		
Edificio de 9 Niveles			
9	0,047806	0,06	80
8	0,0755755	0,06	126
7	0,104027	0,06	173
6	0,1199935	0,06	200
5	0,133969	0,06	223
4	0,1408165	0,06	235
3	0,131659	0,06	219
2	0,108955	0,06	182
1	0,050446	0,06	84
Desplazamientos de Entrepiso con Inercia Gruesa por Nivel (Dirección X y Y)			
9	0,0191235	0,06	32
8	0,0315645	0,06	53
7	0,043461	0,06	72
6	0,0483395	0,06	81
5	0,054692	0,06	91
4	0,0588885	0,06	98
3	0,0558965	0,06	93
2	0,049137	0,06	82
1	0,0250525	0,06	42

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

4.4.4 Caso de Estudio – Método Análisis Estático para condiciones de aceleraciones espectrales más desfavorables y suelo Tipo B.

Sobre la base de los resultados obtenidos en la Tabla 12 y 13 (cortes basales), se procedió a elaborar la **Gráfica 23**, en donde se permite apreciar la variación que existe en el corte basal calculado para las edificaciones de 3, 6 y 9 niveles, bajo la aplicación de las normas en estudio; COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, tomando en consideración las aceleraciones espectrales más desfavorables y un suelo Tipo B.

Gráfica 23. Cortantes Basales por edificación para la Norma COVENIN 1756:2001, COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16.



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 23**, se establecen comparaciones entre las normas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con la ASCE 7-16, de manera que se analizan los cortantes basales obtenidos en los cálculos realizados para cada una respectivamente. Evaluando los resultados, se evidencia que para las edificaciones de 3 niveles, se obtuvieron valores de cortantes basales comprendidos entre 100 Tonf y 230 Tonf presentando una variación significativa. Este comportamiento permite establecer que las Normas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 presentan mayores valores de corte basal con respecto a la ASCE 7-16, esto se debe a la influencia que tiene el Período Estimado (T_a) en el comportamiento de las ramas del espectro de cada norma, ya que entran en la zona donde la aceleración es constante.

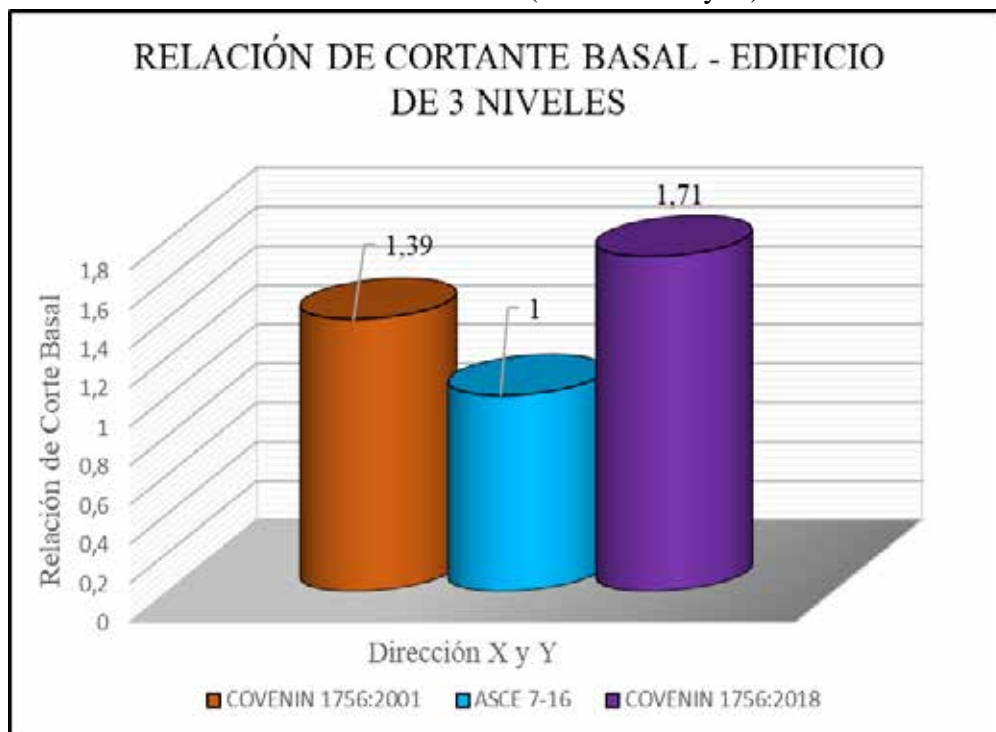
No obstante, para los edificios de 6 niveles se observa que no hay una gran variación entre los valores de corte basal entre la COVENIN 1756:2018 y la ASCE 7-16. En el caso de la COVENIN 1756:2001 con respecto a la ASCE 7-16, se evidencia un cambio notable aunque no se considera muy drástico ya que los resultados predominan en el rango de 200 Tonf y 300 Tonf para ambos casos. Finalmente, se

establece que la ASCE 7-16 es la norma que presenta mayores resultados de cortante basal, esto se debe a causa de la disminución gradual que presenta la aceleración espectral de la norma venezolana y a la amplitud existente en la zona de aceleración constante de la ASCE 7-16.

Como se puede entender en el caso de edificios de 9 niveles, se observa una gran variación entre las normas venezolanas con respecto a la americana, ya que se aprecian valores de corte basal con cambios drásticos, ubicándose en rangos entre 250 Tonf y 450 Tonf, siendo la ASCE 7-16 la norma que predomina en ambos casos con un mayor valor de fuerza cortante basal. Esto ocurre por la influencia que tiene el Período Fundamental en las ramas del espectro, ya que toma valores de la aceleración espectral en las ramas descendentes y esto trae como consecuencia que las aceleraciones disminuyan en la ASCE 7-16.

Edificio de 3 Niveles

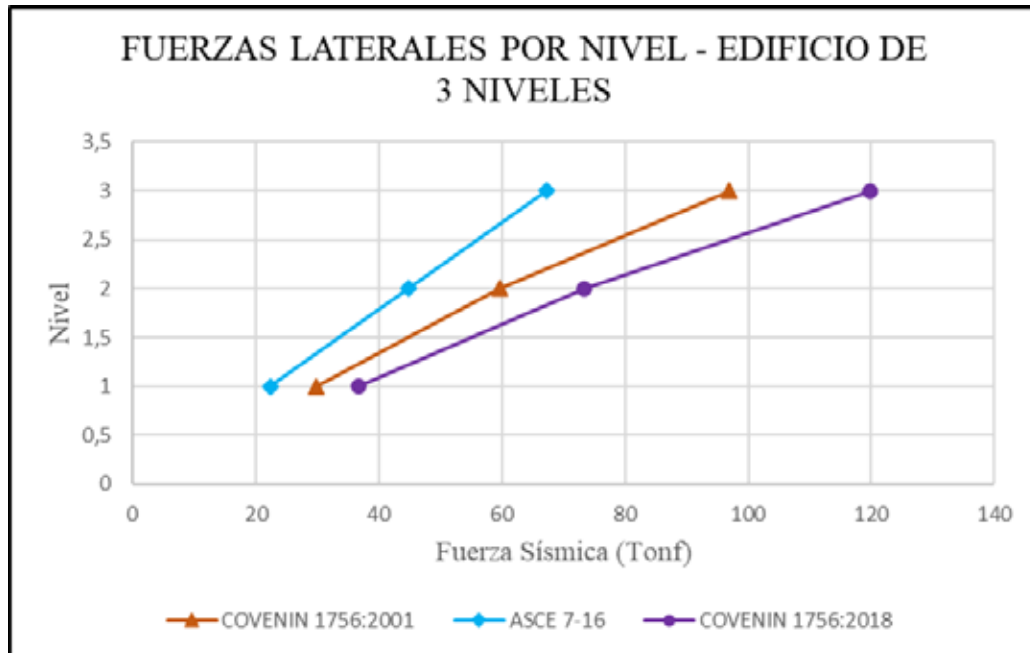
Gráfica 24. Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 24**, se presenta la relación del corte basal de las Normas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con respecto a la ASCE 7-16, para un edificio de 3 niveles (siendo esta la unidad patrón). A los efectos de este, se observa que Venezuela genera un cortante más elevado, estando la COVENIN 1756:2001 un 39% y la COVENIN 1756:2018 un 71% por encima de la ASCE 7-16, esto se debe a que las aceleraciones espectrales de las normas venezolanas alcanzan valores más altos que la norma americana.

Gráfica 25. Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 25. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Edificio de 3 Niveles		
1	1,33	1,00
2	1,33	1,00
3	1,44	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

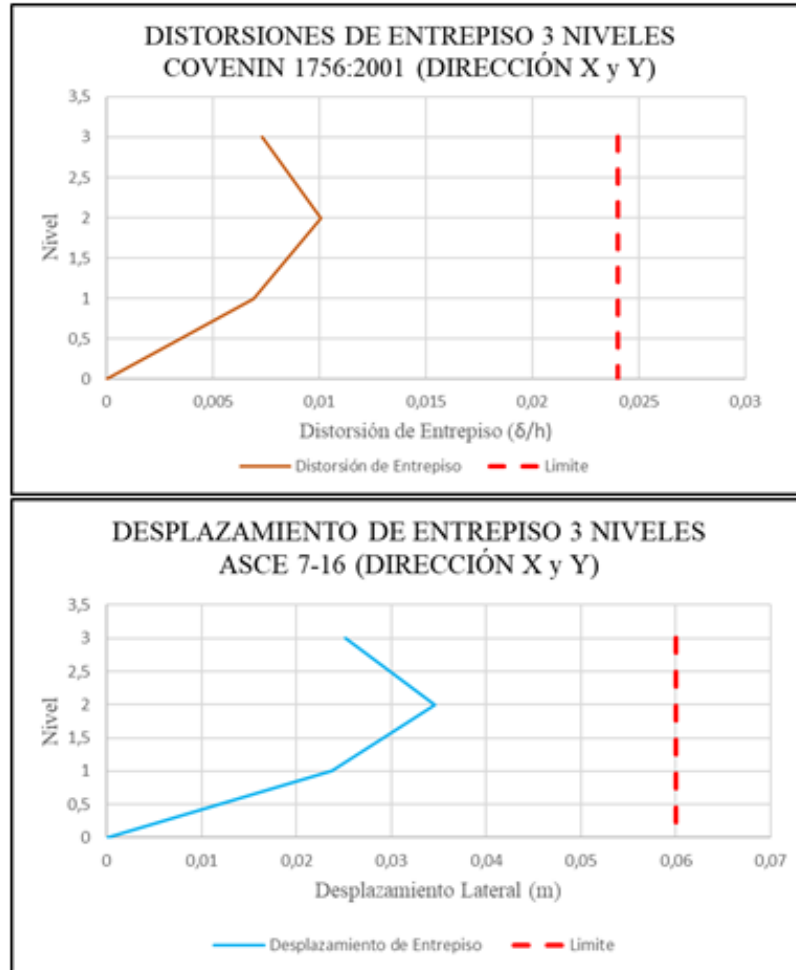
Tabla 26. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Edificio de 3 Niveles		
1	1,64	1,00
2	1,64	1,00
3	1,78	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 25**, se observa la distribución de fuerzas sísmicas laterales por nivel, se hace evidente la forma en que las normas presentan una distribución lineal creciente, siendo la fuerza sísmica en el último nivel mayor que el resto. Asimismo, se evidencia que las normas que presentan mayores fuerzas son la COVENIN 1756:2001 y la COVENIN 1756:2018. En el primer nivel la ASCE 7-16 presenta una diferencia con respecto a la COVENIN 1756:2001 del 33% por debajo, y con respecto a la COVENIN 1756:2018 es del 64%, en el segundo se mantiene la relación de fuerzas del primer nivel y finalmente en el último nivel comienza a tener una diferencia mayor, esto es a causa de la inclusión que tienen ambas normas venezolanas de una fuerza adicional en el tope.

Gráfica 26. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).

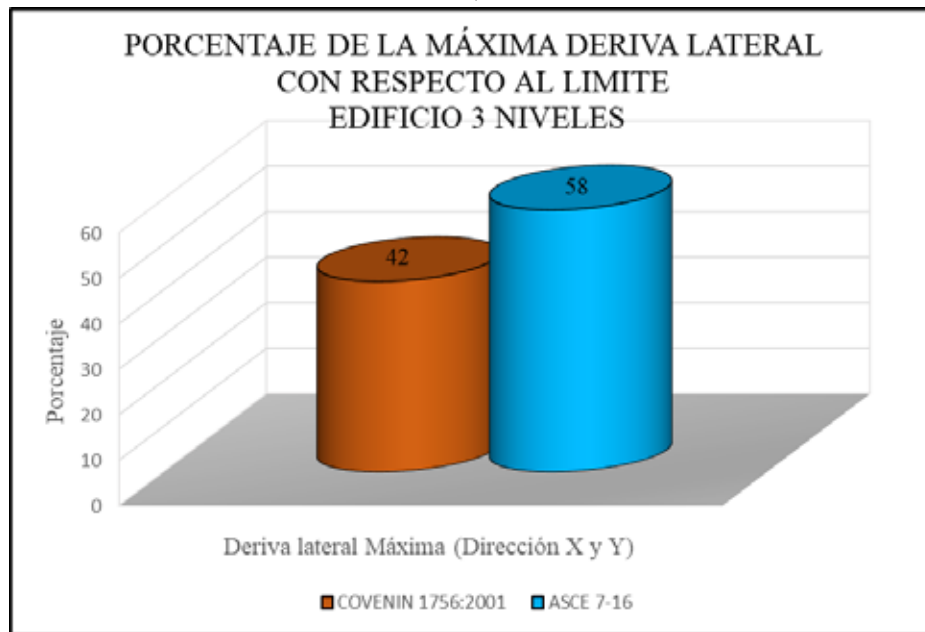


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con referencia a la **Gráfica 26**, se establecen las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que sufre la edificación de 3 niveles para la COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, bajo los efectos de un período de tiempo T_a . Para ambas normas se cumplen con los límites establecidos cuando se realiza el análisis en ambas direcciones (X y Y), permitiendo apreciar un amplio rango de distancia hasta el límite de cada una respectivamente, esto quiere decir que la estructura está diseñada con las dimensiones requeridas por los elementos estructurales, sin embargo, podría

proponerse una optimización de la misma si se desea que se desarrolle un desempeño estructural a su máxima capacidad.

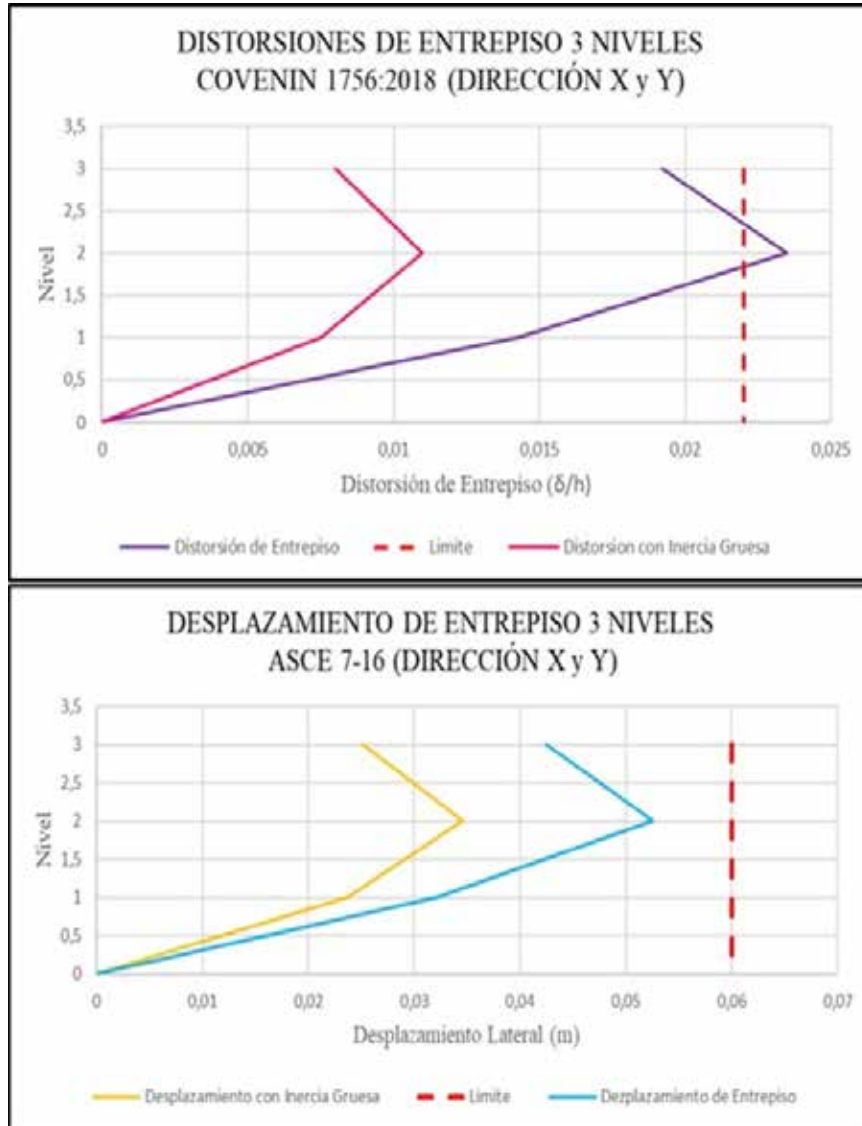
Gráfica 27. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 27**, se aprecia mediante porcentajes los resultados alcanzados por la máxima deriva lateral de la estructura con referencia al límite permitido por cada norma para el caso de edificios de 3 niveles. Se evidencia que en la ASCE 7-16 su mayor desplazamiento se encuentra a un 42% del límite que establece dicha norma. Por el contrario, en la COVENIN 1756:2001, el nivel que obtuvo un desplazamiento mayor se ubica en un 58% del límite permisible.

Gráfica 28. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

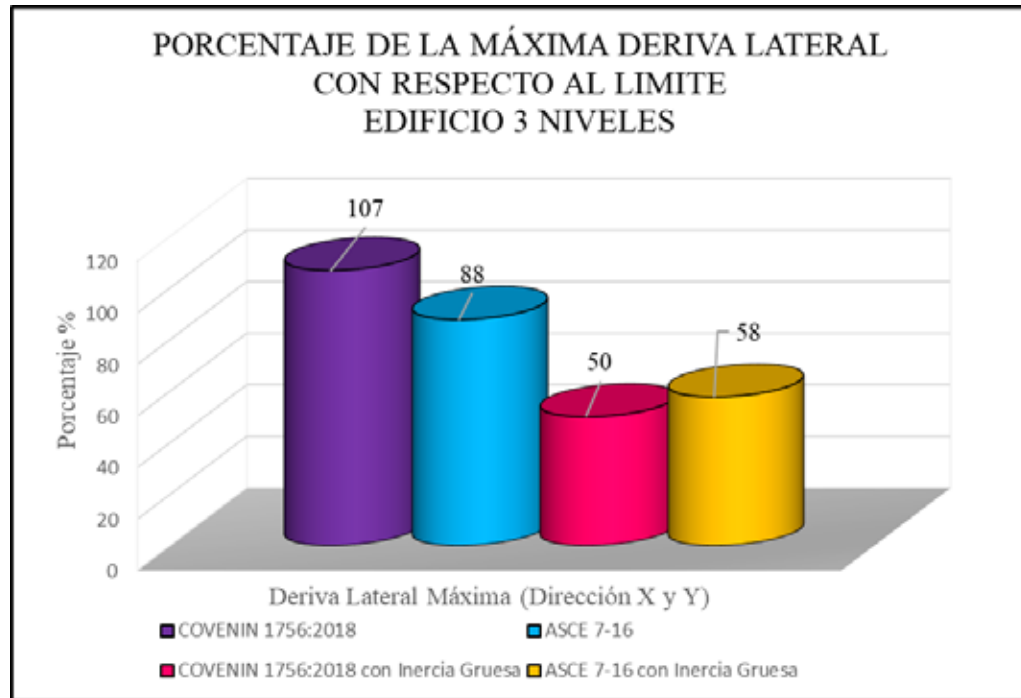
En la **Gráfica 28**, se establecen las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que experimenta la edificación de 3 niveles para las normas COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, a consecuencia de los efectos de un período de tiempo T_a . En este análisis se presentan dos casos para cada norma, en el primero se consideran los desplazamientos de la estructura con inercia gruesa para el área de la sección de cada uno de los elementos estructurales. A diferencia del segundo caso, donde se

estudia el comportamiento de la estructura bajo los efectos de un Sismo de Diseño, considerando para su modelado los momentos de inercia de las secciones agrietadas, con la finalidad de verificar la capacidad de la estructura en situación de cedencia del acero de refuerzo. Dichos análisis se realizan para los edificios de 3, 6 y 9 niveles en la comparación entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, ya que la condición de rigideces de los elementos estructurales es un requisito de modelado, análisis y diseño que se comienza a tomar en cuenta desde la propuesta de la nueva norma venezolana y no en la que se encuentra en vigencia. Ambos comportamientos se comparan con los límites que establece cada norma respectivamente.

Para el caso de estudio donde se toma en cuenta la inercia gruesa, se cumple con los límites establecidos en el análisis de ambas direcciones (X y Y), se evidencia que tanto la COVENIN 1756:2018 como la ASCE 7-16 tienen un amplio rango de distancia hasta el límite que establece la norma, siendo considerada la estructura capaz de resistir las acciones de fuerza sísmica, sin embargo, se podría proponer un diseño aún más óptimo que permita disminuir los costos de la misma.

Por el contrario, el caso donde se consideran los momentos de inercia de secciones agrietadas, se evidencia que la norma venezolana sobrepasa los límites establecidos, esto quiere decir que no cumple con la demanda sísmica y se debe realizar nuevamente el dimensionado de los elementos estructurales. En la ASCE 7-16, la edificación se encuentra dentro de los límites establecidos, garantizando el comportamiento adecuado ante la acción sísmica.

Gráfica 29. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 3 Niveles (Dirección X y Y).

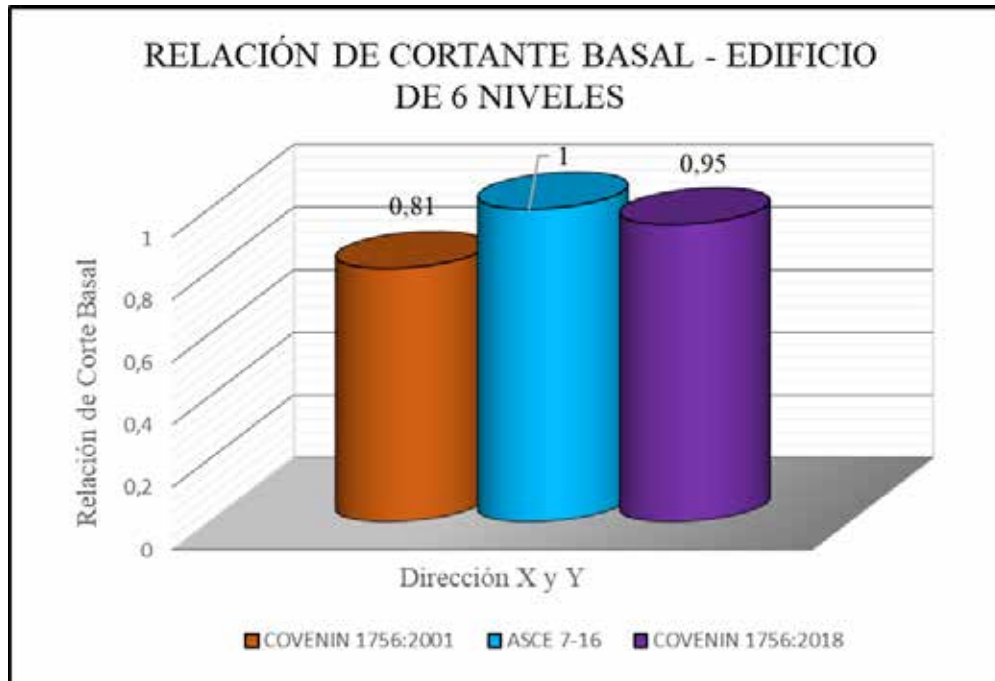


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con referencia a la **Gráfica 29**, se distinguen los resultados obtenidos anteriormente mediante los porcentajes que alcanzan las máximas derivas laterales de la estructura en estudio, con respecto al límite permisible por cada norma para el caso de edificios de 3 niveles. En el caso donde se considera la inercia gruesa, se observa que en la ASCE 7-16 en su mayor desplazamiento se encuentra a un 42% del límite que establece dicha norma y la COVENIN 1756:2018 a un 50%. No obstante, en el análisis donde se toman en cuenta los momentos de inercia de secciones agrietadas, el nivel que responde a un desplazamiento mayor de la COVENIN 1756:2018, se ubica en un 7% por encima del límite permisible, mientras que la ASCE 7-16 se ubica a un 12% por debajo del mismo.

Edificio de 6 Niveles

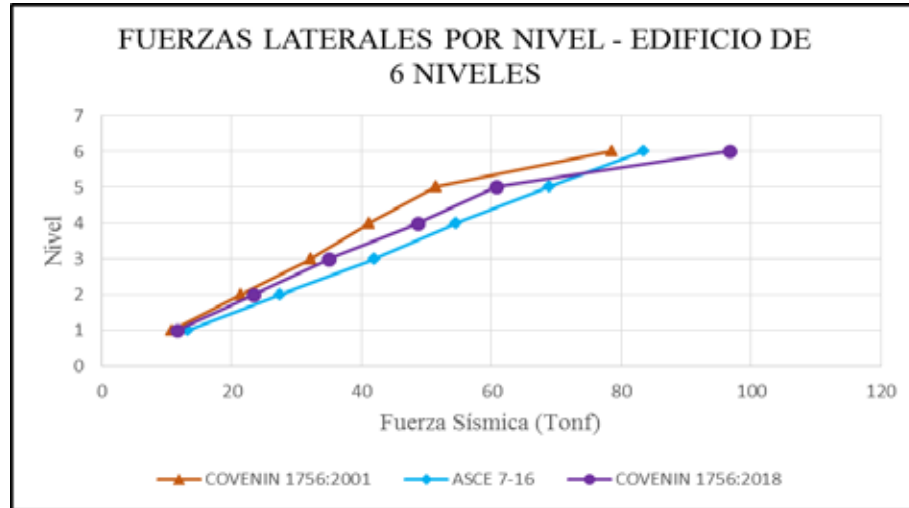
Gráfica 30. Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 30**, se evidencia la relación del corte basal de las Normas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con respecto a la ASCE 7-16, para un edificio de 6 niveles (siendo esta la unidad patrón). Como puede observarse, la Norma ASCE 7-16 genera un cortante más elevado, siendo un 19% superior a la Norma ASCE 7-16 y estando un 5% por encima de la COVENIN 1756:2018. Esto se debe a que las aceleraciones espectrales de la norma americana para este caso en particular, se alcanzan valores más altos que en las normas venezolanas.

Gráfica 31. Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 27. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Edificio de 6 Niveles		
1	0,81	1,00
2	0,78	1,00
3	0,77	1,00
4	0,76	1,00
5	0,75	1,00
6	0,94	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

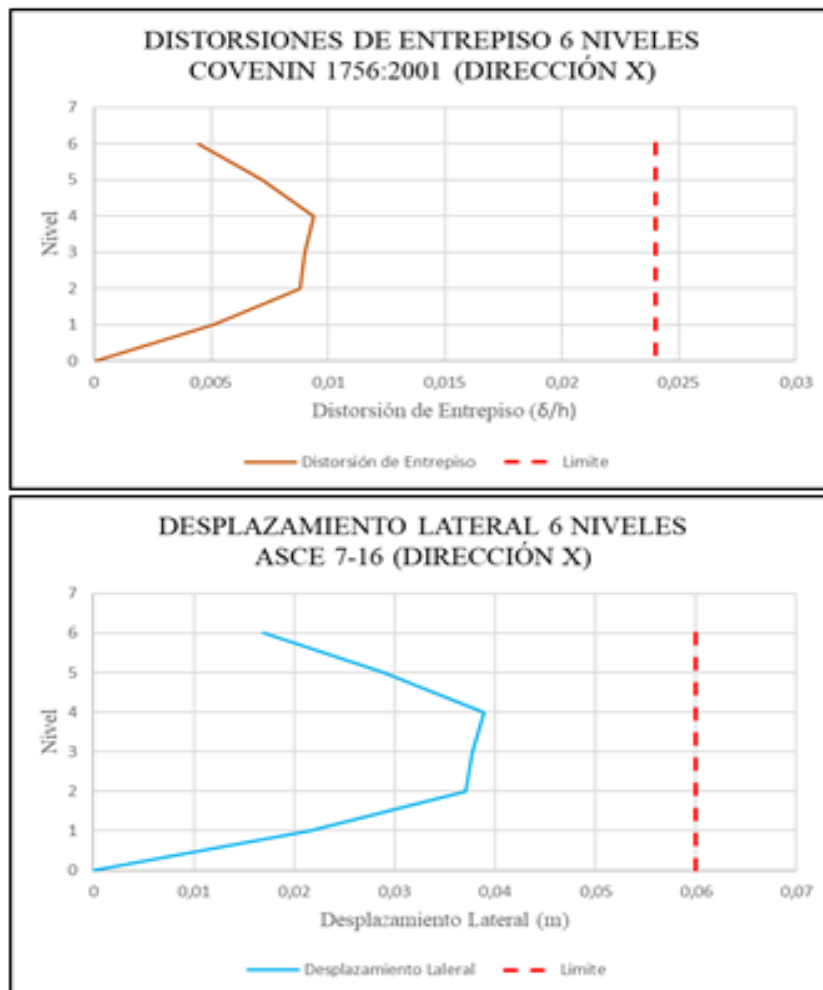
Tabla 28. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Edificio de 6 Niveles		
1	0,88	1,00
2	0,85	1,00
3	0,83	1,00
4	0,89	1,00
5	0,88	1,00
6	1,16	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

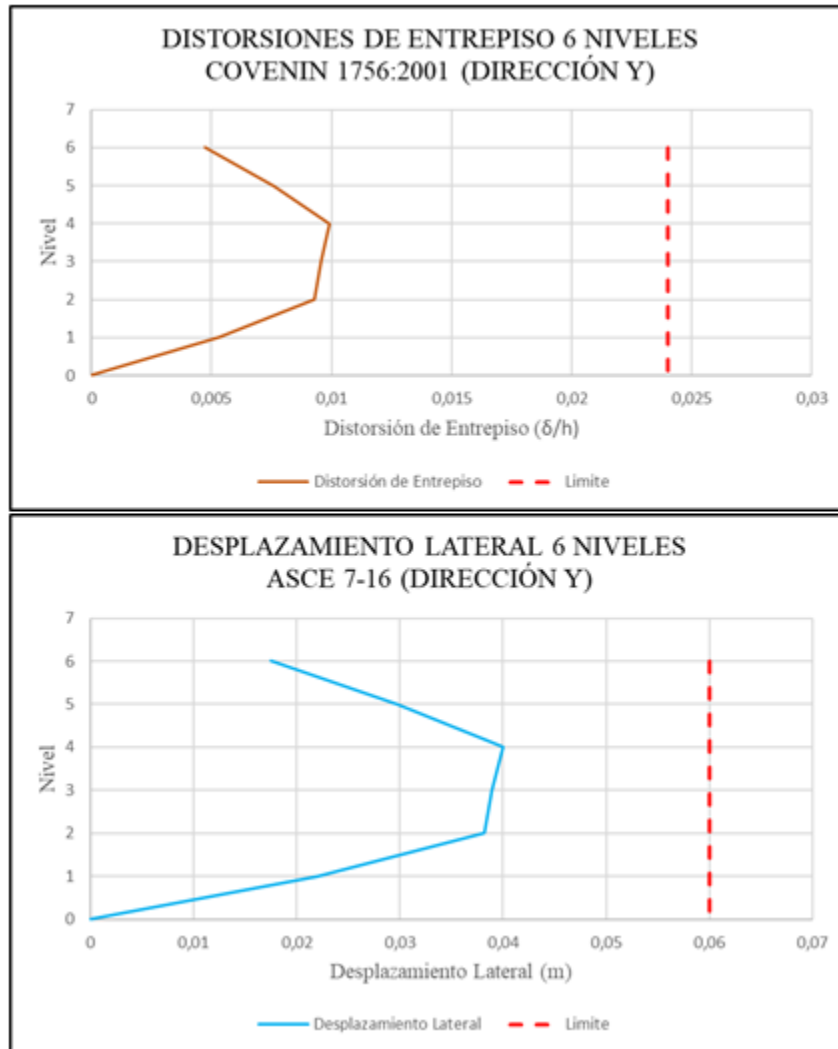
Con respecto a la **Gráfica 31**, se aprecia la distribución de fuerzas sísmicas laterales por nivel, se puede evidenciar fácilmente la forma en que las normas presentan una distribución lineal creciente, siendo la fuerza sísmica en el último nivel mayor que el resto. Se observa como la norma que arroja mayores valores de fuerzas sísmicas laterales en este caso es la ASCE 7-16, con excepción del último nivel, en donde es la COVENIN 1756:2018 que experimenta mayores valores en su fuerza lateral, a causa de la inclusión que tienen ambas normas venezolanas de una fuerza adicional en el tope.

Gráfica 32. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Gráfica 33. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).

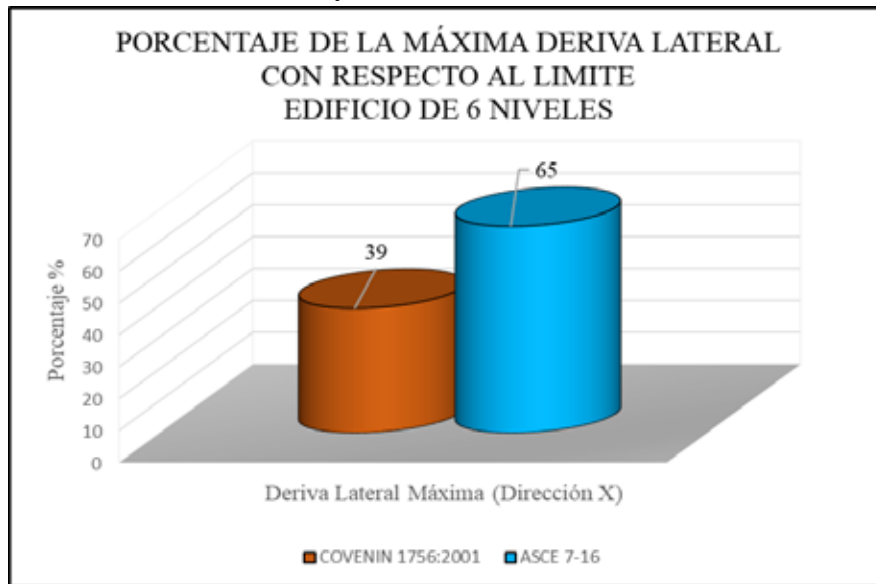


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 32 y 33**, se evidencian las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que experimenta la edificación de 6 niveles para las normas COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, por la influencia de un período de tiempo T_a . Para ambos casos, se cumple con los límites establecidos cuando se realiza el análisis en ambas direcciones (X y Y). Tanto la ASCE 7-16 como la COVENIN 1756:2001 tienen un amplio rango de distancia hasta el límite que establece cada una de las normas

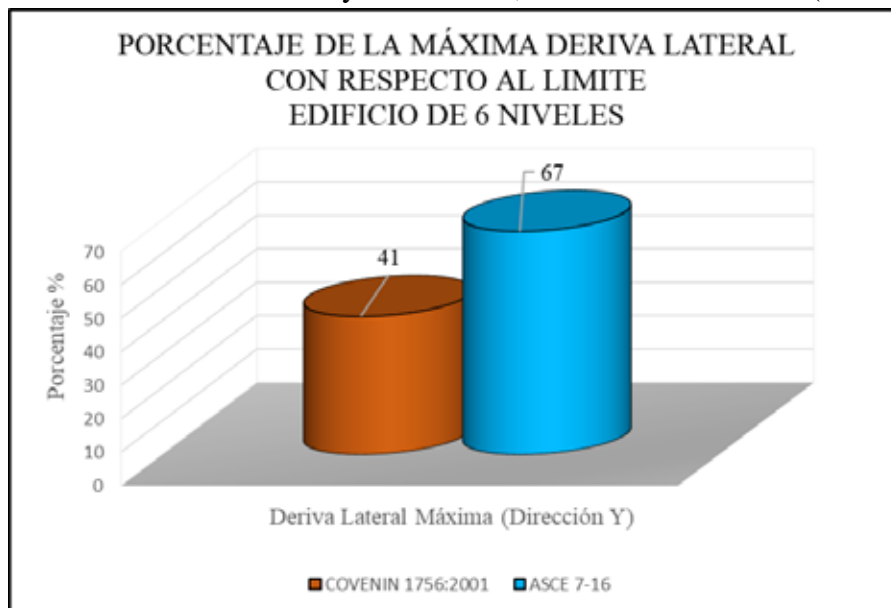
respectivamente. Esto permite cumplir con las exigencias sísmicas requeridas, sin embargo, se puede proponer un diseño estructural más óptimo.

Gráfica 34. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

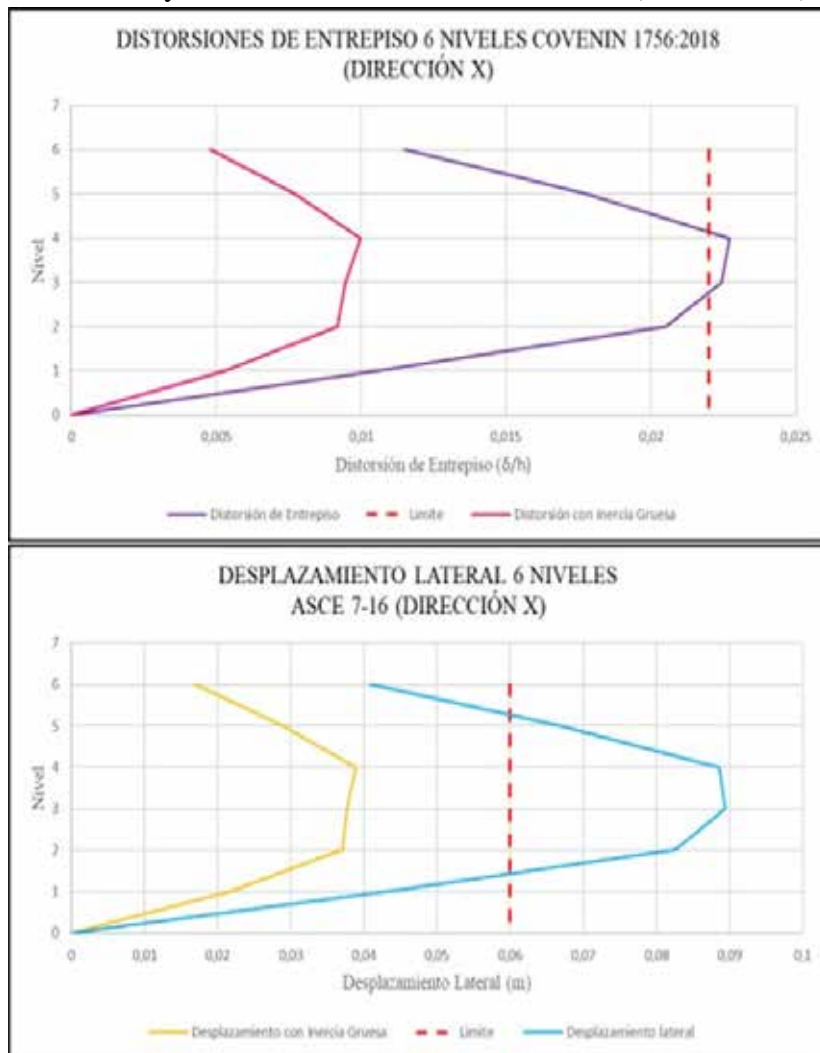
Gráfica 35. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

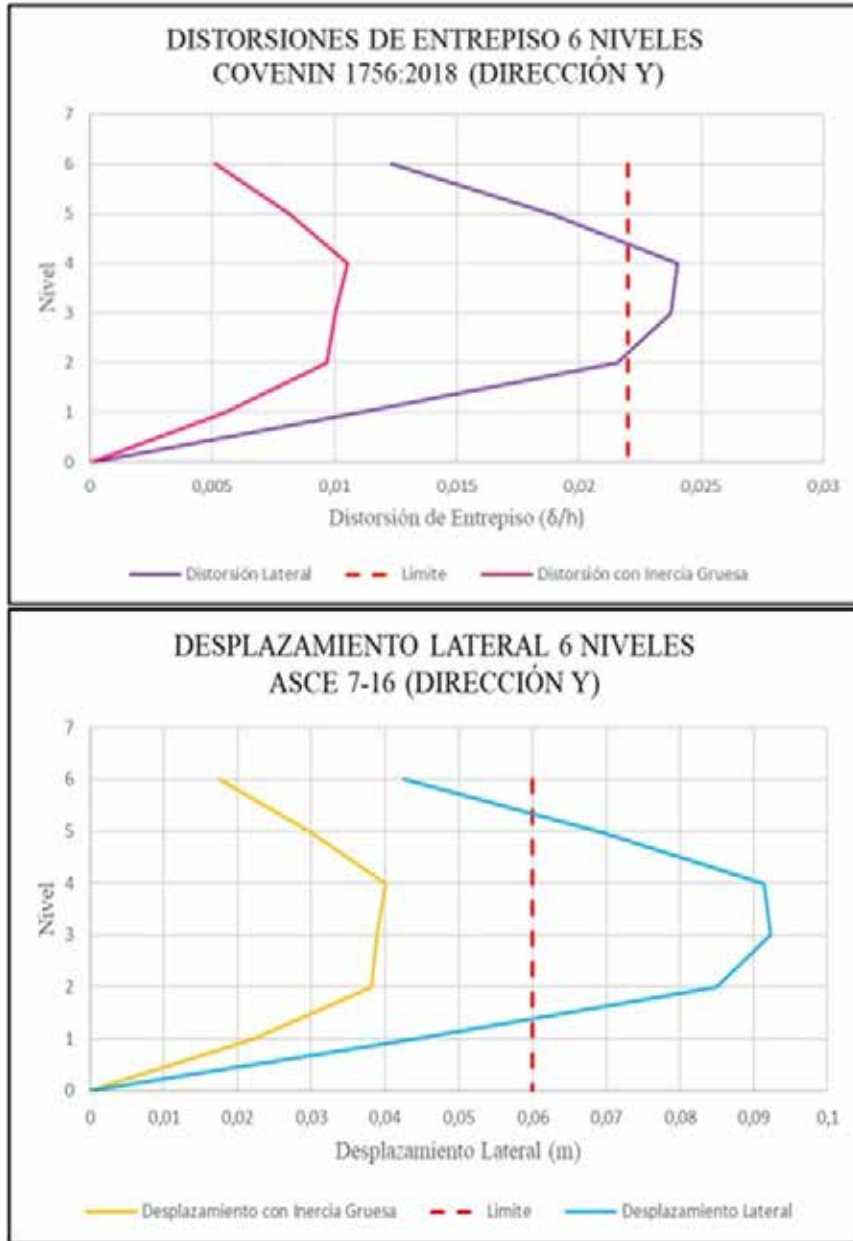
Con referencia a la **Gráfica 34 y 35**, se expresan los resultados obtenidos a través de porcentajes, representando los valores que alcanzan las máximas derivas laterales de la estructura en estudio, con respecto al límite permitido por cada norma para el caso de edificios de 6 niveles. Se observa que en la COVENIN 1756:2001 en su mayor desplazamiento se encuentra a un 59% del límite que establece dicha norma. En cambio, en la ASCE 7-16 el nivel que responde a un desplazamiento mayor se ubica en un 33% del límite permisible.

Gráfica 36. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Gráfica 37. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).



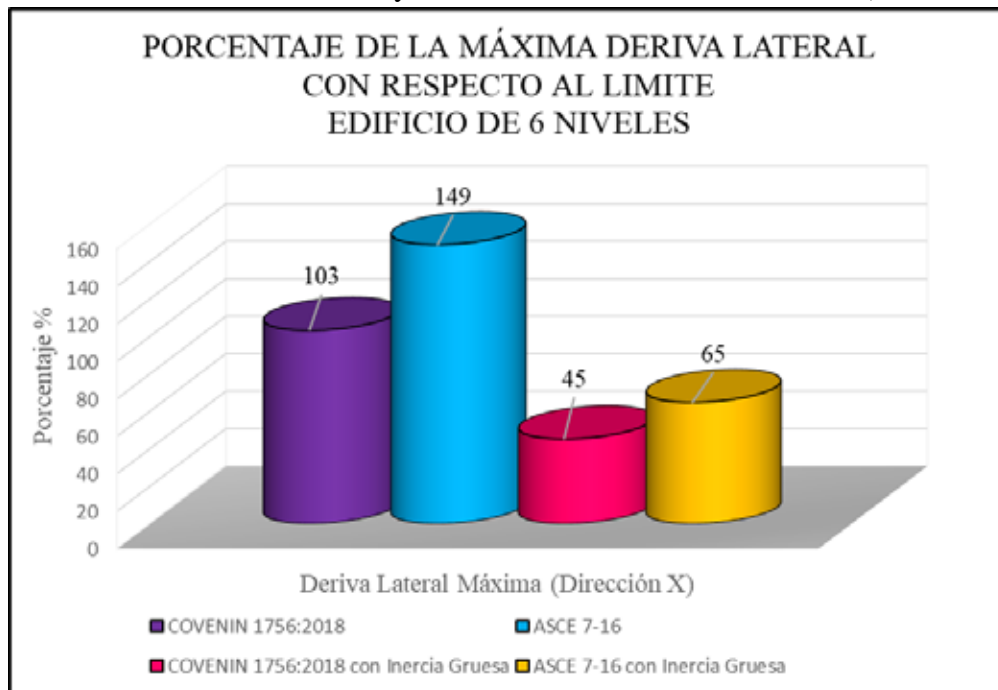
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 36 y 37**, se observan las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que experimenta la edificación de 6 niveles para las normas COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, bajo la influencia de un período de tiempo T_a .

Para el caso de estudio donde se toma en cuenta la inercia gruesa, se cumple con los límites establecidos en el análisis de ambas direcciones (X y Y), se evidencia que tanto la COVENIN 1756:2018 como la ASCE 7-16 tienen un amplio rango de distancia hasta el límite que establece la norma, siendo considerada la estructura capaz de resistir las acciones de fuerza sísmica, sin embargo, el diseño podría ser más óptimo para reducir costos y aumentar el desempeño.

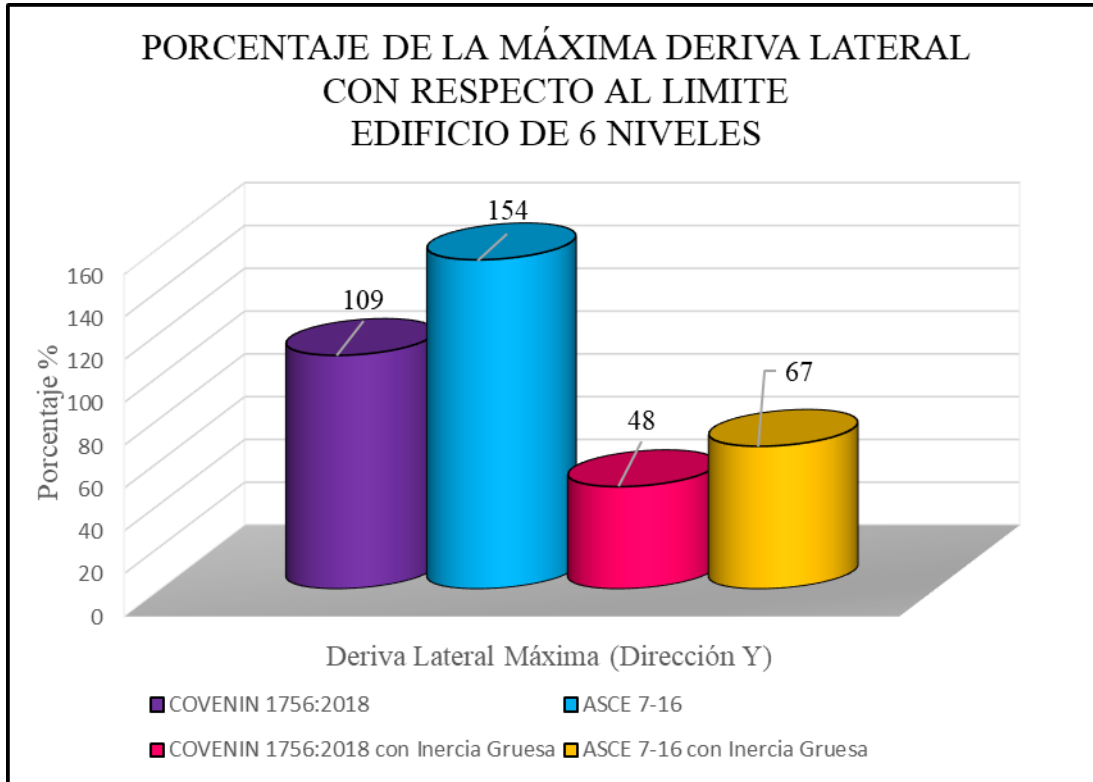
Por el contrario, el caso donde se consideran los momentos de inercia de secciones agrietadas, se evidencia que ambas normas sobrepasan considerablemente los límites establecidos, esto quiere decir que la estructura no cumple con la demanda sísmica requerida, pudiendo presentar graves daños, es por ello que se debe proponer nuevamente el dimensionado de los elementos estructurales.

Gráfica 38. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Gráfica 39. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección Y).

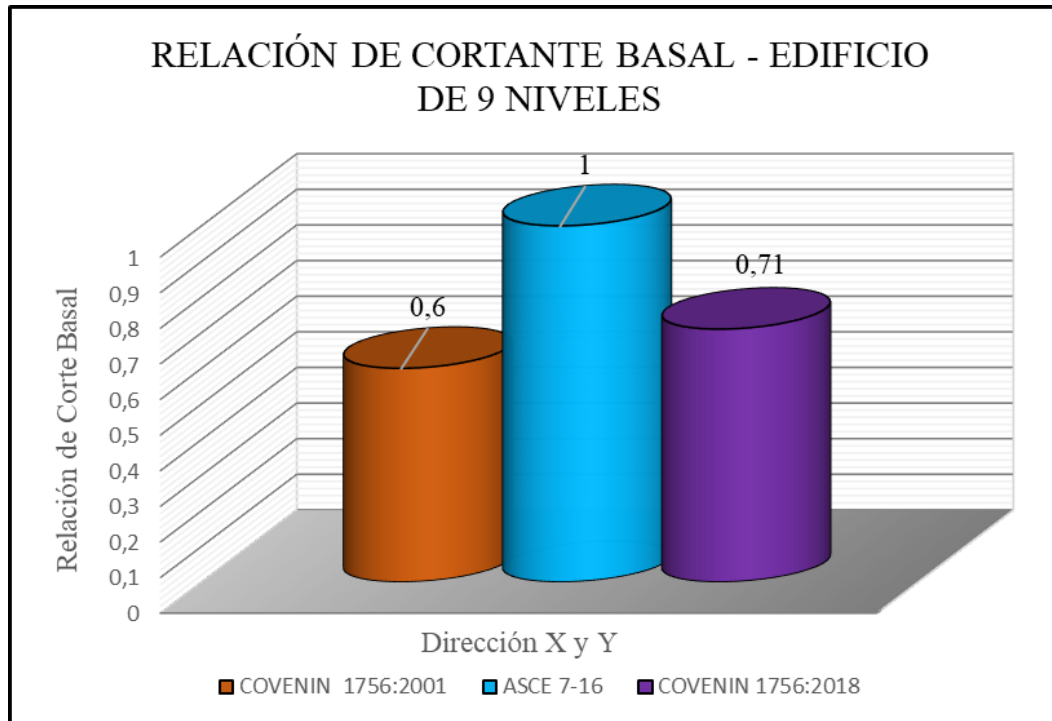


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En las **Gráficas 38 y 39**, se evidencian los resultados reflejados a través de porcentajes, representando los valores que alcanzan las máximas derivas laterales de la estructura en estudio, con respecto al límite permitido por cada norma para el caso de edificios de 6 niveles, para este análisis el mayor desplazamiento ocurre en la dirección Y. En el caso donde se considera la inercia gruesa, se observa que en la ASCE 7-16 en su mayor desplazamiento se encuentra a un 33% del límite que establece dicha norma y la COVENIN 1756:2018 a un 52%. Por el contrario, en el análisis donde se toman en cuenta los momentos de inercia de secciones agrietadas, el nivel que responde a un desplazamiento mayor de la COVENIN 1756:2018, se ubica en un 9% por encima del límite permisible, mientras que la ASCE 7-16 se ubica a un 54% de exceso de lo implementado por la norma.

Edificio de 9 Niveles

Gráfica 40. Relación de cortantes basales con respecto a la Norma ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 40**, se evidencia la relación del corte basal de las Normas COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 con respecto a la ASCE 7-16, para un edificio de 9 niveles (siendo esta la unidad patrón). Como puede observarse, el comportamiento del inicio cambia totalmente, siendo ahora la ASCE 7-16 la normativa que arroja mayores valores de corte basal, estando un 40% por encima de la COVENIN 1756:2001 y un 39% de la COVENIN 1756:2018. Los resultados obtenidos, demuestran la influencia de la aceleración espectral en el cálculo de corte basal, ya que para la norma venezolana sufre una disminución importante en sus valores de respuesta en la zona de períodos cortos.

Gráfica 41. Distribución de fuerzas laterales por nivel, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Tabla 29. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2001	ASCE 7-16
Edificio de 9 Niveles		
1	0,76	1,00
2	0,67	1,00
3	0,61	1,00
4	0,58	1,00
5	0,55	1,00
6	0,53	1,00
7	0,52	1,00
8	0,50	1,00
9	0,77	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

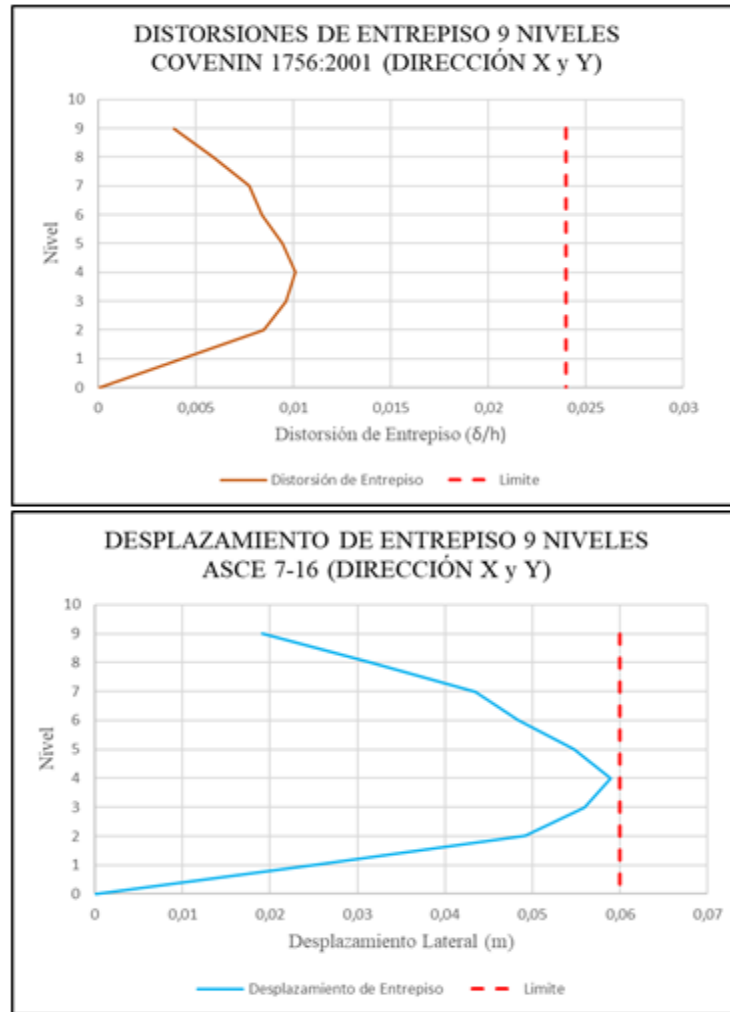
Tabla 30. Relación de fuerzas laterales por nivel entre la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).

Relación de Fuerzas Laterales por Nivel		
Nivel	COVENIN 1756:2018	ASCE 7-16
Edificio de 9 Niveles		
1	0,91	1,00
2	0,79	1,00
3	0,73	1,00
4	0,69	1,00
5	0,66	1,00
6	0,64	1,00
7	0,62	1,00
8	0,60	1,00
9	0,92	1,00

Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

Con respecto a la **Gráfica 41**, se observa la distribución de fuerzas sísmicas laterales por nivel, se puede apreciar fácilmente la forma en que las normas presentan una distribución lineal creciente, siendo la fuerza sísmica en el último nivel mayor que el resto. En referencia al primer nivel, las normas presentan una fuerza lateral con valores muy cercanos entre ellas, sin embargo, ese comportamiento tan similar de valores va cambiando según van aumentando los niveles, causando la máxima variación en el nivel 8, para luego volver a tener un comportamiento semejante en el último nivel, esto se debe a causa de la inclusión de la fuerza adicional por parte de las normas venezolanas.

Gráfica 42. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).

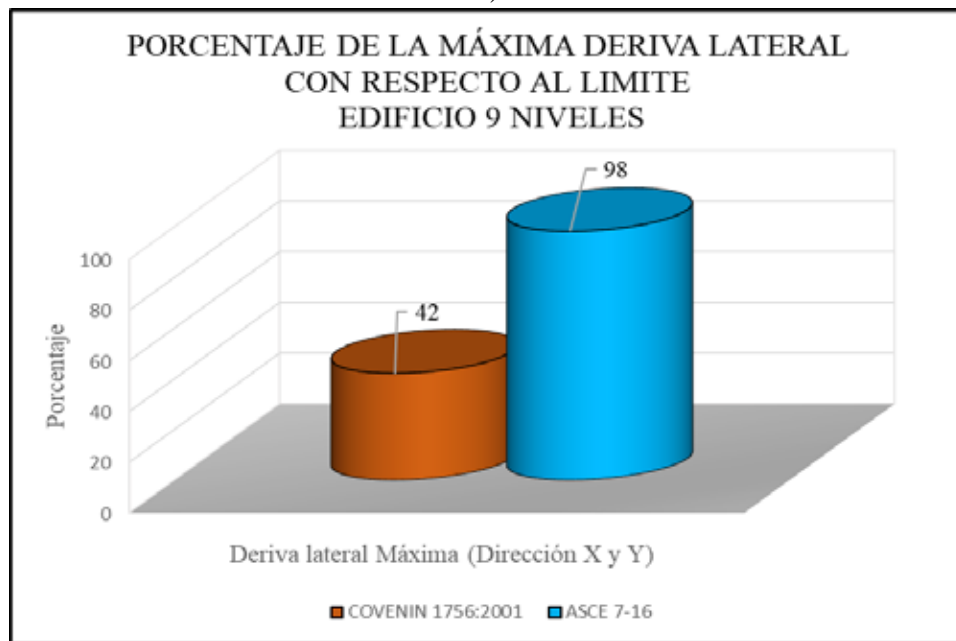


Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 42**, se observan las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que experimenta la edificación de 9 niveles para las normas COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, para un período de tiempo T_a . Para ambos casos, se cumple con los límites establecidos para el análisis en ambas direcciones (X y Y). Sin embargo, se evidencia como la ASCE 7-16 se encuentra muy cercana al límite permisible que establece la norma, lo cual podría causar daños considerables ante acciones sísmicas. Por su parte, la COVENIN 1756:2001 se encuentra dentro de los

límites establecidos por la norma, sin embargo, el diseño se encuentra en un rango considerablemente lejano, si se desea se podría proponer un diseño estructural más óptimo para aumentar el desempeño.

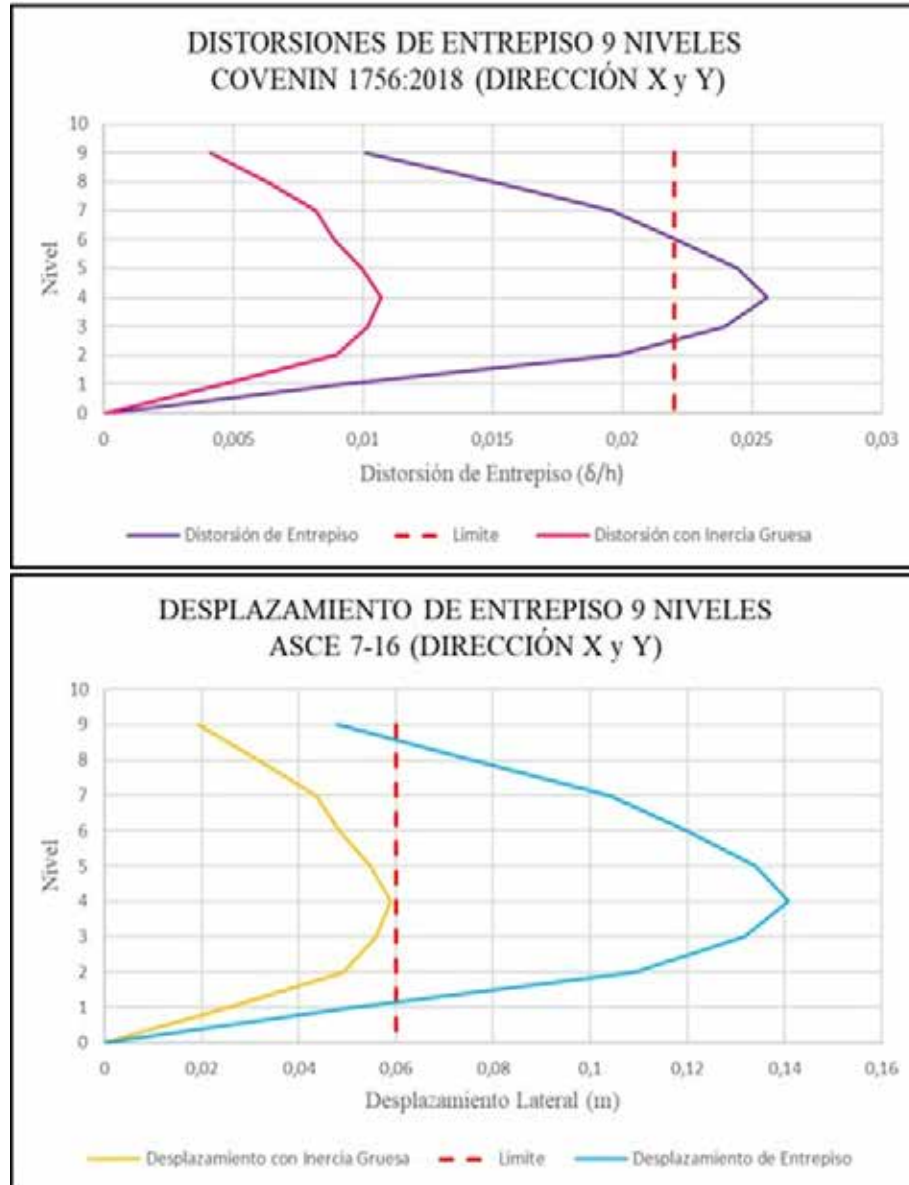
Gráfica 43. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2001 y ASCE 7-16, Edificio de 6 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 43**, se aprecian los resultados a través de porcentajes, representando los valores que alcanzan las máximas derivas laterales de la estructura en estudio, con respecto al límite permitido por cada norma para el caso de edificios de 9 niveles. Para el caso de la Norma COVENIN 1756:2001 el mayor valor de deriva lateral se encuentra a un 58% del límite establecido. Por el contrario, la ASCE 7-16 el nivel que responde a un desplazamiento mayor se encuentra casi al límite encontrándose a un 2% del mismo. En el último caso la estructura se encuentra a su máxima capacidad, si se desea se podría proponer un nuevo dimensionado de los elementos estructurales, sin embargo, se encuentra en capacidad de resistir acciones sísmicas y cumplir con el comportamiento esperado.

Gráfica 44. Distorsiones y Desplazamientos de Entrepiso Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).



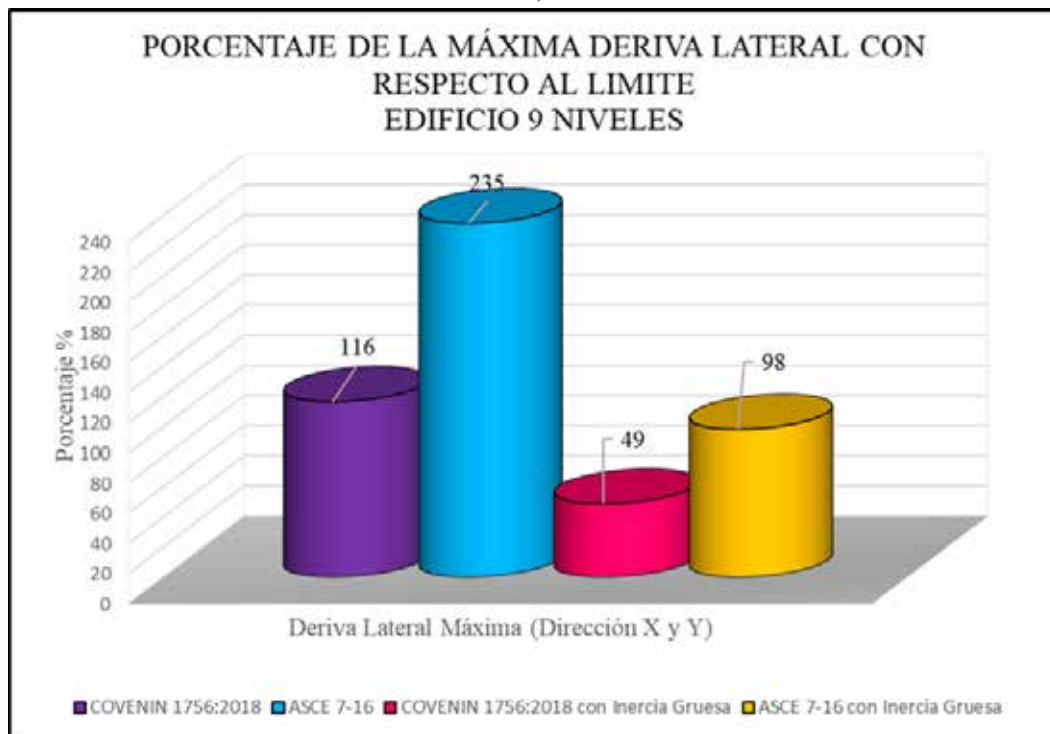
Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 44**, se evidencian las distorsiones y los desplazamientos de entrepiso que experimenta la edificación de 9 niveles para las normas COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, bajo la influencia de un período de tiempo T_a . Para el caso de estudio donde se toma en cuenta la inercia gruesa, se cumple con los límites

establecidos en el análisis de ambas direcciones (X y Y), se evidencia que la COVENIN 1756:2018 tiene un amplio rango de distancia hasta el límite que establece la norma, a diferencia de la ASCE 7-16 que prácticamente alcanza el límite de la misma, esto podría causar ante la acción sísmica daños significativos en la estructura, a pesar de ellos se encuentra en capacidad de soportar las acciones sísmicas.

Por el contrario, el caso donde se consideran los momentos de inercia de secciones agrietadas, se evidencia que ambas normas sobrepasan considerablemente los límites establecidos, esto quiere decir que la estructura no cumple con la demanda sísmica requerida, pudiendo experimentar graves daños, es por ello que se debe proponer un nuevo dimensionado de los elementos estructurales.

Gráfica 45. Porcentaje de máxima deriva lateral con respecto al límite normativo en la Norma COVENIN 1756:2018 y ASCE 7-16, Edificio de 9 Niveles (Dirección X y Y).



Fuente: Dias S. y Valera C. (2020)

En la **Gráfica 45**, se observan los resultados obtenidos a través de porcentajes, de manera que se representan los valores que alcanzan las máximas derivas laterales de la estructura en estudio, con respecto al límite permitido por cada norma para el caso de edificios de 9 niveles. En el caso donde se considera la inercia gruesa, se observa que en la COVENIN 1756:2018 en su mayor desplazamiento se encuentra a un 51% del límite que establece dicha norma y la ASCE 7-16 a un 2%. Por el contrario, en el análisis donde se toman en cuenta los momentos de inercia de secciones agrietadas, el nivel que responde a un desplazamiento mayor de la COVENIN 1756:2018, se ubica en un 16% por encima del límite permisible, mientras que la ASCE 7-16 se ubica a un 135% de exceso de lo implementado por la norma. Esto permite establecer que la estructura no es apta para soportar acciones sísmicas y se debe proponer un nuevo dimensionado de los elementos estructurales.

CONCLUSIONES

- Comparando el contenido teórico y los factores que intervienen para realizar el análisis sísmico estático de cada una de las normas en estudio, se evidenciaron diferencias y semejanzas en cuanto a las nomenclaturas empleadas por cada normativa. Igualmente, se aprecia con los parámetros y métodos de análisis sísmico, que se evalúan considerando ciertas particularidades según cada norma, a pesar de esto, se observa que los códigos analizados tienen la misma esencia, ya que su propósito primordial radica en cumplir objetivos de desempeño óptimo ante acciones sísmicas, permitiendo garantizar en todo momento la seguridad de las estructuras y la sociedad. Lo anteriormente expuesto se aprecia en el Capítulo IV, Cuadros 1 al 18 de la presente investigación.

- Al evaluar los aspectos a considerar en un análisis sísmico para la COVENIN 1756:2001 con la ASCE-16, son muy pocas las similitudes que existen entre ambas, esto se debe a que la norma venezolana vigente, si se toma en consideración como se han actualizado los diferentes códigos internacionales con base en las nuevas investigaciones, como por ejemplo las del factor de reducción de respuesta, las del comportamiento y respuesta del suelo ante acciones sísmicas y su influencia en las estructuras, se puede evidenciar que sus filosofías, metodologías y criterios, no incorporan estos avances e investigaciones que si fueron tomadas en cuenta en el código ASCE 7-16. Por su parte, la propuesta de COVENIN 1756:2018 basa su filosofía general en la ASCE 7-16, es por ello que se logra evidenciar similitudes entre ambas normas, ya que la misma considera dichos avances y otros aspectos adicionales de las nuevas investigaciones con referencia al análisis sismorresistente.

- La caracterización de la peligrosidad sísmica a nivel de suelos, así como la incorporación de diferentes condiciones del subsuelo, se ha modificado múltiples veces a lo largo de las últimas décadas. El esquema adoptado por la norma COVENIN 1756:2001, de una zonificación basada exclusivamente en la aceleración

máxima del terreno, no resulta ser la más representativa de la peligrosidad sísmica con fines de diseño estructural. A diferencia de la COVENIN 1756:2018 y la ASCE 7-16, en donde se consideran parámetros de amenaza sísmica, mediante los cuales se pueden cuantificar aceleraciones espectrales en una clase de sitio referencial para períodos medios de retorno.

- En términos generales la estrategia de diseño de las normas en estudio se consideran similares, además de la adecuación de cómo se caracterizan los grandes sistemas estructurales reconocidos. Tanto en ambas normas venezolanas como en la americana, el nivel de desagregación de sistemas estructurales es detallado. Por su parte, los “Niveles de Diseño” establecidos tanto en la COVENIN 1756:2001 como en la COVENIN 1756:2018, persiguen funciones similares a los de los “Sistemas Resistentes al Momento” de la ASCE 7-16. Se destaca también, que las penalizaciones en caso de irregularidades estructurales está bien resuelta en todas las normas en estudio.

- La comprensión y análisis reflejados en los cuadros comparativos del presente trabajo de grado, permitió la realización de diagramas de flujo (encontrados en la fase II). Esto fue un instrumento que permitió generalizar procedimientos ordenados y sencillos, cuya finalidad principal era llevar a cabo la obtención de parámetros sísmicos, construcción de espectros de diseño de aceleraciones, la realización de un análisis sísmico estático, y verificaciones de comportamiento según las condiciones establecidas por cada normativa.

- En la Norma ASCE 7-16 la obtención de los espectros de respuesta elástica ha sido resuelta en forma conservadora e incorpora los efectos desfavorables de los grandes sismos, así como los de sismos cercanos al sitio de interés. Es por esto, que se han considerado acciones del terreno asociados a períodos medios de retorno de 2500 años. A diferencia de las normas venezolanas, en donde se evalúa los efectos bajo un período de retorno de 475 años lo cual es considerado como un riesgo aceptable.

- Al analizar el comportamiento de los espectros de respuesta elástica, se observó que la ASCE 7-16 presenta una mayor amplitud en la zona de aceleración constante para las diferentes condiciones evaluadas en cada comparación, esto se debe a que los rangos de períodos de tiempo en los que ocurre este comportamiento son mayores.
- La respuesta espectral que se obtuvo para las diferentes condiciones evaluadas, permitió evidenciar que las normas venezolanas, experimentan demandas sísmicas más exigentes durante los primeros segundos. Estando la COVENIN 1756:2001 entre 0 y 0.5sg, y la COVENIN 1756:2018 entre 0 y 0.9sg, sin embargo, la ASCE 7-16 exige una demanda sísmica mayor durante un período de tiempo más largo que ambas normas COVENIN 1756. Además se aprecia que para suelos blandos, la ASCE 7-16 se ve influenciada bajo demandas sísmicas más exigentes durante todo el comportamiento del espectro. Así como también, se observó que las mayores amplitudes y respuestas se obtuvieron específicamente con ese tipo de suelo.
- El comportamiento de la respuesta espectral en las edificaciones en estudio, se vio mayormente influenciado por la ASCE 7-16, esto se debe a causa de la gran amplitud de la zona de aceleraciones constantes que manejan la máxima demanda sísmica posible para los casos de edificaciones de 3, 6 y 9 niveles; de manera que se lograron obtener diseños más conservadores. Por el contrario, en la COVENIN 1756:2018, se evidenció la máxima demanda sísmica posible en edificaciones de baja altura (3 niveles) mientras que para las edificaciones de 6 y 9 niveles las demandas fueron menos exigentes, obtenido así diseños muchos más costosos para edificios de baja altura.
- En los resultados de corte basal se puede observar que la norma ASCE 7-16, fue la más exigente a pesar de haber sido la COVENIN 1756:2018 la que generó mayores resultados en el edificio de 3 niveles. Asimismo, se evidenció que con respecto a la COVENIN 1756:2001, la dispersión entre los edificios de 3 y 9 niveles es bastante considerable y se encontró alrededor del 28% y 68% de diferencia. Mientras que para el edificio de 6 niveles la dispersión no fue muy elevada, alcanzando un 9% de

diferencia. Por otro lado, con respecto a la COVENIN 1756:2018 los valores de dispersión aumentaron para los edificios de 3 y 6 niveles, obteniendo valores entre el 38% y 11% de diferencia respectivamente, así como para el edificio de 9 niveles, en donde la dispersión se encontró alrededor del 50%.

- En cuanto a la distribución de fuerzas laterales, se observó que las normas mantienen un comportamiento lineal en todos los casos, sin embargo, las normas venezolanas agregan una fuerza tope en el último nivel en estudio.

- Sobre las distorsiones de entrepiso, se observa que la ASCE 7-16 maneja un método diferente con respecto a su cálculo, ya que se toma el desplazamiento por piso con referencia al centro de masa, aun así, se observó que los límites admisibles se encuentran muy cercanos entre sí. A pesar de ello, se evidenció que la norma más exigente es la COVENIN 1756:2018, ya que obtiene valores de límites de derivas inferiores a la norma americana.

- En la COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018 se consideran valores límites de relación de deriva lateral total, este valor depende del tipo y disposición de los elementos no estructurales. A diferencia de la ASCE 7-16 en donde su límite máximo de deriva, se determina según el tipo de estructura y su categoría de riesgo.

- Al aplicar los momentos de inercia de secciones agrietadas a los elementos estructurales de las edificaciones en el caso de la COVENIN 1756:2018 y la ASCE 7-16, se observó que las demandas ante las acciones sísmicas son mucho mayores que cuando se realiza el estudio con el área completa de sección gruesa, esto se debe a que se considera que en la edificación predomina el comportamiento flexible de la misma, asumiendo que se encuentra en situación de cedencia del acero de refuerzo. Esto permite obtener resultados que exijan la reconsideración de un nuevo dimensionado de la estructura, ya que las mismas no cumplen con la capacidad de resistir y mantener el comportamiento esperado ante las acciones sísmicas.

RECOMENDACIONES

- Establecer responsabilidades, es importante que todos los usuarios de cualquiera de las normas, encuentre claramente definidas las responsabilidades que asume en la toma de decisiones. Se debería proponer que en casos de duda, se establezca en memorias de cálculo el sustento de las decisiones que se tomen.
- Llevar a cabo un análisis comparativo entre las normas en estudio, donde se considere la existencia de irregularidades estructurales en planta o elevación.
- Realizar un estudio para las distintas metodologías de análisis sísmico, donde se tomen en cuenta los momentos torsores y los comportamientos dinámicos de las estructuras. Con la finalidad de establecer un amplio rango de comparación entre ambas normas venezolanas con la norma americana, de manera que se permita evidencien fortalezas y debilidades de cada una respectivamente.
- Establecer comparaciones directas entre la COVENIN 1756:2001 y la COVENIN 1756:2018, de manera que se pueda apreciar los cambios que se proponen ante la actualización de la norma venezolana, permitiendo evidenciar si los mismos son lo suficientemente favorables ante las consideraciones sismorresistentes que actualmente se aplican a las edificaciones con la norma en vigencia, ya que sus filosofías y metodologías de diseño se consideran obsoletas.
- Emplear el uso del Período de Rayleigh y establecer comparación con los resultados obtenidos con el Período Estimado para el estudio de los espectros.
- Extender el estudio del comportamiento de los elementos estructurales cuando se aplican los momentos de secciones agrietadas.
- Automatizar procesos para la obtención de los espectros, empleando un software que permita que se generen de manera interactiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Impresas

- Arcay, M. y Suárez, V. (2019). **“Análisis comparativo del comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado, aplicando el método de análisis estático según la norma COVENIN 1756:2001 y otras normas internacionales”** (Tesis de Grado). Universidad José Antonio Páez, Venezuela.
- Arias, F. (2006). **“El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (5ta ed.)”**. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias. (2012). **“El Proyecto de Investigación”**. (Guía para su elaboración) 6ta Edición. Editorial Episteme. Caracas.
- Bazán, E. y Meli, R. (2002). **“Diseño Sísmico de Edificios”**. Editorial Limusa, México.
- Cámara, L. y Sánchez, M. (2012). **“Comparación de la norma venezolana COVENIN 1756:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” con la norma chilena oficial NCh433.Of96 mod. 2009 “Diseño Sísmico de Edificios” y su propuesta de norma técnica de emergencia”** Universidad Central de Venezuela.
- Hernández R., Fernández C., Baptista P. (2014). **“Metodología de la Investigación (6ta ed.)”**. México DF, México: McGraw Hill Education.
- Norma ASCE 7. (2016). **“Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras”**. Estados Unidos.
- Norma COVENIN 1756. (2001). **“Edificaciones Sismorresistentes”** Venezuela.
- Norma COVENIN 1756. (2018). **“Edificaciones Sismorresistentes”** Venezuela.
- Pérez. (2009). **“Guía Metodológica para Anteproyectos de Investigación”** (3ra Edición). Caracas: FEDUPEL.
- Ramírez, T. (1999). **“Cómo hacer un proyecto de investigación”**. Caracas. Editorial Panapo.
- Sabino, C. (1996). **“El Proceso de investigación”** Editorial. Panapo, Caracas.
- Tirado M. y Zeguen G. (2007). **“Evolución de las normas venezolanas de edificaciones sismorresistentes y su comparación con la norma americana UBC”** (Tesis de Grado). Universidad de Oriente, Venezuela.
- UNA. (1995). Curso de Metodología de la Investigación, Prof. Alejandro Pocaterra.

Electrónicas

- Espíndola V., Pérez X. (s/f). “**¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden?**” Recuperado de: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/imagenes/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf.
- Government of Gujarat, Gujarat State Disaster Management Authority. (2012) “**Earthquake Behaviour of buildings**”. Recuperado de: http://www.iitk.ac.in/nicee/IITK-GSDMA/EBB_001_30May2013.pdf Earthquake.
- Ondas Sísmicas. (s/f). “**Definición, Tipos, Propagación y Mucho Más**”. Recuperado de: <http://misistemasolar.com/ondas-sismicas/>.
- Potter, S. (s/f). “**Educación en Valores**” Recuperado de: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/multidisciplinarias/educacion-en-valores/v1n27/art09.pdf>.
- Rodríguez M. (s/f) “**La Tectónica de placas**”. Recuperado de: <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena4/imagenes4/quincena4.pdf>.
- Tamayo y Tamayo. (2003). “**El Proceso de la Investigación Científica**”. 4ta Edición. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/12235974/Tamayo-y-Tamayo-Mario-El-Proceso-de-la-Investigacion-Cientifica>.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador U.P.E.L (2006). “**Manual de Trabajo de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales**”. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/59482717/UPEL-Manual-de-Trabajos-de-Grado-de-Especializacion-y-Maestria-y-Tesis-Doctorales>.