

Estudio comparativo de la norma sismorresistente venezolana actual con códigos sísmicos de otros países

Freddy J. Lanza S., Scarlet H. Puentes M., Fernando Villalobos

Departamento de Estructuras, Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Email: flanza@funvisis.org.ve, scarletpuentes@hotmail.com, ferllalo@hotmail.com

Resumen

Este trabajo presenta el análisis de los parámetros más relevantes de diseño sísmico de la norma venezolana, en comparación con los códigos sísmicos de los Estados Unidos, México, Japón y Chile. En la estimación de las acciones sísmicas se obtuvo que el corte basal calculado a través del código Japonés resultó mayor en un 72 %, respecto al calculado según la norma venezolana, el obtenido por el código estadounidense UBC un 40 % menor, por el código de México un 20 % menor y por el código de Chile un 50 % menor, lo cual indica que después del Japón, los cálculos según la norma venezolana resultan mayores en la magnitud del corte basal. Lo que implica mayores costos a nivel constructivo. Sin embargo, el diseño es más confiable, lo cual hace que las estructuras sean menos vulnerables ante las acciones sísmicas.

Palabras Clave: Norma sismorresistente venezolana, parámetros sísmicos de diseño, códigos sísmicos, corte basal.

Comparative study of the present Venezuelan seismic code with seismic codes of other countries

Abstract

This work presents the analysis of the most outstanding parameters in seismic design of the Venezuelan norm, in comparison to the seismic codes of the United States, Mexico, Japan and Chile. In the estimate of the seismic actions it was obtained that the basal cut calculated through the Japanese code was bigger in 72 %, regarding the one calculated according to the Venezuelan norm, the one obtained by the UBC 40 % smaller, for the code of Mexico 20 % smaller and for the code of Chile 50 % smaller, which indicates after the Japan, the calculations according to the Venezuelan norm are bigger in the magnitude of the basal cut. This implies bigger costs at constructive level, however the design is more reliable, which makes that the structures are less vulnerable before the seismic actions.

Keywords: Venezuelan seismic code, seismic design parameter, seismic codes, lateral seismic shear.

1. INTRODUCCIÓN

Venezuela pertenece a los países que conforman el cinturón de fuego, el cual se caracteriza por ser una de las zonas más sísmicas del planeta, debido a que en la zona que bordea el océano Pacífico, aproximadamente se libera un 85 % del total de la energía producida por los movimientos telúricos o terremotos en el mundo. En la segunda mitad del siglo XX, con el crecimiento de la población existente en Venezuela, se empezaron a erigir las primeras edificaciones y se empezaron a registrar los primeros eventos sísmicos que

trajeron consecuencias desfavorables, entre los que se destaca el de Caracas, el 28 de julio de 1967. Tomando en cuenta estos sucesos, se desarrollaron diversos estudios que permitieron la realización de normas o códigos para el diseño de edificaciones.

Los códigos sísmicos consideran los criterios de análisis y diseño de las edificaciones situadas en zonas donde puedan ocurrir movimientos telúricos. Sin embargo debido a que la naturaleza de los sismos y el comportamiento estructural ante estos es complejo,

además de originar grandes pérdidas materiales y humanas, es conveniente tomar la iniciativa de seguir realizando investigaciones con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad estructural ante la acción de los sismos.

El presente trabajo pretende evaluar el nivel de exigencia de la norma sismorresistente COVENIN MINDUR 1756-88 (Rev.-2001), realizando un estudio comparativo respecto a las normas de Chile, Japón, México y Estados Unidos ya que estos países están ubicados en zonas de alto índice de sismicidad, debido a que se encuentran dentro de la zona conocida como el cinturón de fuego del océano pacífico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Cinturón de fuego del pacífico

Los tres principales cinturones sísmicos del mundo son: el cinturón circunpácifico, el cinturón transasiático (Himalaya, Irán, Turquía, Mar Mediterráneo, Sur de España) y el cinturón situado en el centro del océano atlántico, los cuales son mostrados en la Figura 1.

La principal zona de riesgo sísmico es el llamado "Cinturón de fuego del pacífico" conocido como geosinclinal circumpacífica, el cual debe su nombre al enorme anillo de actividad volcánica que se extiende alrededor del océano Pacífico. Casi todos los volcanes hacen erupción en zonas costeras o bajo el mar, creando cadenas de montañas bajo el agua, siendo una de las zonas más sísmicas del planeta ya que aproximadamente en la zona que bordea el océano pacífico se libera un 85 % del total de la energía producida por los movimientos telúricos o terremotos en el mundo [1]. El cinturón de fuego del pacífico se extiende desde el litoral pacífico en América del Sur, asciende hacia el norte bordeando la costa pacífica de Norte América y desciende a lo largo del litoral Asiático.

2.2 Mapa de riesgo sísmico global

A nivel mundial existen organizaciones que han realizado estudios de riesgo sísmico, entre las cuales se destaca la ONU ya que a través de numerosos estudios efectuados por científicos se desarrolló un mapa de riesgo sísmico global [2], el cual se muestra en la Figura 2. Este mapa se basa en la amenaza sísmica que representa los peligros para la población

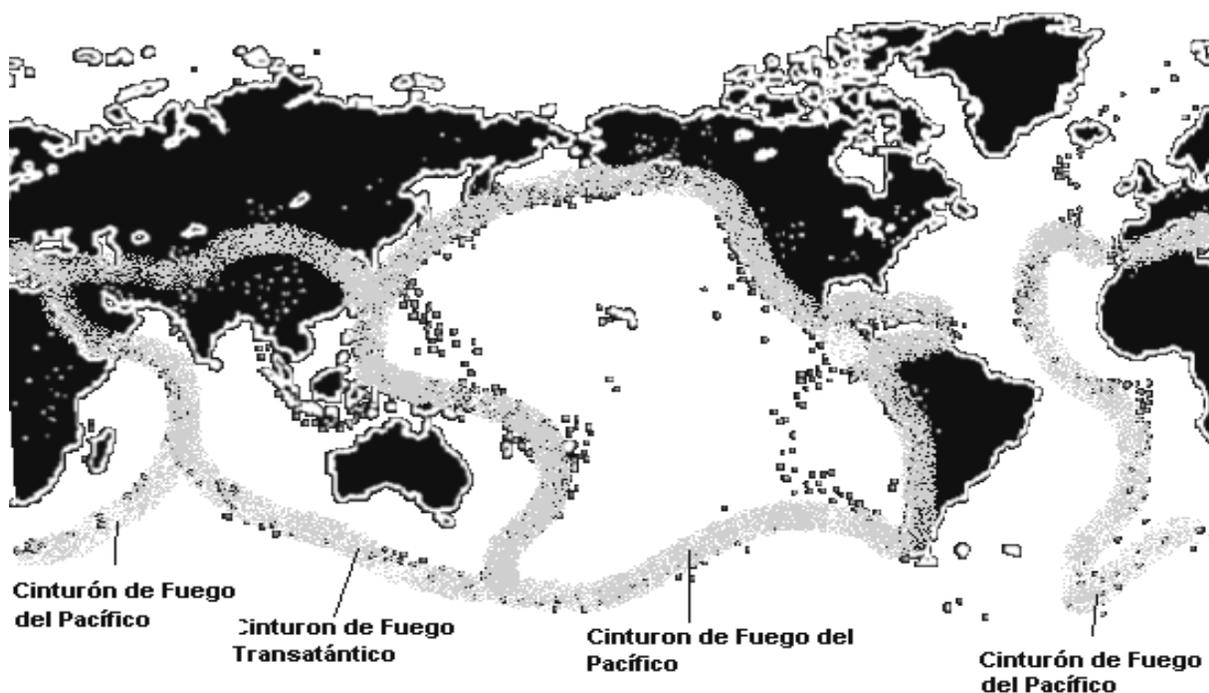


Figura 1. Situación de los principales cinturones sísmicos y volcanes.

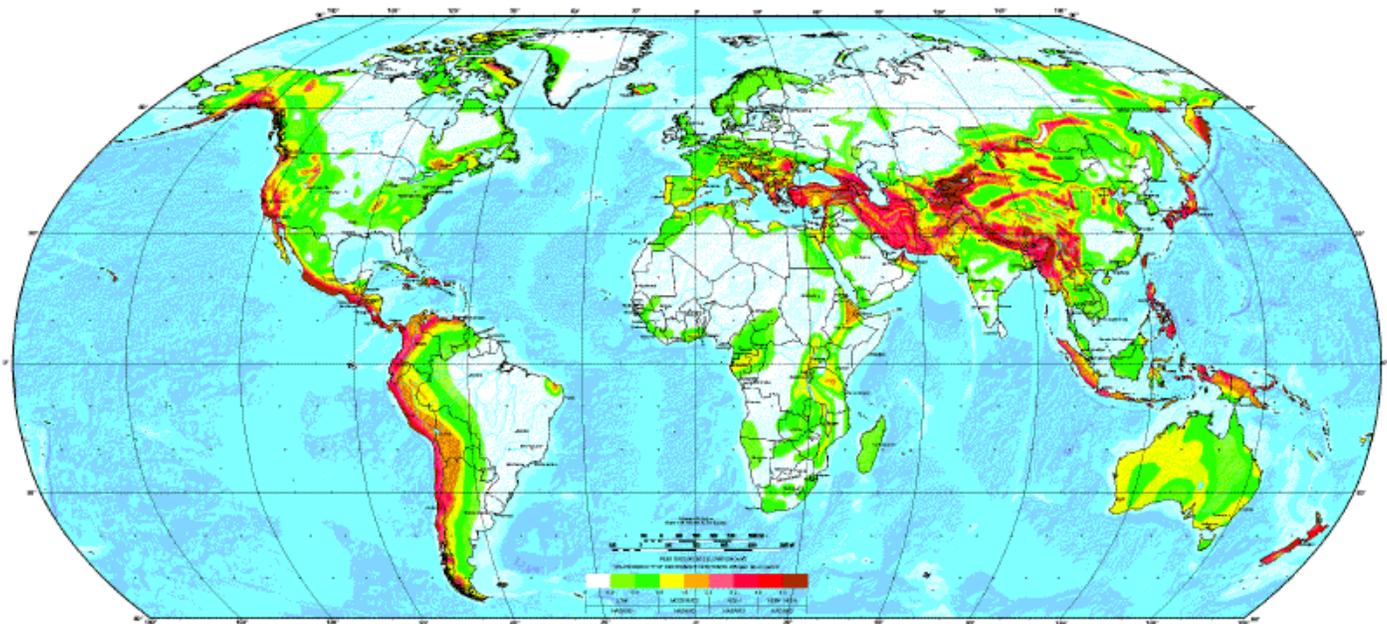


Figura 2. Mapa de riesgo sísmico global.

producidos por terremotos. La amenaza sísmica es un término técnico que caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio [3], durante un período de tiempo. El mapa muestra la aceleración pico del suelo (PGA) que se puede esperar en un determinado lugar durante los próximos 50 años con 10 % de probabilidad de excedencia, que corresponde a un periodo de retorno de 475 años.

2.3 Respuesta espectral

La respuesta espectral se utiliza para el estudio de la dinámica de estructuras, en el área de ingeniería sísmica. La respuesta espectral es el valor máximo de respuesta (máximo desplazamiento, velocidad, aceleración o cualquier cantidad de interés) obtenido para una función de carga especificada. Las curvas espectrales son representaciones gráficas donde la abscisa es la frecuencia natural (periodo) del sistema, y la ordenada es la respuesta máxima [4]. En el análisis dinámico solo se requiere conocer el espectro o curvas espectrales para condiciones de carga conocida y el periodo de vibración del sistema, con lo cual se puede obtener la respuesta máxima de dicho sistema.

Una variable que afecta la respuesta estructural es el amortiguamiento viscoso [5], esta característica generalmente se expresa como fracción del amortiguamiento crítico (ζ), el tipo de amortiguamiento considerado toma en cuenta las fuentes de disipación de energía como fricciones internas, fricciones en los apoyos y en elementos no estructurales, etc. A medida que una estructura posea características de ductilidad que permitan disipar mas energía la fracción de amortiguamiento crítico será mayor y en consecuencia la respuesta espectral será menor.

3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Esta investigación se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- Con base a la situación de los principales cinturones sísmicos, se realizó la selección de cuatro países que integran un mismo cinturón para el estudio comparativo, se eligió el cinturón de fuego del Océano Pacífico ya que Venezuela es uno de los países que lo conforma, de esta manera se eligieron los siguientes países: Chile, México, Estados Unidos y Japón.

- Se definen e identifican las variables para realizar una comparación cuantitativa y cualitativa utilizando la información recopilada de los códigos en estudio.
- Para realizar la comparación de tipo cualitativa se comparó cada código con el código venezolano, identificando los parámetros comunes o los efectos que consideran los demás códigos a través de procedimientos que permitan realizar el diseño. Los parámetros son los siguientes: Filosofía del cálculo, zonificación sísmica, forma espectral, clasificación de las edificaciones según su importancia, clasificación de la estructura según el sistema estructural, factor de reducción de respuesta, clasificación de las edificaciones según la regularidad estructural, obtención de la respuesta sísmica (espectro de diseño), métodos de análisis sísmico, período de retorno y probabilidad de excedencia, coeficiente sísmico máximo y mínimo, coeficiente de amortiguamiento, combinación de efectos y por último el nivel de diseño.
- En base a lo que considera cada código, la comparación de tipo cuantitativa se hizo tomando en cuenta los siguientes parámetros: la respuesta

espectral ya que permite evaluar el nivel de energía a la que se somete la estructura, el factor de reducción de respuesta ya que este parámetro representa la capacidad de disipar energía inelásticamente que posee la estructura, y por último el corte basal ya que es el resultado final de las acciones sísmicas con el cual se procederá a realizar el diseño [6].

- Se seleccionó una estructura ya calculada [7] por la norma venezolana COVENIN MINDUR 1756-98 (REV.-2001), destinada para uso educativo, ubicada en una zona sísmica 5 (peligro sísmico elevado), y de una altura de 24 m (8 niveles de 3 m de altura cada uno) incluyendo techo de sala de máquinas, el sistema estructural está constituido por pórticos de concreto armado, la planta tipo se muestra en la Figura 3.
- La ubicación de la edificación en los demás países está determinado por las condiciones de suelo y sismicidad de cada región. Para mantener la uniformidad de condiciones en la comparación, la estructura se ubicó en cada país de acuerdo a lo siguiente:
 1. En una zona con un perfil geotécnico del terreno de fundación en donde se presente suelos muy

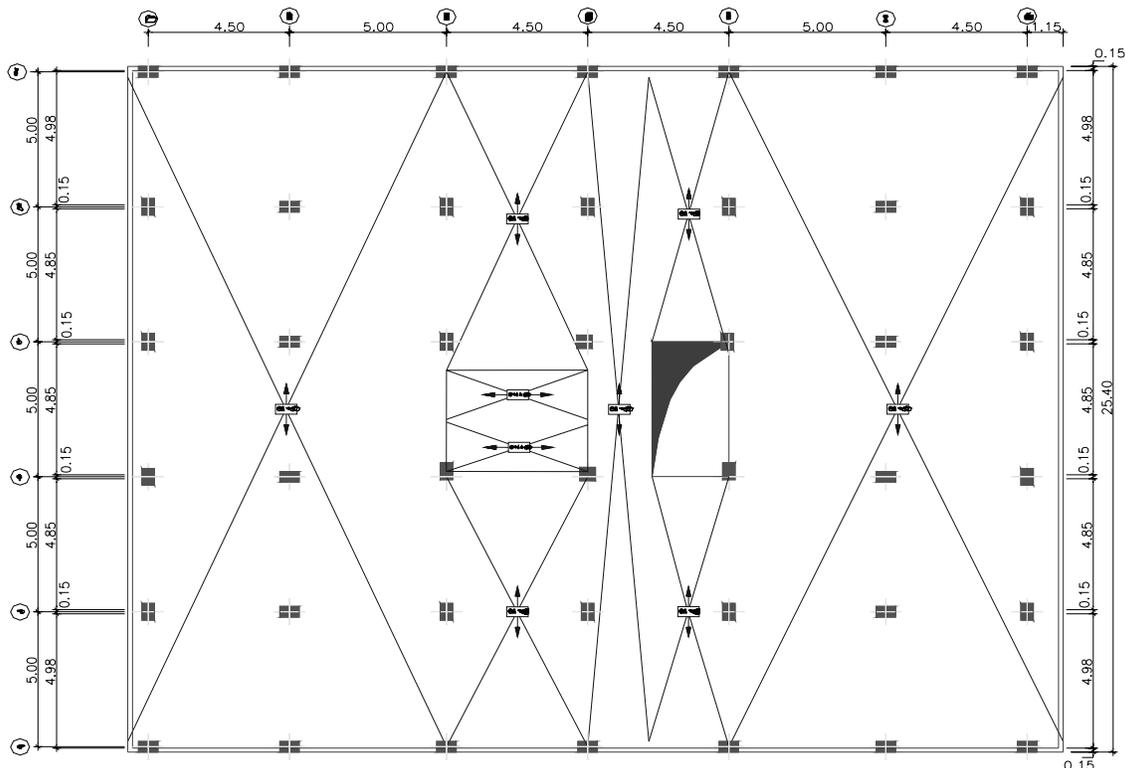


Figura 3. Geometría de la planta tipo.

- duros o densos, roca blanda o meteorizada.
- 2. En una zona con actividad sísmica medianamente alta en función al rango de peligrosidad sísmica mundial, según lo especifica el mapa global de peligrosidad sísmica, mostrado en la Figura 2.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Espectros de respuesta

En el gráfico mostrado en la Figura 4 se muestran los espectros de respuesta elásticos sin reducir, según lo especificado por cada código para la misma estructura y condiciones de suelo. La curva correspondiente al código de Chile [8] no está suavizada como las demás, corresponde a la fórmula que se aplica en el análisis dinámico y es la que muestra mayor respuesta para períodos entre 0,19 y 0,50 segundos.

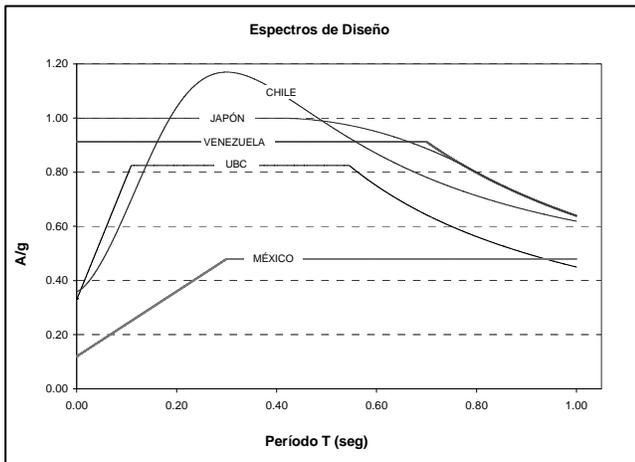


Figura 4. Espectros de respuesta elástica

Para períodos menores que 0,16 y mayores que 0,78 segundos, es decir, Venezuela al igual que Japón son los países más exigentes (siendo Venezuela menor que Japón), en lo que se refiere a la respuesta del espectro y para períodos entre 0,67 y 0,78. Venezuela es el más exigente de todos. Cabe destacar que para menores períodos ya sea que pertenezcan a la rama constante o decreciente del espectro, se obtendrán resultados más conservadores de respuesta.

En la Tabla 1 se muestran los valores de período-

dos obtenidos en los métodos de análisis exigidos por cada código, en donde se puede observar que el resultado más conservador es el de Japón, manteniéndose en la parte constante de su espectro.

Tabla 1. Períodos de vibración obtenidos según los distintos códigos para la edificación en estudio.

CÓDIGO	T (seg.)	A (no reducida)
VENEZUELA	0,686	0,913
UBC 1997	0,717	0,628
MÉXICO	0,983	0,480
CHILE	1,157	0,570
JAPÓN	0,450	0,997

4.2 Factor de reducción de respuesta

Para efectos de cálculo se asignó para la misma estructura un factor de reducción de respuesta según lo establecido por cada norma, con la finalidad de reducir las fuerzas elásticas de diseño sísmico [9], en general se observó que este efecto es considerado por los materiales, detalles constructivos y el sistema estructural, permitiéndole a la estructura incursionar en el rango inelástico y disipar la energía impartida por un temblor fuerte mediante histéresis. En la Figura 5 se muestra un gráfico en el cual se aprecia el valor de los factores que reducen la fuerza sísmica de cada código en estudio, bien sea disminuyendo el valor de la ordenada del espectro, disminuyendo el valor del corte basal, o el valor de las fuerzas sísmicas por nivel.

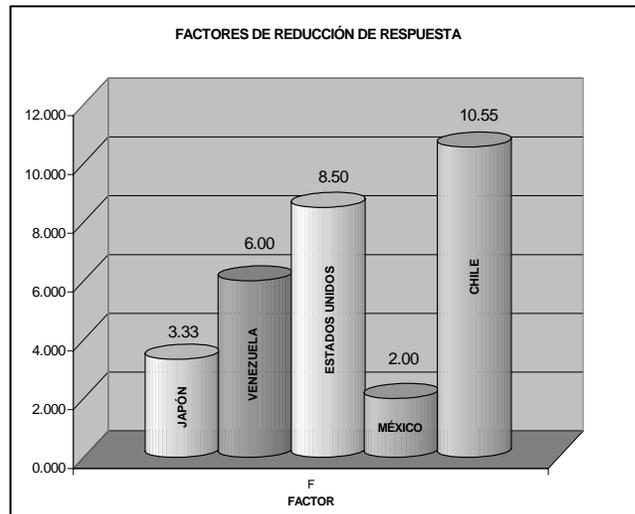


Figura 5. Espectros de respuesta elástica

Se observa que el valor del factor de reducción que establece el código chileno es el mayor de todos (10,55), esto se debe a que se aplicó un análisis dinámico. El código de los Estados Unidos [10] se reduce la fuerza con un valor de 8,5 que es 42 % mayor a Venezuela. De otra forma Japón [11] y México [12] son más conservadores en este aspecto, reduciendo la fuerza un 67 % y un 44 % respectivamente menor que Venezuela. En la Tabla 2 se muestra la relación entre factores de reducción de respuesta respecto a Venezuela, se aprecia que para Chile el factor es mayor que el de Venezuela en 76 %, mientras que para el UBC es 42 % mayor.

Tabla 2 relación entre factores de reducción de respuesta respecto a Venezuela.

PAIS	F
VENEZUELA	1,00
UBC 1997	1,42
MÉXICO	0,33
CHILE	1,76
JAPÓN	0,56

Es importante señalar que la estimación de las acciones sísmicas en el código japonés se realiza por nivel, facilitando la interpretación del criterio de “energía disipada inelásticamente”, en el caso de presentarse alguna característica diferente en un entepiso, solo se aplicaría a ese nivel el factor de reducción que le corresponda sin tener que afectar a los demás elementos, para efectos de este estudio el factor se mantiene constante ya que todos los elementos poseen características similares.

4.3 Corte basal

En la Figura 6 se muestra un gráfico comparativo el cual relaciona los cortes basales generados por cada código respecto al de Venezuela, siendo este la unidad patrón (1). Se observa que el corte basal mayor es el japonés y es 72 % veces mayor que el de Venezuela en las dos direcciones de estudio. Los demás cortes basales son menores que el de Venezuela, UBC es 40 % menor en ambas direcciones de estudio, México es 18 % menor en dirección X y 20 % menor en dirección Y, por último Chile en promedio es 50 % menor en la dirección X y 51 % menor en dirección Y.

Se puede observar que el código venezolano generó el corte basal más alto después de Japón, este

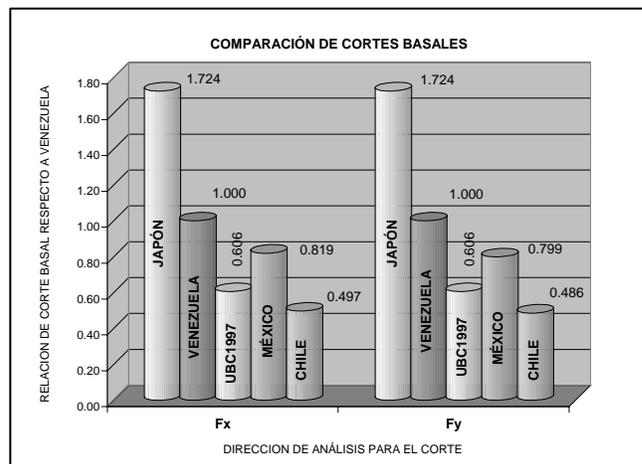


Figura 6. Gráfico comparativo de corte basal.

último fue el mas alto debido al factor Z, del cual dependen las cortes generados por nivel, este coeficiente se expresa como fracción de la gravedad y se tomó igual a 0,8, que corresponde a una zona de peligrosidad sísmica mediana a alta según el mapa de riesgo sísmico global mostrado en la Figura 2. Por otro lado el menor corte basal generado fué el de Chile y se debe principalmente a que por normativa del código se aplicó un método de análisis dinámico, el cual es más exacto y aproxima más a la realidad los valores esperados de fuerzas sísmicas.

4.4. Fuerzas sísmicas generadas por nivel

En las Figuras 7 y 8 se observa gráficos que relacionan la fuerza sísmica generada por cada código por nivel respecto a la generada por el código venezolano en la dirección X y en dirección Y, tomando en cuenta el criterio anterior Venezuela es la unidad patrón (1), UBC y Chile en promedio son menores en 50 % por nivel y México en promedio es 30 % menor.

Como se observa, la mayor fuerza sísmica en cada nivel es generada por el código japonés, con excepción del nivel 5, esto ocurre debido a que en el procedimiento de cálculo, se afectan las condiciones y las fuerzas a partir del nivel 5, por la falta de rigidez que se presenta en las columnas superiores, el código japonés toma en cuenta este efecto aumentando el corte por nivel sólo de los pisos que no cumplen con las condiciones establecidas, incorporando al método procedimientos considerando los modos superiores de vibración.

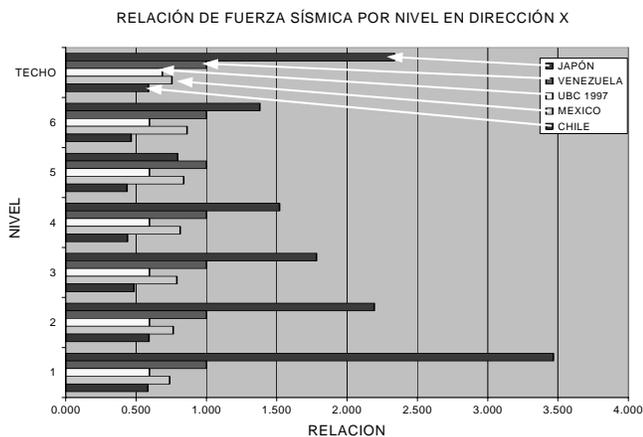


Figura 7. Relación de la fuerza sísmica por nivel respecto a la generada por el código venezolano.

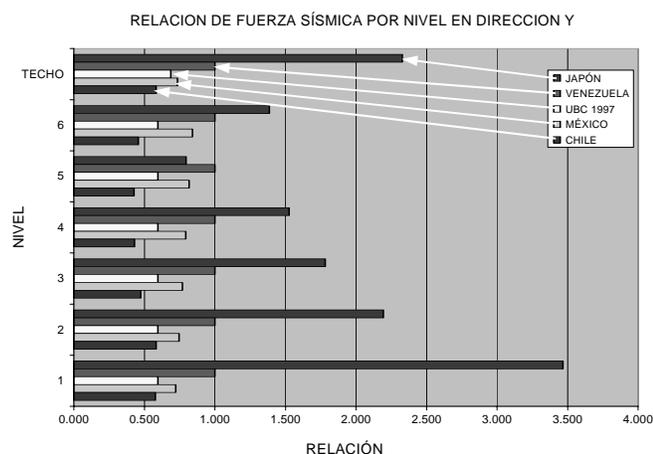


Figura 8. Relación de la fuerza sísmica por nivel respecto a la generada por el código venezolano.

5. CONCLUSIONES

1. El código Venezolano es uno de los que considera la mayor porción de sobrecarga de uso, estableciendo como mínimo 50 % para edificaciones del grupo A, tales como las destinadas para uso educacional
2. De acuerdo al gráfico comparativo de los espectros de diseño (Figura 8), se observa que para períodos entre de 0,67 y 0,78 s, la respuesta obtenida por la norma venezolana se presenta con los mayores valores de ordenadas espectrales.
3. En la comparación de los métodos de análisis estáticos, se presenta para todos los códigos sísmicos en estudio a excepción de Japón, un mismo esquema

de estimación de las acciones sísmicas considerando la estructura como una unidad (corte basal, estimación de períodos, distribución de fuerzas).

4. La norma sísmica de Japón presenta una serie de parámetros asignados de acuerdo a las características del proyecto, y trabaja con un diagrama definido como ruta de diseño, que guía el cálculo de las acciones sísmicas correspondientes, de acuerdo a los estudios que se vayan describiendo. Es importante señalar que la estimación de las acciones sísmicas en este código se realiza por nivel, facilitando la interpretación del criterio de “energía disipada inelásticamente”. En el caso de presentarse alguna característica diferente en un entrepiso, solo se aplicaría a ese nivel el factor de reducción que le corresponda sin tener que afectar a los demás elementos.
5. La norma Chilena resultó ser la más exigente en cuanto a la escogencia de métodos de análisis a emplear, más no en valores de diseño, ya que empleó un método de análisis dinámico, lo que hace al resultado mas preciso.
6. El código de Japón limita la dispersión de la rigidez lateral de un nivel respecto al promedio de los valores de rigidez lateral en todos los niveles de la edificación, incrementando los valores de corte sólo en aquellos niveles que no cumplan con las condiciones establecidas.
7. La norma Chilena resultó ser la más estricta en cuanto a la escogencia de métodos de análisis a emplear, es decir es más exigente en términos de cálculo, más no en valores de diseño, ya que empleó un método de análisis dinámico, lo que hace al resultado mas preciso.
8. En cuanto a los factores de reducción de respuesta, el código estadounidense (UBC) y el código Chileno reducen mas la respuesta en 42 % y un 76 % respectivamente que el código Venezolano, es decir consideran a la estructura en estudio con mayor capacidad de disipar energía inelásticamente, en lo que respecta a Japón y México son mas conservadores ya que reducen menos la respuesta en 44 % y 67 % respectivamente que el código Venezolano.
9. En lo que se refiere a los valores de corte basal obtenidos respecto al código venezolano, por código Japonés es 72 % mayor, el obtenido por el UBC es 40 % menor, el obtenido por el código de México es 20 % menor y por el código de Chile es 50 % menor. Como se puede observar después de Japón, Venezuela tiene la mayor magnitud. Esto se debe a que el código japonés, se presenta mayor exigencia

a nivel constructivo, en lo que se refiere al aspecto de la distribución de rigideces a lo largo de la estructura además que para el cálculo de esta acción la estructura se ubica en una zona con mayor magnitud de aceleración horizontal. Si se observa los resultados obtenidos, se concluye que las acciones sísmicas de acuerdo al código Venezolano son mayores con excepción del código Japonés, lo que implica mayores costos a nivel constructivo. Sin embargo proporciona buena confiabilidad de la integridad estructural, de esta forma contribuye a que las estructuras sean menos vulnerables ante las acciones producidas por los sismos.

6. RECOMENDACIONES

1. Para modificaciones posteriores de la norma sismorresistente Venezolana, se recomienda la incorporación de un diagrama de flujo similar a las rutas de diseño definidas en el código japonés, en el cual se establezcan las rutas de cálculo a seguir para determinar las acciones sísmicas de forma más eficiente y que rija la evaluación de los parámetros de cálculo en función de los requerimientos que este considere.
2. Del mismo modo se recomienda la realización de un análisis comparativo de diseño sismorresistente, con el cual se puede cuantificar los costos de cada diseño.

REFERENCIAS

- [1] Sauter Franz, "Fundamentos de ingeniería sísmica I, introducción a la sismología", Editorial Tecnológica de Costa Rica, Año 1989.
- [2] Documento en línea, <http://www.scec.org/news/00news/news000401.html> año 2004.
- [3] Graces, José. "Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica en Venezuela". Primera Edición, Organización Graficas Carriles, Venezuela 2002.
- [4] Anil K., Chopra, "Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering", Primera edición, organización graficas Carriles, Venezuela 2002
- [5] Academia de ciencias científicas físicas matemáticas y naturales. "Diseño sismorresistente, especifi-

- caciones y criterios empleados en Venezuela", Volumen XXXIII, Editorial Binev, 1997.
- [6] Norma COVENIN MINDUR 1756-2001, "Edificaciones sismorresistentes", Año 2001.
- [7] Gómez C. Luis A. Y Guada R. Andreina, "Comparación en el diseño en concreto armado de estructuras según las normas COVENIN 1756-82, 1756-98 Y 1756-98 REV. 2001". Tesis de Pregrado, Universidad de Carabobo, 2002.
- [8] Instituto nacional de normalización, "Norma Chilena Diseño Sísmico de Edificios", Año 1993.
- [9] Bazán, Enrique y Meli, Roberto, "Diseño sísmicos de edificios", 5ta reimpresión, Editorial LIMUSA – Grupo Noriega Editores, Balderas, México D.F, Año 2002.
- [10] International conference of building officials (UBC), "Código uniforme de la edificación 1997", Volumen 2, versión en español, ICBO, Año 1999.
- [11] Ministerio de construcción de Japón, "Reglamento normativo de construcción", Año 1987.
- [12] Gaceta oficial del departamento del distrito federal, Numero 38, México, D.F., "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo", Año 1987.