

Análisis de una estructura regular aporricada de concreto armado basada en la norma COVENIN 1756:2001 y en el proyecto de norma COVENIN 1756:2018¹

Analysis of a concrete regular-framed structure based on COVENIN 1756:2001 code and the COVENIN 1756:2018 code project

Juan Fernando Matos

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: juanmatosmora@gmail.com

José Manuel Vergara

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: vergaradelgadojm@gmail.com

Jesús Medina

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: jesus.medina.60441@uru.edu

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 04-04-2022

Resumen

El objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento sismorresistente de edificaciones de concreto armado en Maracaibo bajo suelos de roca blanda o dura, diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001 y bajo el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018 con el propósito de evaluar la respuesta sísmica de las edificaciones según las metodologías de diseño. La investigación es de tipo descriptiva, ya que se determinó el comportamiento ante las acciones sísmicas a través del software ETABS. Además, se manejó un diseño no experimental donde no se manipularon las variables en estudio. Los resultados demostraron cómo las edificaciones realizadas según el proyecto de Norma COVENIN 1756:2001 generan respuestas promedio superiores en 54% en cortantes basales máximos, 42% en pesos sísmicos, 58% en aceleraciones espectrales y mayores derivas. Así, se destaca una gran disminución del coeficiente de aceleración horizontal para Maracaibo y se ausenta la rama horizontal de aceleraciones constantes.

Palabras clave: Sismorresistencia, COVENIN 1756:2018, concreto armado, estructura regular.

Abstract

The objective of this research is to analyze the seismic-resistant behavior of reinforced concrete buildings in Maracaibo under soft or hard rock soils, designed under the COVENIN 1756:2001 Code and under the COVENIN 1756:2018 Code Project with the purpose of evaluating the seismic response of buildings according to design methodologies. The research is descriptive, since the behavior before seismic actions was determined through the ETABS software. In addition, a non-experimental design was handled where the variables under study were not manipulated. The results showed how the buildings made according to the COVENIN 1756:2001 code generate average responses higher by 54% in maximum basal shear, 42% in seismic weights, 58% in spectral accelerations and greater drifts. Thus, it stands out a decrease in the horizontal acceleration coefficient for Maracaibo and the horizontal branch of constant accelerations is absent.

Key words: Seismic-resistance, COVENIN 1756:2018, reinforced concrete, regular structure

Introducción

El 29 de julio de 1967 ocurrió en Caracas un sismo que marcaría un antes y un después en la historia de las normativas sismorresistentes venezolanas. Fue a partir de este evento, que se empezó realizar una actualización de la normativa sismorresistente de manera preventiva, previa a los desastres sísmicos y no posteriores a ellos como se venían realizando.

Posterior al sismo de Caracas de 1967 fue creada la norma provisional MOP de 1967 y esta, en 1982, dio pie a la vigente COVENIN 1756 “Edificaciones Sismorresistentes”. Debido a la imposibilidad de predecir la ocurrencia de los sismos, nuestro único mecanismo de defensa ante los mismos es construir edificaciones que sean capaces de resistir acciones sísmicas, y de esta forma evitar pérdidas materiales y sobre todo humanas, es por ello que se enfatiza la importancia de que estas normativas reciban una constante actualización.

Por lo tanto, se encuentra pertinente y de alto interés en el campo de la ingeniería civil, pues permite efectuar un estudio comparativo sobre las diferencias en la incidencia sísmica presentes en las edificaciones diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1] y el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

Para cumplir con ello, en la presente investigación fueron diseñadas tres edificaciones de 10, 12 y 14 pisos y ubicadas dentro de la zona de estudio, siendo la ciudad de Maracaibo. Estas edificaciones fueron analizadas mediante el software CSI ETABS bajo las metodologías establecidas por las normativas anteriormente mencionadas y posteriormente comparadas para así determinar su exigencia sísmica.

Para lograr el estudio es necesario precisar teóricamente algunos aspectos importantes, tales como los siguientes:

Combinación de acciones. La totalidad de las acciones que debe resistir y transmitir una estructura no actúan sobre en conjunto en un mismo instante, estas pueden o no producirse en distintas etapas de su vida útil. Debido a esto, cuando se estudia la incidencia de cargas sobre una edificación se debe analizar distintas combinaciones de acciones para así encontrar su envolvente de diseño, la cual comprende las solicitaciones que produzcan los efectos más desfavorables sobre los componentes de la estructura. La Norma COVENIN 1753:2006[3] establece las siguientes combinaciones mínimas para el análisis y diseño de estructuras en concreto armado para el estado límite de agotamiento resistente:

$$U = 1.4 (CP + CF) \tag{1}$$

$$U = 1.2 (CP + CF + CT) + 1.6 (CV + CE) + 0.5 CVt \tag{2}$$

$$U = 1.2 CP + 1.6 CD V_i + ({}^3 CV \text{ ó } \pm 0.8 W) \tag{3}$$

$$U = 1.2 CP \pm 1.6 W + {}^3 CV + 0.5 CV t \tag{4}$$

$$U = 1.2 CP + {}^3 CV \pm S \tag{5}$$

$$U = 0.9 CP \pm 1.6 W \tag{6}$$

$$U = 0.9 CP \pm S \tag{7}$$

$$U = 0.9 CP \pm 1.6 CE \tag{8}$$

El factor de combinación de solicitaciones debidas a las acciones variables en las ecuaciones 3 a 5 será 1,00, excepto en pisos y terrazas de edificaciones destinadas a vivienda en que se tomará como 0,50.

Espectro de diseño según COVENIN 1756:2001[1]: La norma 1756:2001[1] permite construir una gráfica de la máxima respuesta de un grupo de osciladores de un grado de libertad, a un movimiento del suelo determinado en función del período de los osciladores. Así, la norma presenta espectros de respuesta tipificados para cuatro tipos de perfiles de suelo y se calculan las ordenadas de los espectros de diseño en función del período fundamental T de la estructura.

Para realizar los espectros de diseño en rangos elásticos e inelástico, se puede utilizar el factor de reducción de respuesta $R > 1$.

$$T < T^+ \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o \left[1 + \frac{T}{T^+} \right] (\hat{a} - 1)}{1 + \left(\frac{T}{T^+} \right)^c (R - 1)} \quad (9)$$

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o}{R} \quad (10)$$

$$T > T^* \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o}{R} \left(\frac{T^*}{T} \right)^p \quad (11)$$

Dónde:

A_d : Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad.

A : Factor de importancia.

A_o : Coeficiente de aceleración horizontal.

Φ : Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

B : Factor de magnificación promedio.

T : Es el periodo fundamental de la edificación (seg.)

T_o : $0.25T^*$ Período a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg.).

T^* : Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (seg.).

$T^+ \geq T_o$ Período característico de variación de respuesta dúctil (seg.).

$$C = \sqrt[4]{\frac{R}{\beta}}$$

R : Factor de reducción de respuesta.

p : Exponente que define la rama descendente del espectro.

Los valores de T^* , β y p se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de T^* , β y p [2]

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

A continuación, se muestra la gráfica del espectro de respuesta elástica, utilizando un factor de reducción igual a 1.

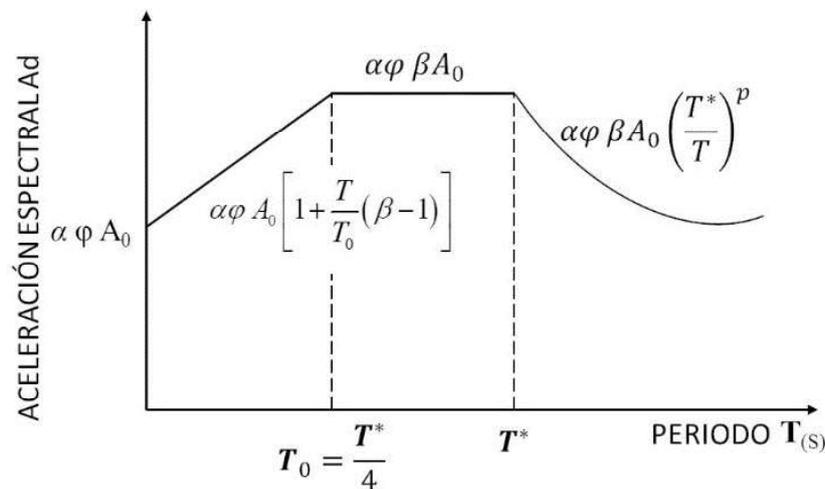


Figura 1. Espectro de respuesta elástica (R=1)[1]

Espectro de diseño según Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2]: A continuación, se exponen las ecuaciones para el diseño del espectro de respuesta inelástica de cinco ramas correspondiente para el sismo de diseño, según lo especificado en el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2] se tiene:

$$A_d(T) = \dot{A}F_1 A_A / 1,5 \quad T \leq T_A \quad (12)$$

$$A_d(T) = \dot{A}F_1 A_A \left[\frac{1}{1,5} + \left(\frac{2^*}{R} - \frac{1}{1,5} \right) \left(\frac{T - T_A}{T^+ - T_A} \right) \right] \quad T_A \leq T \leq T^+ \quad (13)$$

$$A_d(T) = \dot{A}F_1 \frac{2^* A_A}{R} \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T^+ \leq T \leq T_C \quad (14)$$

$$A_d(T) = \dot{A}F_1 \frac{2^* A_A}{R} \left(\frac{T_C}{T_D} \right) \left(\frac{T_D}{T} \right)^q \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (15)$$

Donde:

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

R: Es el Factor de Reducción de Respuesta

AA, TA, TC, TD, β^* y q están definidos anteriormente

T+: Es el periodo característico.

ρ : Es el Factor de Redundancia.

FI: Es el Factor de Irregularidad.

Tabla 2. Valores del periodo característico T+ [2]

R	T ⁺
R < 5	0,1 (R-1)
R ≥ 5	0,4

El valor de T⁺ está acotado según la siguiente fórmula:

$$0,25 T_C \leq T^+ \leq T_C \quad (16)$$

Cortante basal: Se define por la Norma COVENIN 2004[4, Pág.13] como “la fuerza cortante horizontal originada por las acciones sísmicas en el nivel de base”.

Se determina a través de la siguiente ecuación:

$$V_o = i A_d W \quad (17)$$

Dónde:

A_d : Ordenada del espectro de respuesta inelástica o de diseño [1] para el periodo T.

W: Peso sísmico total del edificio por encima del nivel base.

μ : Es el mayor de los valores dados por:

En el Proyecto COVENIN 1756:2018[2]:

$$i = 1.4 \left[\frac{N+9}{2N+12} \right] \quad (18)$$

$$i = 0.80 + \frac{1}{20} \left[\frac{T}{T_c} - 1 \right] \quad (19)$$

En la Norma COVENIN 1756:2001[1]:

$$i = 1.4 \left[\frac{N+9}{2N+12} \right] \quad (20)$$

$$i = 0.80 + \frac{1}{20} \left[\frac{T}{T^*} - 1 \right] \quad (21)$$

Dónde:

N: Número de niveles.

T: Periodo fundamental.

T*: Periodo máximo.

Tc: Período característico del espectro

Control de los desplazamientos

Está definida como el desplazamiento lateral total Δ_i del nivel i y se calcula como:

$$\ddot{A}_i = 0.8R\ddot{A}_{ei} \quad (22)$$

Siendo:

R: Factor de reducción de respuesta.

Δ_{ei} : desplazamiento lateral del nivel i, calculado para las fuerzas de diseño en rango elástico, incluyendo efectos traslacionales, P- Δ , y de torsión en planta.

Se conoce como deriva δ_i a la diferencia de los desplazamientos laterales totales en dos niveles consecutivos i.

$$\delta_i = \ddot{A}_i - \ddot{A}_{i-1} \quad (23)$$

Metodología

La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que se logró determinar, describir y analizar el comportamiento de estructuras aporticadas de distintas alturas al ser estudiadas bajo el Proyecto de Norma sismorresistente COVENIN 1756:2018[2] y la normativa sismorresistente precedente 1756:2001[1], fundamentándose de esta forma en fuentes documentales, audiovisuales y electrónicas, con las cuales se analizará e interpretarán los distintos factores y variables que inciden en el tema de estudio.

Para esta investigación fue definida como unidad de análisis la respuesta sísmica de las edificaciones y la como unidad informante fue escogida la normativa sismorresistente venezolana con la finalidad de definir

las diferencias en el comportamiento de una edificación con diseño sismorresistente bajo la norma COVENIN 1756:2001[1] frente a una con diseño sismorresistente bajo el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

Asimismo, se atendió a un procedimiento metodológico que siguiendo a Sabino [5] nos plantea que las fases de la investigación permiten aclarar las formas que adoptara el diseño de la investigación, definiendo las operaciones concretas que se llevaran a cabo. Con base en lo anteriormente expuesto, para la presente investigación se definieron las fases:

Fase I: Comparación de nomenclaturas, parámetros sísmicos y dimensiones utilizadas.

Consiste en recopilar la información necesaria a través de los instrumentos metodológicos de tipo documental, impresos y digitales relacionados con los análisis sísmicos. Igualmente, se procedió a inspeccionar y analizar las normativas en estudio para lograr definir los aspectos resaltantes, cambios significativos, diferencias en nomenclaturas y parámetros sísmicos.

Fase II: Establecimiento de procedimientos para la obtención de espectros de diseño sísmico.

En esta etapa se llevó a cabo la elaboración de diagramas de flujo como representación gráfica de los pasos a seguir como procedimiento para la realización de los Espectros de Diseño establecidos en las normativas venezolanas.

Fase III: Elaboración de análisis comparativo de espectros de diseño sísmico propuestos por las normativas COVENIN 1756:2001[1] y 1756:2018[2].

Consiste en la construcción de los espectros de diseño sísmico según lo sugerido en cada una de las normativas venezolanas, variando el tipo de suelo y grupo de uso en cada caso. Posteriormente, se graficó cada uno de los espectros

Fase IV: Análisis de cuadros y gráficos comparativos de la respuesta sísmica en edificaciones de concreto armado.

En esta etapa se presenta el modelado de las estructuras en concreto armado necesario para aplicar la posterior metodología de análisis sísmico en las edificaciones según cada una de las normativas evaluadas.

Análisis de resultados

El análisis de los resultados estuvo basado en evaluar la demanda sísmica de las edificaciones aplicando la Norma COVENIN 1756:2001[1] y el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

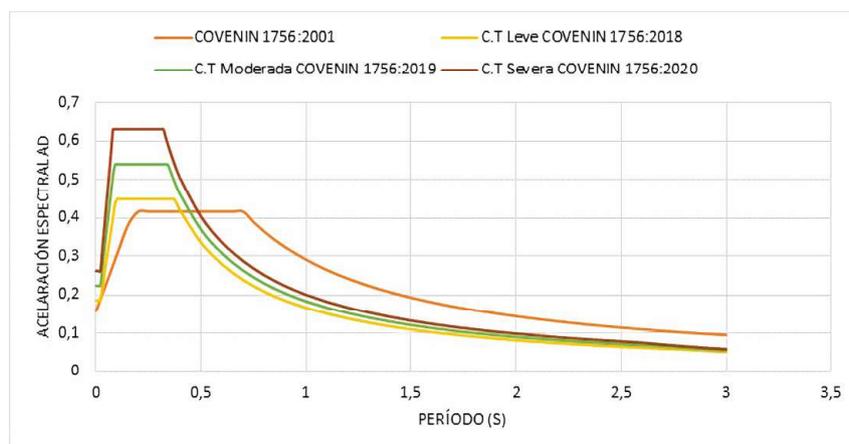


Figura 2. Espectro superpuesto de respuesta elástica- S2 con C

En la Figura 2 se comparó la respuesta sísmica para el tipo de suelo roca blanda o meteorizada, presente en la norma COVENIN 1756:2001[1] como forma espectral S2 y su respectiva nomenclatura en COVENIN 1756:2018[2] siendo esta la clase de sitio C. Se presenta una mayor exigencia sísmica por parte de la propuesta de 2018, no obstante, se destaca la elevada importancia de la condición topográfica para la nueva normativa, ya

que, a través de ella, el espectro de respuesta presenta variaciones significativas, siendo la condición severa la más exigente con aceleraciones espectrales de 0.63 m/s² superiores a la condición topográfica menos exigente, la topografía caracterizada como leve, la cual presenta aceleraciones máximas de 0.45m/s².

De igual forma, es importante resaltar como a partir del periodo 0.5s la Norma COVENIN 1756:2001[1] presenta una mayor exigencia que los tres casos posibles de topografías leve, moderada y severa con el nuevo Proyecto de Norma. Asimismo, la zona de aceleraciones máximas del espectro posee mayores duraciones en aquel construido bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1]

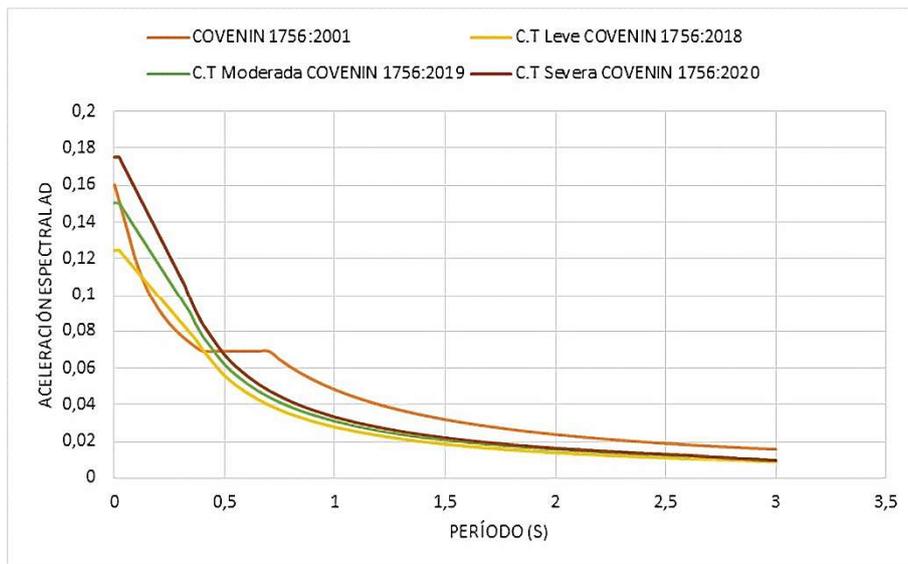


Figura 3. Espectro superpuesto de diseño - S2 con C

En la Figura 3 se aprecia una respuesta sísmica similar para la forma espectral S2 de COVENIN 1756:2001[1] con clase de sitio C para COVENIN 1756:2018[2], asimismo, la variación presentada por la condición topográfica es mínima a partir del periodo 0.4s para la nueva normativa. A partir de la figura 3, se resalta como la variación de la topografía, al igual que en el espectro de respuesta elástico, es capaz de demarcar una diferencia en las exigencias del sismo dentro de los primeros 0.5s, sin embargo, aunque los periodos fundamentales estimados calculados en ambas normativas son equivalentes, al observar la gráfica se evidencian aceleraciones mayores en la Normativa COVENIN 1756:2001[1].

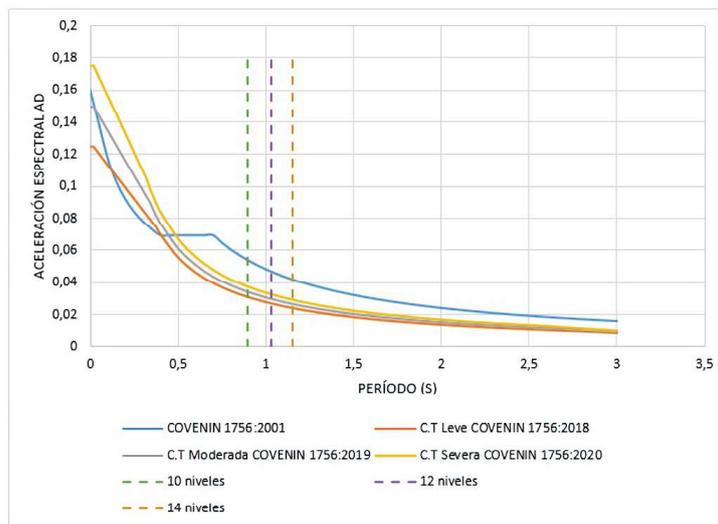


Figura 4. Periodos fundamentales estimados sobre espectros de diseño S2 con clase de sitio C

Es importante resaltar de igual manera los resultados de la Figura 4, en la cual se presentan los periodos fundamentales estimados de las edificaciones. De esta manera, se demostró como en el caso de edificaciones de menores niveles que posean periodos importantes estimados inferiores a 0.5s en Maracaibo, en suelos con clase de sitio C representarían resultados más conservadores que los obtenidos según la norma vigente en el tipo de suelo S2.

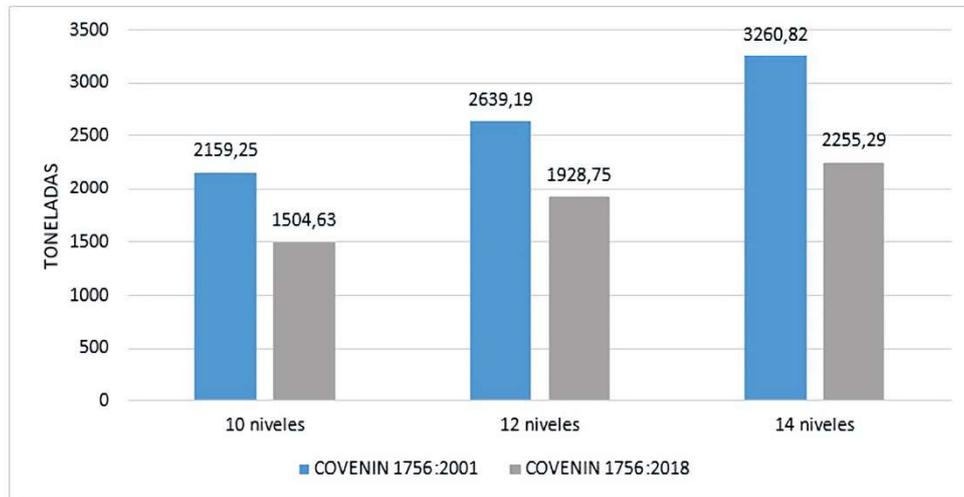


Figura 5. Peso sísmico en estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

Se apreció como el peso sísmico de las edificaciones en todos los análisis realizados fue mayor en un promedio de 54% con la utilización de la normativa COVENIN 1756:2001[1], abarcando valores desde 1.504ton hasta 2255ton en la normativa propuesta y desde 2.159ton hasta 3.260ton en la normativa vigente. Así se reflejan mayores exigencias sísmicas a las edificaciones diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1].

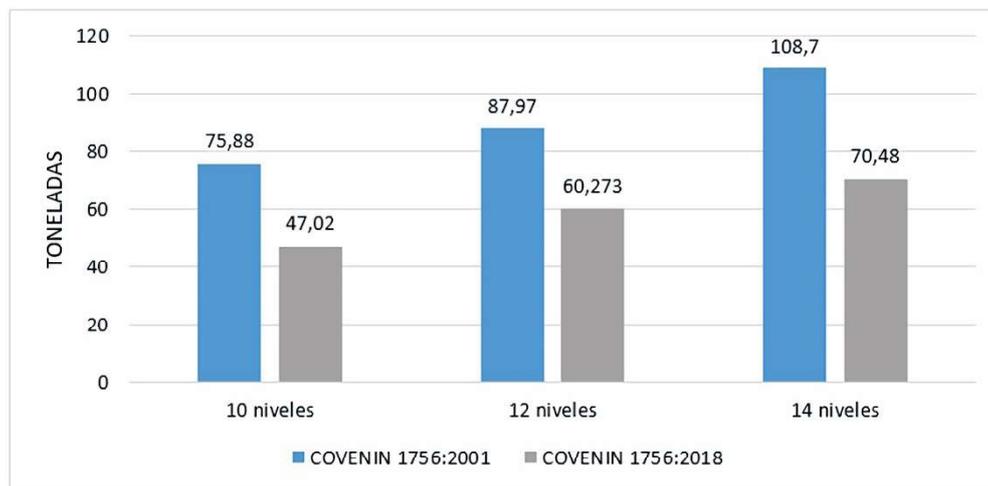


Figura 6. Cortes basales en estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

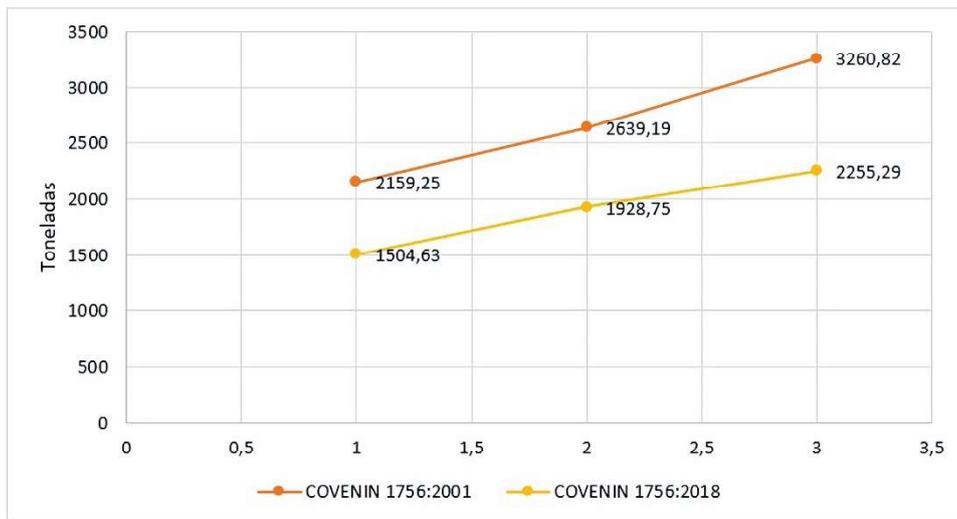


Figura 7 Peso Sísmico por edificación según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

De igual manera que el peso sísmico, en la Figura 7, se mostró como el corte basal de las edificaciones, en la Figura 6, en todos los análisis realizados fue mayor con la utilización de la normativa COVENIN 1756:2001[1] en un promedio del 54%. Igualmente, se observó una tendencia constante de aumento de cortantes que refleja variaciones similares con las edificaciones. De este modo, el parámetro del diseño sismorresistente de las edificaciones demuestra resultados más conservadores en la norma vigente a la fecha.

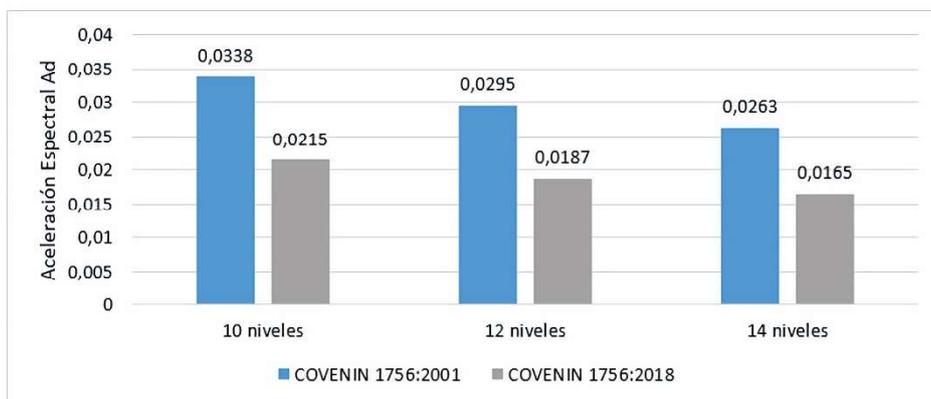


Figura 8. Aceleraciones espectrales en las estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

Para establecer los valores de las aceleraciones espectrales se siguieron los procedimientos específicos de cada normativa, correspondiente al valor de la ordenada a $1,6T_a$ en COVENIN 1756:2018[2] y σT_a , equivalente a $1,55T_a$ para los casos estudiados en la Propuesta de Norma COVENIN 1756:2018[2]. En consecuencia, se graficaron los resultados ilustrados en la Figura 8. De esta manera, se evidenció los valores de la Norma COVENIN 1756:2001[1] son superiores. De tal forma, se presenta un porcentaje promedio superior en un 59%, esto es causado por la influencia de la disminución del coeficiente de aceleración horizontal de Maracaibo que generan valores menos exigentes.

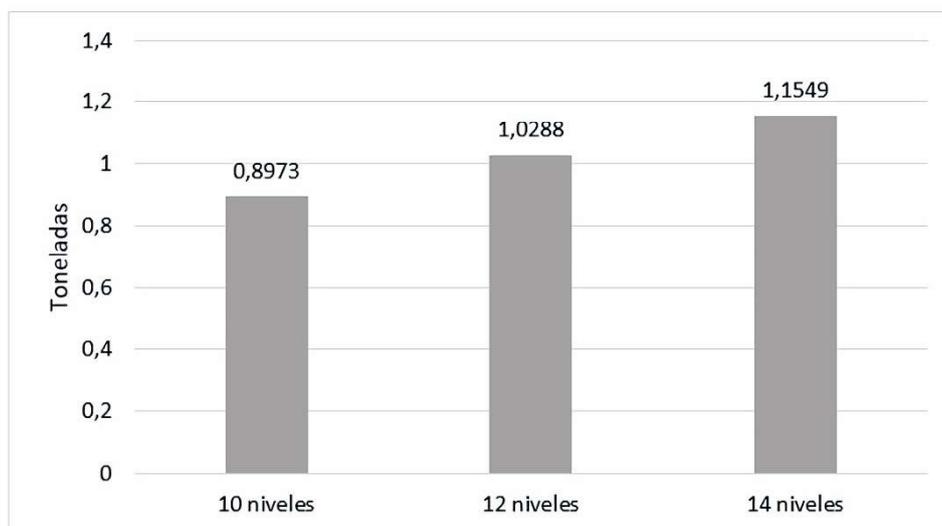


Figura 9. Período fundamental estimado según el número de niveles de las estructuras

El período fundamental y los modos de vibración de una estructura de una edificación son definidos por su masa, rigidez y los elementos que la conforman, es uno de los parámetros claves a comparable e influentes en el diseño sismorresistente de un edificio. Mientras más alto sea el mismo, su valor será mayor. De ese mismo modo, ha sido ilustrado en los resultados de la Figura 9.

Conclusiones

- Respecto al primer objetivo, se concluyó que dicha normativa vigente presenta ciertas singularidades importantes. Los datos presentados en la tabla 5.1 de la normativa vigente referenciada a la selección de la forma espectral, representa valores generales, con función de orientar al usuario y no deben sustituirse a la realización de ensayos sismo elásticos. Asimismo, indica un único valor de 5% del coeficiente de amortiguamiento para todas las edificaciones, el cual es recomendado disminuir en construcciones más dúctiles.
- Por otro lado, en referencia al segundo objetivo se concluye que la normativa proyectada presenta una diferencia notable en comparación con los espectros de diseño de otras normativas de la región. De tal forma, la rama horizontal de aceleraciones constantes no se evidencia en los espectros de diseño. Esta es de alta importancia en el diseño sísmico. Al mismo tiempo, el valor del coeficiente de aceleración horizontal fue disminuido, factor resaltante ante el aumento de la magnitud y frecuencia de los eventos sísmicos.
- Finalmente, al comparar el comportamiento de ambas normativas se representó una disminución en las aceleraciones, cortante basal y peso sísmico para las condiciones de las edificaciones en estudio. Sin embargo, es relevante destacar cómo la variación de la topografía según la normativa propuesta y dentro de los grupos de importancia B2 logra cambiar los resultados de los espectros inelásticos de diseño, pues dentro de los primeros 0.5s del espectro las topografías moderadas y severas reflejan aceleraciones más exigentes que pueden impactar edificaciones con períodos fundamentales menores.

Referencias bibliográficas

- [1] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-2001: Edificaciones Sismorresistentes. Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. En su reunión No. 7ª de fecha 25-07-2001. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2001).
- [2] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-1:2018. Construcciones sismorresistentes: (2da. Revisión) Comité técnico de normalización CT-3: Construcción. En Subcomité Técnico SC-10: Estructuras. En su reunión de fecha. 22-05-2019. Caracas, Venezuela. FODENORCA, (2019).

[3] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras de concreto estructural. Comité técnico de normalización CT-03: Obras Civiles, Subcomité Técnico SC-1: Edificaciones. En su reunión N° 04-06 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).

[4] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2004-1998: Terminología de las normas COVENIN-MINDUR de edificaciones. Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. En su reunión N° 11-98 de fecha 09-12-1998. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1998).

[5] Sabino, C. El proceso de la investigación. Caracas, Panapo, (2002).

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Análisis de una estructura regular aporricada de concreto armado basada en la Norma COVENIN 1756:2001 y en el proyecto de Norma COVENIN 1756:2018, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.