

Comparative Analysis of Seismic Demand in Caribbean Countries: the Case of Venezuela and Dominican Republic

Elyas Kasr Valery, Ing¹ ; Isea Garcia Maria Laura, Ing² ; Melian Sara, MSc³ 

^{1,2,3} Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela, valery.elyas@correo.unimet.edu.ve, m.isea@correo.unimet.edu.ve, smelian@unimet.edu.ve

Abstract– The purpose of this article is to evaluate the methods and criteria used to determine seismic demand according to the Venezuelan standard COVENIN 1756-1:2019 and the Dominican Republic's R-001 regulation. The aim is to identify similarities and differences in the design approach, factors of safety, and how each standard represents structural behavior under design earthquakes, given that both countries are located in the Caribbean. The study includes the identification and comparison of the seismic parameters used in constructing the response spectrum, the analysis of the criteria for calculating base shear, and the evaluation of permissible lateral drift limits, establishing the implications that each standard has on seismic demand and structural performance. The results suggest that the COVENIN 1756-1:2019 standard presents a more detailed and flexible formulation for local conditions, and more explicitly represents the inelastic behavior of structures, avoiding the overestimation of design forces. In contrast, the R-001 regulation adopts a more simplified and conservative approach, prioritizing structural safety through higher seismic demands and more restrictive drift limits. This study contributes to the comparison of standards within the regional context, strengthening the understanding of seismic design criteria among Caribbean countries.

Keywords– seismic parameters, response spectrum, base shear, resilient infrastructure, SDG 9.

Análisis Comparativo de la demanda sísmica en países del Caribe: caso Venezuela y República Dominicana

Elyas Kasr Valery, Ing¹ ; Isea Garcia Maria Laura, Ing² ; Melian Sara, MSc³ 

^{1,2,3} Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela, valery.elyas@correo.unimet.edu.ve, m.isea@correo.unimet.edu.ve, smelian@unimet.edu.ve

Resumen– El siguiente artículo tiene como finalidad evaluar los métodos y criterios utilizados para la determinación de la demanda sísmica conforme a la norma venezolana COVENIN 1756-1:2019 y al reglamento R-001 de República Dominicana, con el objeto de identificar similitudes y diferencias en el enfoque de diseño, el margen de seguridad y la forma en que cada normativa representa el comportamiento estructural ante sismos de diseño, siendo dos países del Caribe. El estudio contempla la identificación y comparación de los parámetros sísmicos empleados en la construcción del espectro de respuesta, el análisis de los criterios para el cálculo de la fuerza cortante basal y la evaluación de los límites de derivas laterales permisibles, estableciendo implicaciones que cada normativa tiene sobre la demanda sísmica y el desempeño estructural. Los resultados inclinan a entender que la norma COVENIN 1756-1:2019 presenta una formulación más detallada y flexible ante condiciones locales, además representa de manera más explícita el comportamiento inelástico de las estructuras, evitando la sobreestimación de las fuerzas de diseño. En contraste, el reglamento R-001 adopta un enfoque más simplificado y restrictivo, priorizando la seguridad estructural mediante mayores demandas sísmicas y límites de deriva más severos. El estudio contribuye a la comparación normativa en el contexto regional, fortaleciendo la comprensión de los criterios de diseño sísmico entre países del Caribe.

Palabras clave-- diseño sísmico, espectro de respuesta, fuerza cortante basal, infraestructura resiliente, ODS 9.

I. INTRODUCCIÓN

La región del Caribe se caracteriza por una elevada actividad sísmica como consecuencia de la interacción entre placas tectónicas. Venezuela se encuentra en el límite de dos placas tectónicas, la Placa Sudamericana y la del Caribe, dando lugar a un sistema de fallas asociado a su actividad sísmica [1]. Los eventos sísmicos registrados en Caracas (magnitud Richter (M_R) entre 6,1 y 6,3) en 1967 [2] y en Cariaco (magnitud de momento (M_w) 6,9) en 1997 [3], impulsaron el desarrollo de las normativas sísmicas en el país. La última revisión de esta norma fue publicada en el año 2019 titulada “Construcciones Sismorresistentes (2da. Revisión) COVENIN 1756-1:2019” [4]. Por otra parte, República Dominicana se localiza en una zona de falla asociada a la interacción entre las placas Norteamericana y del Caribe. Asimismo, según el sismólogo Eugenio Rivera, el territorio ha sido afectado por sismos de gran relevancia, entre ellos los

ocurridos en 1946 (8,1 M_w), 1979 (6,1 M_w) y 2003 (6,5 M_w) [5]. En el año 2011 se decretó el “Reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras R-001” [6].

Aunque Venezuela y República Dominicana forman parte de la región del Caribe, su comportamiento sísmico no es necesariamente equivalente, ya que responde a condiciones tectónicas y de suelo específicas de cada territorio. Si bien la predicción exacta del movimiento de las placas tectónicas no es posible, los avances científicos permiten identificar zonas de amenaza sísmica y evaluar los riesgos asociados; en este contexto, las normas sismorresistentes permiten diseñar edificios seguros y proteger vidas.

Existen distintos métodos de cálculo, sustentados con la interpretación de modelos de elementos finitos, que se utilizan para estimar la demanda sísmica actuante sobre una estructura [7].

El presente artículo desarrolla un análisis comparativo sistemático de las metodologías prescritas por las normativas de Venezuela y República Dominicana, con el fin de identificar puntos de convergencia que fortalezcan la práctica profesional regional. Este estudio busca alinearse con el Objetivo de Desarrollo Sustentable (ODS) 9, orientado a construir infraestructuras resilientes y fomentar la innovación, enfocándose en la comparación de los espectros de respuesta, el procedimiento de cálculo y corrección de la fuerza cortante basal y los desplazamientos relativos máximos permisibles de cada país. De igual forma, con fines comparativos, el análisis se restringirá a los factores y procedimientos asociados al sismo de diseño, conforme a la norma venezolana, y a su equivalente en la normativa dominicana, denominado sismo severo.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación parte de una revisión del estado del arte de cada marco normativo, centrado en la comprensión de las secciones y artículos relevantes para la estimación de la demanda sísmica, a partir de la cual es posible desarrollar un análisis comparativo a nivel teórico, centrado en los métodos de cálculo y verificaciones que emplea cada país al momento de diseñar estructuras sismorresistentes.

A. Espectro de Respuesta Elástico e Inelástico

La definición del espectro de respuesta se basa en ecuaciones que describen la aceleración sísmica. En la normativa venezolana se contemplan dos espectros: uno elástico y otro inelástico; este último incorpora, entre otros parámetros, el Factor de Reducción de Respuesta, que permite representar el comportamiento inelástico de la estructura a partir del espectro elástico [4]. En contraste, la normativa dominicana establece un único espectro de respuesta elástico; sin embargo, el efecto del comportamiento inelástico se considera mediante la aplicación del Factor de Reducción de Respuesta durante el proceso de cálculo estructural [6].

De acuerdo con lo establecido en la Sección 1.4 de la norma COVENIN 1756-1:2019, el Factor de Reducción de Respuesta (R) se relaciona con la capacidad de una estructura para experimentar deformaciones sin colapsar y para disipar energía de manera estable dentro del rango inelástico, durante un sismo. El valor asignado a este factor depende de la ductilidad de la edificación, la cual está condicionada por el sistema estructural, los materiales empleados y el nivel de diseño adoptado, con el objetivo de garantizar que la estructura pueda soportar deformaciones en el rango inelástico sin colapsar [4].

En el caso venezolano, el espectro de respuesta inelástico para cualquier coeficiente de amortiguamiento asociado a una componente horizontal del movimiento sísmico se define mediante expresiones acotadas por rangos de período, las cuales permiten modelar de forma detallada la variación de la aceleración adimensional espectral $Ad(T)$, reducida en función del período de la estructura, conforme a las ecuaciones (7.18) a (7.22) de la sección 7.3 de la norma COVENIN 1756-1:2019 [4].

Por su parte, la normativa dominicana adopta un enfoque distinto, al definir un único espectro de respuesta elástico definido por las ecuaciones del artículo 34 del reglamento R-001, empleadas para la obtención de las aceleraciones espectrales $Sa(T)$ [6].

B. Fuerza Cortante Basal

Según lo indicado en la Sección 2.2.49. de la norma COVENIN 1756-1, la fuerza cortante basal (V_0), corresponde a la acción sísmica total que el terreno transmite horizontalmente a la base de una edificación. Este valor equivale a la suma de las fuerzas desarrolladas en cada uno de los niveles superiores durante un evento sísmico en una determinada dirección horizontal [4]. Dado que concentra la mayor demanda sísmica del sistema estructural, la cortante basal constituye un parámetro fundamental para la determinación de las fuerzas de diseño aplicadas a los elementos estructurales, con el propósito de asegurar un desempeño adecuado de la edificación frente a la acción sísmica.

La determinación de la fuerza cortante basal se realiza a partir de ecuaciones contenidas en las normativas de cada país, sección 9.4.2 de la norma COVENIN 1756-1:2019 [4] y el

artículo 39 del reglamento R-001 [6]. Estas relacionan la aceleración sísmica de diseño, la cual depende del período normativo asociado a la estructura, con el peso sísmico y con factores de ajustes que se adaptan según el comportamiento dinámico de la edificación.

Asimismo, las correcciones aplicadas a la cortante basal tienen como finalidad garantizar que el diseño estructural satisfaga los requisitos mínimos de seguridad establecidos por las normas sismorresistentes. Dichos ajustes se encuentran contemplados en la normativa venezolana en la Sección 9.5.3.3. y en la normativa dominicana en la Sección 3, Artículo 67 [6].

C. Derivas

De acuerdo con lo establecido en el Capítulo 10 de la norma COVENIN 1756-1:2019, las derivas se definen como la diferencia entre el desplazamiento lateral de un nivel de la edificación y el del nivel inmediatamente inferior [4]. Dichas derivas están limitadas por valores máximos en cada normativa; para efectos de verificación, los desplazamientos laterales obtenidos del análisis estructural se amplifican inicialmente mediante el factor de amplificación de desplazamientos (C_d). Posteriormente, las derivas amplificadas se comparan con los límites máximos permisibles establecidos por cada normativa, cuyo cumplimiento es necesario para restringir los daños tanto en elementos estructurales como no estructurales según la sección 10 de la norma COVENIN 1756:2019 [4], y dependen de diversas características de la edificación.

En el caso venezolano, el procedimiento de cálculo de la deriva lateral total (Δi) se especifica en la sección 10.3 de la norma COVENIN 1756-1:2019 [4]. Por su parte, República Dominicana señala todo lo relacionado a los desplazamientos horizontales en el Capítulo VII del Título IV del reglamento R-001 [6].

D. Planteamiento de un caso de estudio teórico-práctico

Con el objetivo de ilustrar de forma clara las diferencias y similitudes entre la normativa sísmica venezolana COVENIN 1756-1:2019 y el reglamento dominicano R-001, se desarrolló un caso teórico-práctico basado en el análisis de una misma edificación diseñada bajo ambas normativas. El estudio se centró en la comparación espectros de respuesta, fuerza cortante basal y desplazamientos estructurales.

Se analizó un edificio de concreto armado con las características detalladas en la Tabla I y la configuración de planta presentada en la Figura 1.

TABLA I
Características de la edificación planteada para el caso de estudio teórico-práctico.

Característica	Dato
Uso	Vivienda
Número de niveles	11 pisos y apéndice de sala de máquinas
Altura total	36 m (altura de entrepiso=3m)
Materiales	Concreto $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$ Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kgf/cm}^2$

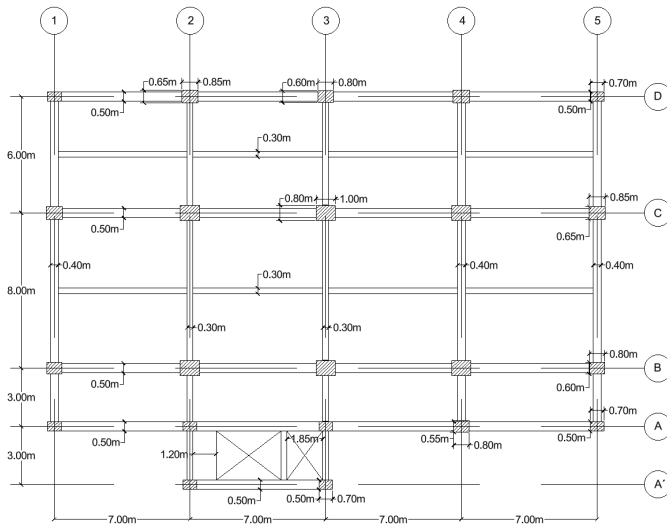


Fig 1. Configuración de planta de la edificación planteada para el caso teórico-práctico elaborado en AutoCAD ©.

Se realizó un estudio de cargas gravitacionales (permanentes y variables) que fueron definidas según las normativas de cada país, con esto se obtuvo un peso sísmico de $W=6.360.352,00 \text{ kgf}$ en Venezuela y $W=6.360.081,75 \text{ kgf}$ en República Dominicana.

Para el análisis con la norma venezolana, se consideró la ubicación en el área metropolitana de Caracas, cuyos parámetros de diseño se identifican en la Tabla II. Por su parte, la evaluación basada en el reglamento dominicano R-001 se localizó en el municipio de Higüey, provincia de La Altagracia, determinando las aceleraciones conforme a la zonificación vigente, tal como se detalla en la Tabla III. En ambos escenarios, se adoptó un coeficiente de amortiguamiento del 5% para la construcción de los espectros.

TABLA II
Parámetros sísmicos de Venezuela correspondientes al caso de estudio teórico-práctico

Parámetro	Venezuela - COVENIN 1756-1:2019
T_L	3,6
A_0	0,29
A_1	0,23
Tipo de suelo	C
Condición topográfica	Leve
Profundidad basamento rocoso	35 m

TABLA III
Parámetros sísmicos de República Dominicana correspondientes al caso de estudio teórico-práctico.

Parámetro	República Dominicana - R-001
Zona	I (Campo lejano)
S_s	1,55 g
S_1	0,75 g
Tipo de suelo	C
F_a	1,0
F_v	1,3

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente artículo se centra en la comparación teórica del conjunto de normas necesarias para el diseño de edificaciones sismorresistentes. En consecuencia, en el análisis de resultados se desarrollan las similitudes y diferencias identificadas para la norma de Venezuela y el reglamento de República Dominicana.

A. Espectro de Respuesta Elástico e Inelástico

El análisis comparativo de las normas evidencia que el cálculo de la demanda sísmica se fundamenta, en ambos casos, en el uso de espectros de respuesta; sin embargo, la incorporación del comportamiento inelástico y la cantidad de parámetros involucrados difieren significativamente.

En la norma venezolana COVENIN 1756-1:2019, el espectro de diseño se deriva a partir de un espectro elástico base mostrado en la figura 2 (tal que $R=1$), el cual se transforma directamente en un espectro inelástico (fig. 3) mediante la incorporación explícita en las ecuaciones de factores como el Factor de Reducción de Respuesta (R), el Factor de Redundancia (ρ) y el Factor de Irregularidad (F_i).

Este enfoque permite que las aceleraciones espectrales se ajusten directamente en función de la ductilidad, redundancia e irregularidades que puedan presentarse en el sistema estructural [4].

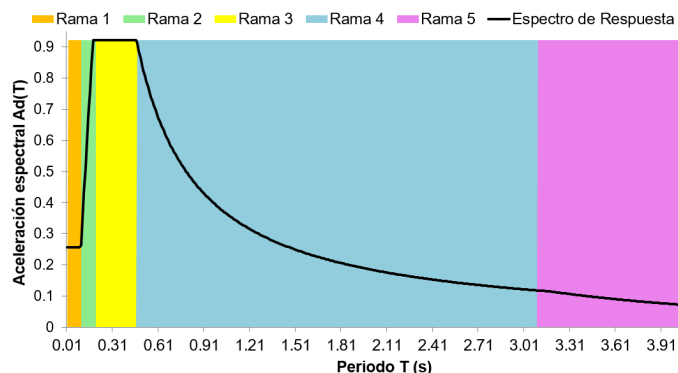


Fig 2. Ramas del espectro de respuesta elástico ($R=1$) según la norma COVENIN 1756-1:2019.

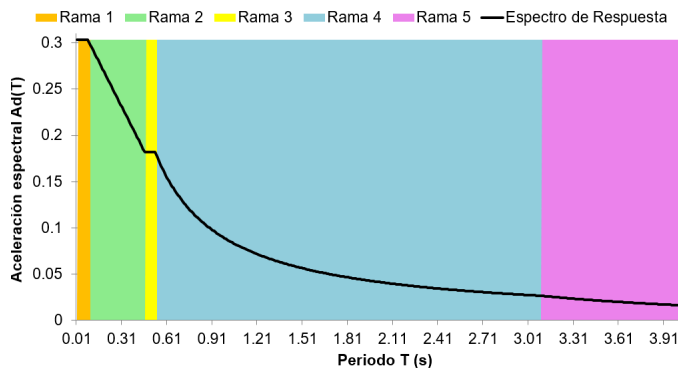


Fig 3. Ramas del espectro de respuesta inelástico ($R \neq 1$) según la norma COVENIN 1756-1:2019.

Por el contrario, el reglamento R-001 de República Dominicana define un único espectro de respuesta elástico (fig. 4). En este caso, el comportamiento inelástico no modifica la forma del espectro, sino que se introduce posteriormente a través del factor de reducción de respuesta o factor de reducción por capacidad de disipación de energía (R_d) aplicado sobre la cortante basal, lo que conduce a un enfoque más simplificado y riguroso [6].

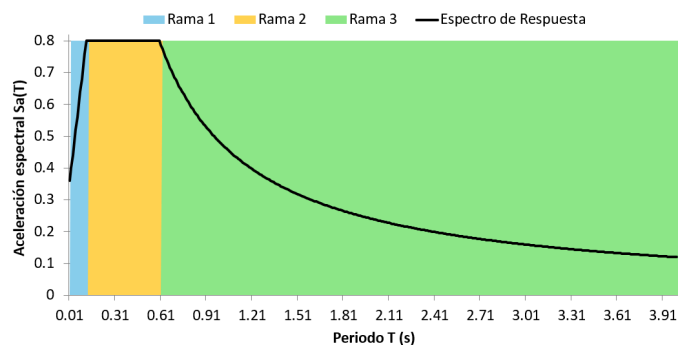


Fig 4. Ramas del espectro de respuesta según el Reglamento R-001.

Asimismo, este reglamento contempla modificaciones específicas en las ecuaciones del espectro para edificaciones ubicadas en campo cercano a fallas geológicas, definido como “Efectos sísmicos causados a estructuras localizadas a una distancia menor o igual a 5 kilómetros a ambos lados de la falla”, incrementando la aceleración espectral según las ecuaciones definidas en el último párrafo del artículo 34 de dicho reglamento [6]. En contraste, la COVENIN 1756-1 incorpora múltiples factores de sitio que permiten adaptar el espectro a diversas condiciones geotécnicas y topográficas del territorio, independientemente de la proximidad a fallas [4].

En la sección 3.4 en la normativa venezolana, se definen los Niveles de Diseño según la capacidad que se proporcionará a la estructura de incursionar de manera estable en el rango inelástico. De esta manera, evidenciado en las tablas 15 y 16 de dicha norma, se ajustan los factores de R , C_d y el número máximo de pisos, en función del grupo de importancia, Nivel de Diseño y características de la edificación, evitando la sobreestimación de la demanda sísmica acorde al uso que se le dará a la estructura [4]. El reglamento dominicano no contempla esta distinción, aplicando criterios uniformes para todas las edificaciones, lo que se traduce en una mayor severidad en la demanda estructural ante solicitaciones sísmicas similares.

1) Parámetros de amenaza y factores de sitio: en cuanto a la definición de la amenaza sísmica, la normativa dominicana permite la obtención de los parámetros de aceleración espectral para períodos cortos (S_s) y períodos largos (S_l) mediante un método simplificado, por medio de la zonificación del territorio en una primera zona de alta sismicidad (Zona I) y una segunda zona de mediana sismicidad (Zona II), o a partir de mapas con curvas de isoaceleración; mientras que en Venezuela el coeficiente de Aceleración Horizontal del Terreno (A_0), el coeficiente de aceleración espectral del terreno (A_1) y los períodos de transición espectral (T_L) se determinan directamente a partir de mapas de isoaceleraciones, lo que exige en cada proyecto una localización precisa [4].

Respecto a los factores de sitio, la principal diferencia radica en el nivel de detalle. El reglamento R-001 considera factores únicamente para períodos cortos y largos asociados a la clase de suelo, mientras que la norma COVENIN 1756-1:2019 en la sección 5 [4] distingue períodos cortos, intermedios y largos, incorporando adicionalmente efectos de topografía y profundidad del basamento rocoso. Esta formulación otorga al espectro venezolano una representación más fiel de la amplificación dinámica del suelo en el que se ubica la edificación.

Desde el punto de vista metodológico, la normativa venezolana presenta un enfoque más detallado y específico, incorporando múltiples factores asociados a condiciones del sitio (suelo, topografía, basamento rocoso), lo que permite una representación más ajustada del comportamiento real. Por el

contrario, el reglamento dominicano adopta un enfoque más simplificado y global, basado en menos parámetros, lo que conlleva a un espectro más genérico, pero compensado mediante mayores márgenes de seguridad en el diseño.

2) *Períodos característicos y ramas del espectro*: ambas normativas definen períodos característicos que delimitan las ramas del espectro de respuesta. No obstante, la norma COVENIN 1756-1:2019 incluye un mayor número de períodos de transición, correspondiente a las cinco ramas del espectro de respuesta establecido, y una quinta rama adicional para períodos muy largos, evidenciada en la figura 3, que incluye en su ecuación el exponente q (regido por la rigidez del suelo). De esta manera, la aceleración espectral disminuye, sin embargo, al incorporar la aceleración $Ad(T)$ en la ecuación del espectro de desplazamientos inelásticos (sección 7.4 de la norma COVENIN 1756-1:2019), se observa que los desplazamientos continúan aumentando para períodos muy largos [4].

El Reglamento R-001 establece únicamente tres ramas espectrales y no diferencia entre períodos largos y muy largos. Aunque esto simplifica la formulación, implica una menor capacidad de ajuste del espectro para estructuras que presentan períodos muy largos.

Estas diferencias conceptuales se reflejan directamente en los resultados obtenidos para el caso de estudio, que parten de los espectros elásticos contrastados en la figura 5.

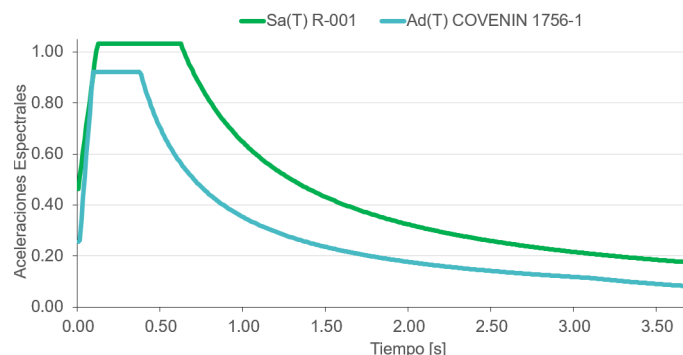


Fig. 5. Gráfico comparativo entre el espectro de respuesta elástico venezolano y dominicano.

En particular, el período fundamental de la edificación resultó $T = 1,349s$ para Venezuela y $T = 0,811s$ para República Dominicana, siendo este último un 40% menor. Esta discrepancia responde a los criterios del reglamento R-001, que establece la evaluación de múltiples expresiones y la adopción del menor valor, conduciendo a una estimación más exigente de la respuesta dinámica.

Ambos períodos se ubican dentro de la rama de períodos largos de sus respectivos espectros, caracterizada por una variación inversamente proporcional al período ($\propto 1/T$). Sin embargo, se observa que el espectro dominicano ingresa a esta región con una aceleración espectral considerablemente mayor, mientras que el espectro venezolano parte de valores

previamente reducidos debido a la incorporación explícita de la ductilidad en su formulación (fig. 6). Dado que ambas ramas presentan pendientes similares, esta diferencia inicial se conserva a lo largo del tramo, generando aceleraciones sistemáticamente mayores en el caso dominicano.

3) *Redundancia, irregularidad y ductilidad*: ambas normativas consideran los efectos de la redundancia e irregularidad estructural; sin embargo, los incorporan de manera distinta. En la COVENIN 1756-1:2019 estos efectos modifican directamente la aceleración espectral mediante el factor de redundancia (ρ) y el factor de Irregularidad (F_I), alterando la forma del espectro inelástico. En el R-001, dichas condiciones se reflejan en una reducción del factor R_d , incrementando la demanda global sin modificar la forma del espectro. Para analizar una edificación con el reglamento R-001 empleando programas de cálculo por elementos finitos, es importante que las tres ramas del espectro de respuesta elástico sean multiplicadas por el cociente entre el factor de sobrerresistencia y el de reducción ($Cd=U/R_d$), con el objetivo de reducir las aceleraciones sísmicas e incorporar en el programa de cálculo la ductilidad de la estructura.

A diferencia de Venezuela, cuyas ecuaciones del espectro de respuesta elástico incluyen el Factor de Reducción de Respuesta (R) en su denominador que reduce las aceleraciones espectrales (afectando la forma de la gráfica del espectro de respuesta como se aprecia en la figura 6), en el cálculo de la demanda sísmica en República Dominicana se modifica el espectro elástico, como se explicó en el párrafo anterior, observándose este procedimiento en cuerpos de trabajo como el publicado por el Ing. Francisco Javier Restrepo Martínez [8].

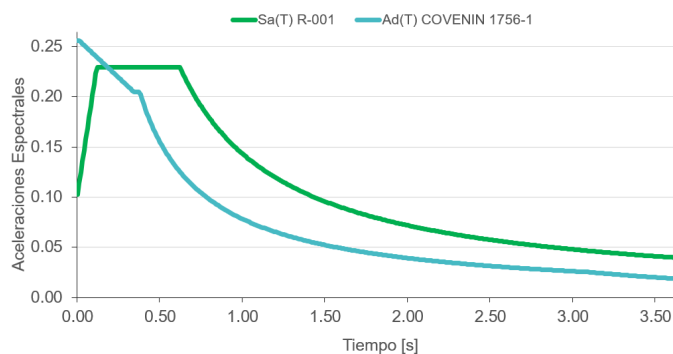


Fig. 6. Gráfico comparativo entre el espectro de respuesta inelástico venezolano ($R=4,5$) y dominicano (aceleraciones reducidas por $U/R_d=1/4,5$)

En este contexto, las irregularidades definidas en las Secciones 3.6.3.1 y 3.6.3.2 de la norma venezolana [4] guardan correspondencia con los criterios establecidos en el Capítulo II del Título V del reglamento dominicano [6], al identificar características estructurales que de estar presentes en el diseño, influyen en la respuesta sísmica de la edificación. No obstante, ambas normativas emplean terminologías distintas y difieren en los procedimientos/criterios de

verificación de algunas irregularidades, incluyendo aquellas referidas a la presencia de entrantes en planta, la resistencia y la rigidez de los entrepisos.

Para ejemplificar este punto se puede observar que, tanto la norma dominicana R-001 como la venezolana COVENIN 1756-1:2019 reconocen que la pérdida de rigidez y de resistencia afectan de manera importante el desempeño sísmico de una edificación, aunque utilizan terminologías y criterios de verificación diferentes. El reglamento R-001 denomina *Piso Suave* a la disminución de rigidez y *Piso Débil* a la reducción de resistencia, evaluando principalmente el aporte del sistema sismo-resistente, es decir, columnas y muros estructurales. Por su parte, la norma COVENIN 1756-1:2019 emplea los términos *Entrepiso Blando* y *Entrepiso Débil*, e incorpora además la posible contribución de elementos no estructurales, como la tabiquería, en la estimación tanto de la rigidez como de la resistencia lateral. Asimismo, la norma venezolana exige comparaciones entre varios niveles superiores para determinar si existe debilidad, lo que introduce una visión más global del comportamiento en altura. Aunque para la rigidez ambas normas siguen un enfoque de comparación entre niveles, difieren en los elementos que consideran dentro del cálculo, lo que puede generar variaciones en la identificación de estas irregularidades para un mismo edificio según la normativa aplicada.

En el contexto del caso de estudio planteado, para el período fundamental analizado, la aceleración espectral fue $Ad(T) = 0,0439$ para Venezuela, mientras que en República Dominicana se obtuvo $Sa(T) = 0,8017$ en condición elástica y $Sa(T) = 0,2227$ al considerar el comportamiento inelástico, resultando cinco veces mayor que la venezolana. En la figura 7 se presentan ambas gráficas de las funciones de los espectros de respuesta a partir de los cuales se obtuvieron dichas aceleraciones de diseño.

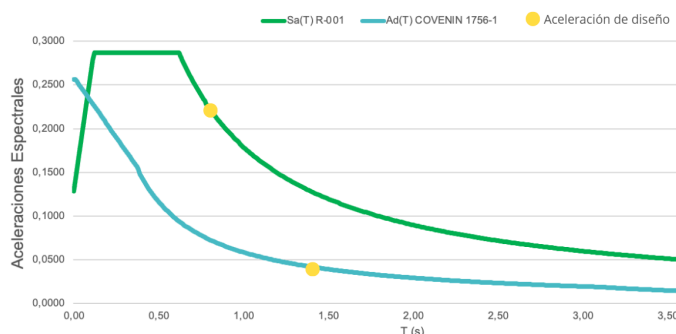


Fig 7. Gráfico comparativo entre el espectro de respuesta inelástico venezolano ($R=6$) y dominicano (aceleraciones reducidas por $U/Rd=1/3,6$) correspondientes al caso de estudio teórico-práctico

Esta diferencia se encuentra directamente vinculada a los factores de reducción adoptados por cada normativa. La norma COVENIN 1756-1:2019 emplea un valor de $R = 6$, mientras que el reglamento R-001 utiliza $Rd = 3,6$. El factor de reducción de respuesta permite transformar la demanda

sísmica elástica en una demanda de diseño considerando la capacidad de disipación de energía de la estructura; en términos generales, valores mayores de R implican menores fuerzas de diseño al asumirse una mayor ductilidad. En consecuencia, un menor valor de Rd implica una menor reducción de la respuesta elástica, lo que se traduce en aceleraciones espectrales y fuerzas sísmicas de diseño más elevadas, mientras que un mayor valor de R permite una reducción más significativa de dichas acciones.

4) *Amortiguamiento*: considerando la elaboración del espectro de respuesta, la norma COVENIN 1756-1:2019 permite considerar valores de amortiguamiento distintos al 5% que establece inicialmente, mediante un factor correctivo (β) aplicado al espectro completo, lo que facilita el análisis de sistemas con disipadores de energía. En contraste, el reglamento R-001 define el espectro únicamente para un amortiguamiento del 5%, requiriendo cambios en el método de análisis si se desea trabajar con otros valores.

B. Fuerza cortante basal

El análisis comparativo del cálculo de la fuerza cortante basal evidencia diferencias relevantes en la forma en que ambas normativas incorporan la ductilidad, el período estructural y los factores de ajuste. Si bien, tanto la norma COVENIN 1756-1:2019 como el reglamento R-001, parten de un espectro de diseño y establecen controles mínimos para evitar la subestimación de fuerzas sísmicas, difieren en su enfoque metodológico y en la amplitud de sus márgenes de seguridad estructural.

Una de las principales diferencias radica en el espectro utilizado como punto de partida. La normativa venezolana emplea directamente el espectro de respuesta inelástico, el cual incorpora implícitamente la reducción por ductilidad del sistema estructural. En contraste, el reglamento dominicano parte de un espectro elástico y posteriormente introduce en el denominador la reducción de fuerzas mediante el factor Rd , separando conceptualmente la definición del espectro y la consideración del comportamiento inelástico.

Un aspecto clave en la comparación normativa, es la definición del período fundamental (T). La norma COVENIN 1756-1:2019 permite determinarlo a partir de la ecuación de cálculo estático (ecuación 9.6 de la Norma), o bien utilizando la ecuación 9.8 de la Norma para el período aproximado (Ta), mientras que el reglamento R-001 adopta un criterio más restrictivo, fijando el período de diseño como el menor valor entre dos expresiones, dependientes de la altura y del sistema estructural. Adicionalmente, la normativa venezolana limita el valor del período mediante el factor σ , el cual restringe el valor máximo admisible de T , que resulta del análisis dinámico de la estructura, en función del nivel de amenaza sísmica, evitando una reducción excesiva de la aceleración espectral y, por ende, de la fuerza cortante basal.

Asimismo, ambas normativas aplican factores de ajuste adicionales sobre la cortante basal. En la norma COVENIN 1756-1:2019 se incorpora un factor correctivo asociado a la

altura y al período estructural, el cual incrementa la demanda sísmica en edificaciones altas. En el caso del R-001, el ajuste se realiza mediante un factor vinculado al uso e importancia de la edificación, aplicado directamente sobre la cortante basal resultante.

Respecto al cálculo del peso sísmico, ambas normativas reconocen la influencia de las cargas variables; no obstante, difieren en su determinación. La norma venezolana, en la tabla 20, asigna fracciones de carga variable según el uso de la edificación [4], mientras que el reglamento dominicano plantea un factor de reducción genérico de $\phi_i * \phi_{ri} = 0,25$, al igual que un método específico que considera el uso de la edificación (Φ_i) y reduce la sobrecarga en función del área de los paños de losa (ϕ_{ri}), resultando en valores de porcentaje distintos al genérico mencionado [6]. No obstante, en el caso práctico analizado, este resultó prácticamente igual para ambos países, por lo que las diferencias en la cortante basal se atribuyen principalmente a la aceleración espectral.

Los resultados obtenidos confirman estas diferencias teóricas. La fuerza cortante basal, calculada según las ecuaciones normativas correspondientes e implementada en el análisis, evidenció valores significativamente mayores en el caso dominicano, tal que $V_x = 1.416.430,52$ kgf y $V_y = 1.197.102,28$ kgf, en contraste con la cortante basal para Venezuela con un valor de $V_o = 264.861,99$ kgf. En términos globales, la cortante basal normativa dominicana alcanzó valores hasta 5,3 veces superiores, lo cual se explica directamente por la menor reducción de la respuesta sísmica al emplear un factor $R_d = 3,6$, en contraste con el valor $R = 6$ adoptado por la norma COVENIN 1756:2019. En particular para el caso de estudio, las cortantes dinámicas obtenidas bajo el reglamento R-001 resultaron aproximadamente 2,8 veces mayores en dirección X y 2,9 veces mayores en dirección Y respecto a las obtenidas con la normativa venezolana.

Dado que el factor de reducción está asociado a la capacidad de disipación de energía de la estructura, un menor valor de R_d implica una menor reducción de la demanda elástica, resultando en mayores aceleraciones y fuerzas sísmicas de diseño. Por el contrario, el mayor valor de R utilizado en la normativa venezolana refleja una mayor ductilidad estructural, permitiendo reducir las fuerzas sin comprometer la seguridad, en coherencia con una filosofía de diseño basada en la disipación de energía.

1) Corrección de la fuerza cortante basal: en cuanto a las correcciones normativas de la cortante basal obtenida mediante análisis dinámicos, ambas regulaciones establecen valores mínimos permisibles con respecto a la fuerza cortante normativa. La norma COVENIN 1756-1:2019 exige que la cortante basal dinámica no sea inferior al 85% de la cortante mínima normativa, mientras que el reglamento R-001 fija este límite en 65%. Esta diferencia refleja un mayor nivel de exigencia en la normativa venezolana. En el caso analizado, las cortantes dinámicas obtenidas en Venezuela superaron este umbral, por lo que no fue necesario aplicar factores de

mayoración. En cambio, para el modelo dominicano, las cortantes dinámicas resultaron 17% y 9% inferiores al mínimo exigido en las direcciones X e Y, respectivamente, requiriendo su amplificación mediante factores de 1,167 y 1,089.

Este comportamiento evidencia una diferencia clave en el nivel de exigencia normativa. La norma COVENIN 1756:2019 impone una mayor coherencia entre los resultados estáticos y dinámicos, limitando la dispersión entre ambos métodos. Por su parte, el R-001 permite una mayor discrepancia (hasta un 35%), lo cual resulta consistente con el hecho de que sus espectros de diseño ya generan fuerzas significativamente más elevadas desde el inicio. En consecuencia, mientras la normativa dominicana prioriza la seguridad mediante mayores fuerzas de diseño, la normativa venezolana equilibra la menor demanda inicial mediante controles más estrictos en la verificación del análisis dinámico.

En síntesis, las diferencias observadas en la fuerza cortante basal no responden únicamente a la formulación de las ecuaciones, sino a filosofías de diseño distintas: el reglamento R-001 adopta un enfoque orientado a la resistencia, con mayores demandas sísmicas, mientras que la COVENIN 1756-1:2019 prioriza la ductilidad y la disipación de energía, permitiendo una reducción más significativa de las fuerzas de diseño, pero con mayores exigencias de control en el análisis estructural.

C. Cálculo de derivas

Para estimar la deriva de diseño en un punto del entrepiso, la norma COVENIN 1756-1:2019 establece una serie de pasos: primero se calcula el desplazamiento elástico entre dos pisos consecutivos, luego este valor se mayor con el factor de ampliación del desplazamiento lateral (C_d), según el tipo estructural y Nivel de Diseño, obteniendo la deriva lateral total. Por último, se divide entre la altura del entrepiso considerado, obteniéndose así la relación de deriva lateral total (Δ), que se verificará según los límites indicados en la tabla 25 de la norma venezolana [4] (para el sismo de diseño) y en el capítulo VII del título IV del reglamento R-001 [6]. En contraste, el reglamento R-001 posee un procedimiento más directo, basta con multiplicar el desplazamiento horizontal del centro de masa (D_{CM}), obtenido del análisis dinámico, por C_d , para posteriormente calcular el desplazamiento relativo entre dos niveles.

1) Verificación y límites de derivas: una diferencia relevante se observa en el criterio de revisión en planta. Mientras que en Venezuela se exige la verificación de derivas en todos los planos resistentes y puntos de la planta, República Dominicana centra la evaluación en el desplazamiento del centro de masa de cada piso, lo que implica un control más global y simplificado. Este enfoque hace que la normativa venezolana resulte más detallada en la identificación de desplazamientos irregulares, mientras que la dominicana prioriza una revisión integral del comportamiento del piso.

Por otra parte, el reglamento de República Dominicana exige la verificación del desplazamiento total de la edificación, mediante la comparación entre el desplazamiento en la base y el del último nivel, con respecto a un límite normativo en base a la altura total del edificio, lo que refuerza el control integral de las deformaciones. Este criterio no se encuentra contemplado de manera equivalente en la norma COVENIN 1756-1:2019.

En cuanto a los límites de deriva, la norma COVENIN 1756-1:2019 los establece en función de la interacción entre la estructura principal y los elementos no estructurales, así como del grupo de importancia de la edificación, permitiendo una mayor diferenciación según el nivel de desempeño esperado (tabla IV). Por su parte, el reglamento R-001 fija límites asociados principalmente al tipo de sistema estructural (tabla V), adoptando valores únicos que simplifican la verificación, pero reducen la especificidad del control. En términos comparativos, los límites dominicanos resultan más estrictos para los valores mínimos de deriva y más rigurosos en el control de deformaciones globales. Para el caso de estudio, el límite venezolano fue 0,022, mientras que el dominicano, inicialmente de 0,008h, fue ampliado a 0,016h conforme al Artículo 74, debido a la ausencia de elementos no estructurales vulnerables.

TABLA IV

Valores límites de la relación de deriva lateral total para el sismo de diseño según la tabla 25 de la norma COVENIN 1756-1:2019 [4]

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

TABLA V

Valores límites de desplazamientos totales permitidos en estructuras según reglamento R-001 [6]

Tipo de sistema estructural	Desplazamiento máximo permitido
A, B, C	0,008h
D	0,005h

Cabe destacar que los límites de desplazamiento en el R-001 se encuentran expresados en función de la altura de entrepiso evaluado (tabla V), mientras que la norma COVENIN 1756-1:2019 incorpora la relación con esta altura

previo a la verificación de valores máximos, por lo que estos límites son adimensionales.

Adicionalmente, el R-001 incorpora explícitamente los efectos de amplificación por segundo orden ($P-Δ$) dentro de la verificación de derivas y exige el control del desplazamiento global del edificio, lo que refuerza el control integral de deformaciones. En la norma venezolana, estos efectos se verifican mediante disposiciones separadas en la sección 8.3.3 de dicha norma [4].

En el contexto del caso de estudio planteado, la deriva inelástica máxima fue 0,00537 para Venezuela y 0,01496 para República Dominicana, ubicándose ambas en el mismo nivel crítico (piso 4) y en la dirección Y de análisis. Esto implica que la deriva dominicana es 2,78 veces mayor que la venezolana. Sin embargo, al compararlas con sus respectivos límites, se observa que en Venezuela la deriva representa solo el 24,4% del valor permitido, mientras que en República Dominicana alcanza el 93,5%, evidenciando un margen de seguridad considerablemente menor.

Para cumplir con los límites del reglamento dominicano en la estructura, fue necesario modificar la geometría de las columnas, incrementando su inercia mediante el ajuste de la relación base/altura, lo que permitió controlar las deformaciones laterales sin alterar significativamente el área de concreto. Este ajuste no fue requerido en el modelo venezolano, debido a la menor demanda de deriva.

La diferencia observada también se relaciona con el período estructural, ya que el modelo dominicano presentó un valor ligeramente mayor ($\approx 1,19s$ frente a $1,25s$ en Venezuela en el modelo final), lo que influye directamente en el incremento de desplazamientos. No obstante, el factor determinante sigue siendo la mayor demanda sísmica impuesta por el reglamento R-001.

En síntesis, aunque la edificación bajo normativa dominicana presenta derivas mayores, también enfrenta límites más exigentes, lo que se traduce en estructuras más rígidas y con menor margen de deformación admisible. Por el contrario, la norma COVENIN 1756-1:2019 permite mayores deformaciones, coherente con su enfoque basado en la ductilidad y la disipación de energía. Esto confirma que, mientras el reglamento R-001 prioriza el control de desplazamientos mediante rigidez, la normativa venezolana lo hace mediante la capacidad de deformación controlada del sistema estructural.

Tras completar la investigación, se presenta la tabla VI como resumen de los resultados obtenidos a partir de la comparación de los marcos normativos evaluados.

TABLA VI
Resumen comparativo de la norma COVENIN 1756-1:2019 Y el reglamento R-001.

Criterio de comparación	COVENIN 1756-1:2019 (Venezuela)	Reglamento R-001 (República Dominicana)
Tipo de espectro	Espectro inelástico.	Espectro elástico. Se aplica el factor U/R_d al modelo de análisis para incorporar la ductilidad.
Presencia de ductilidad	Integrada en el espectro de respuesta.	Aplicada a la cortante basal (R_d).
Número de ramas del espectro	5 ramas, con exponente q para periodos muy largos.	3 ramas, sin distinción entre periodos largos y muy largos.
Factores de sitio	Considera clase de suelo (F_s), topografía (F_T) y profundidad del basamento (F_b).	Solo considera clase de suelo mediante F_a y F_v .
Parámetros de amenaza sísmica	A_0 , A_1 , T_L obtenidos de mapas de isoaceleraciones específicos.	$S_{\square}$, S_1 tomados de tablas o mapas de isoaceleraciones.
Campo cercano a fallas	Ajusta el espectro según factores de sitio sin cambiar ecuaciones base.	Modifica las ecuaciones del espectro.
Nivel de diseño	Permite seleccionar distintos ND que modifican R , C_d y número de pisos.	No contempla niveles de diseño.
Factor de importancia/ Uso	Incluido en el espectro mediante α .	Aplicado luego como U sobre la cortante basal
Redundancia e irregularidad	Factores ρ y F_i incluidos dentro del espectro inelástico.	Reducción de R_d cuando hay irregularidades.
Período fundamental T	Determinado por ecuación o expresión aproximada, con límite σT_a .	Menor entre dos ecuaciones.
Corrección de cortante dinámica	$\geq 85\%$ de V_0 .	$\geq 65\%$ de V .
Derivas laterales permitidas	Hasta 0,022 (según tipo de elemento no estructural).	Hasta 0,016h (o 0,008h si hay elementos frágiles).

IV. CONCLUSIONES

El análisis comparativo presentado en este artículo evidencia una convergencia en los principios fundamentales

de diseño sismorresistente entre Venezuela y República Dominicana. Más allá de los métodos de cálculo y expresiones matemáticas planteadas, este estudio demuestra que tanto la norma COVENIN 1756-1:2019 como el reglamento R-001, comparten una filosofía de diseño orientada a garantizar un desempeño estructural adecuado ante amenazas sísmicas similares en la región del Caribe.

En términos técnicos, se determinó que existen variaciones en el procedimiento de construcción del espectro de respuesta, destacando los factores de sitio a considerar en cada país, que permiten adaptar el espectro según las condiciones particulares de cada región, el manejo de los periodos característicos y el ajuste a la cercanía de fallas geológicas. No obstante, ambos marcos normativos cuentan con verificaciones sísmicas y límites, que contemplan las características presentes en cada territorio, que garantizan la seguridad estructural de las edificaciones.

Finalmente, las similitudes expuestas en el análisis de resultados sugieren que los países del Caribe avanza hacia una madurez normativa compartida. Esta convergencia técnica, no solo facilita la transferencia de conocimientos y la adaptabilidad profesional entre ingenieros de ambos países, sino que incluso sienta las bases para el planteamiento de una futura estandarización regional, considerando las condiciones locales, lo que facilitaría la interoperabilidad de proyectos de ingeniería civil que contribuyan al desarrollo de estos países.

REFERENCIAS

- [1] Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, «FUNVISIS,» s/f. [En línea]. Available: http://www.funvisis.gob.ve/old/sismologia_aplicada.php. [Último acceso: 27 enero 2026].
- [2] A. J. G. C. y O. A. López, «Espectro de Respuesta del Sismo de Caracas de 1967,» *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, Vols. %1 de %2vol. 42, no. 3, pp. 104-111, sept-dec 2019.
- [3] Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, «FUNVISIS,» s/f. [En línea]. Available: http://www.funvisis.gob.ve/old/sismologia_aplicada.php. [Último acceso: 27 enero 2026].
- [4] C. V. d. N. Industriales, «COVENIN 1756-1:2019, Edificaciones Sismorresistentes — Parte I: Requisitos (2ª Revisión),» FODENORCA, Caracas, 2019.
- [5] E. Rivera, «Los terremotos en República Dominicana: enemigos muy peligrosos que nos acechan y no estamos debidamente preparados para afrontarlos,» Universidad APEC, Santo Domingo, s/f.
- [6] Sistemas, Dirección General de Reglamentos y, «Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras,» Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Santo Domingo, 2011.
- [7] E. A. d. D. e. I. y. Construcción, «Cálculo estructural: El Método de los Elementos Finitos,» 2017. [En línea]. Available: <https://eadic.com/blog/entrada/calculo-estructural-el-metodo-de-los-elementos-finitos/>. [Último acceso: 27 enero 2026].
- [8] I. F. J. R. Martínez, «Análisis comparativo del reforzamiento estructural de edificaciones: Evaluación entre el diseño convencional y el diseño basado en desempeño sísmico,» Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2024.