



# COMPARACIÓN DE LAS FORMAS ESPECTRALES ELÁSTICAS OBTENIDAS CON LAS NORMAS COVENIN SISMORRESISTENTES Y OTROS ESTUDIOS

## RESUMEN

En este artículo se realiza la comparación de las formas espectrales obtenidas con las normas COVENIN 1756-2001, COVENIN 3621 y un estudio de amenaza sísmica realizado para la región sur oriental del país. Adicionalmente se incluye en este trabajo las formas espectrales obtenidas con un procedimiento estadístico propuesto por el autor aplicado en las zonas sísmicas 1 y 7 de la norma COVENIN 1756-2001. Dicho procedimiento estadístico fue formulado para desarrollar espectros de respuesta elásticos con distintos períodos de retorno a partir de bases de datos de acelerogramas típicamente utilizados en estudios de microzonificación. Los resultados de la comparación indican que aunque ambas normas son conservadoras, las mismas conducen a diferencias importantes en algunas zonas sísmicas para los espectros de 475 años que son comunes para ambas. Estas diferencias se observaron para los perfiles geotécnicos evaluados en este estudio, a saber S1 y S3. Adicionalmente, la comparación de las formas espectrales para otros períodos de retorno también sugiere diferencias importantes entre las mismas. En consecuencia, se propone en este artículo un nuevo procedimiento para obtener las formas espectrales para diseño elástico que permitirían unificar los criterios y procedimientos empleados en ambas normas COVENIN sismorresistentes venezolanas. Este procedimiento consiste en contar con una forma espectral base o semilla para perfiles rocosos en una zona sísmica base. Dicha forma espectral base puede ser entonces ajustada para cada una de las otras

■ Echezuría, Heriberto

e-mail: heriberto.echezuria@yvsite.com

Universidad Católica Andrés Bello

Caracas, Venezuela 2011

Fecha de Recepción: 23 de Marzo de 2011

Fecha de Aceptación: 13 de Mayo de 2011

zonas sísmicas utilizando factores de escalamiento asociados con la intensidad. Una vez obtenida la forma espectral base de cualquier zona sísmica, el espectro elástico puede ser ajustado para los diferentes perfiles geotécnicos utilizando factores correspondientes a los efectos de sitio. Este trabajo incluye el procedimiento de trabajo requerido para lograr la aplicación del método propuesto como parte de una propuesta para la revisión de ambas normas COVENIN.

**Palabras clave:** espectros elásticos de diseño, normas venezolanas, COVENIN, comparación, microzonificación sísmica, procedimientos estadísticos para amenaza sísmica

## COMPARING THE ELASTIC DESIGN SPECTRA OBTAINED FROM BOTH COVENIN VENEZUELAN SEISMIC CODES WITH OTHER STUDIES.

### ABSTRACT

In this article a comparison between the design spectra corresponding to Venezuelan codes COVENIN 1756-2001 and 3621 is presented along with a detailed seismic hazard study for the south east region of Venezuela. In addition, the response spectra obtained with a statistical procedure proposed by the author is also presented for Venezuelan seismic zones 1 and 7, respectively. The author's statistical procedure was formulated to develop elastic design spectra with different return periods when using typical accelerograms data base in seismic microzonation studies. Comparison of both codes indicates that even though they are conservative, there are significant differences in some seismic areas for the 475-year return period design spectrum. Such differences were observed in this study for the geotechnical profiles S1 and S3. Moreover, the design spectra for other return periods are significantly different with those obtained from the seismic hazard study. Consequently, a new method to obtain the elastic design spectra is proposed in this article. Such new method will unify criteria and procedures used in both Venezuelan codes to develop the elastic design spectra. The new

method uses a basic or seed spectrum for rock profiles in a given base seismic zone. The aforementioned basic design spectrum is then modified for the other different seismic zones using intensity factors. Once the intensity has been adjusted for the basic spectrum in rock, other modification factors are used corresponding to the different geotechnical conditions. This geotechnical factors may be also intensity dependant. That is, they may be different for different seismic zones. In this article the basic procedure to apply the proposed method is also presented as part of the requirements to review the Venezuelan seismic COVENIN codes.

**Keywords:** elastic design spectra, Venezuelan seismic codes, COVENIN, comparison, seismic microzonation, statistical methods for seismic hazard

## 1. OBJETIVO DE ESTE TRABAJO Y BASE DE DATOS EMPLEADA EN EL MISMO

En este artículo se comparan las formas espectrales aplicables a las poblaciones de Caicara y Cariaco obtenidas con las normas COVENIN 1756-2001 [1] y COVENIN 3621 [2]. Estas poblaciones son representativas de las zonas sísmicas de menor y mayor intensidad del país. Adicionalmente, se utilizan en este trabajo otras formas espectrales obtenidas para esas mismas poblaciones utilizando los datos provenientes de dos estudios de respuesta dinámica [3] y [4]

En las Tablas 1 y 2 se incluyen los resúmenes de los eventos sísmicos incluidos en las bases de datos para los estudios de respuesta dinámica realizados en ambas poblaciones.

Adicionalmente, en el trabajo de Caicara se incluyó un análisis probabilístico de amenaza sísmica en roca para distintas ordenadas espectrales y distintos períodos de retorno. El resultado de ese análisis se muestra en la Fig. 1.

**Tabla 1. Fuentes sísmicas y su participación en la amenaza sísmica de Caicara [3]**

	No sismos	% particip	Tipo de Fuente Sísmica	Magnit, M	Dist, R, (km)
Fuente A	10	29,41	Área sísmica cercana-intermedia	5,23 - 6,19	11,5 - 46,5
Fuente B	12	35,29	Subducción lejana	6,2 - 7,6	282 - 780
Fuente C	5	14,71	Fallas transcurrentes intermedias	5,0 - 6,2	46,9 - 55,5
Fuente D	7	20,59	Falla transcurrentes lejanas	6,2 - 7,13	70,7 - 87,9
Total Sismos	34	100,00			

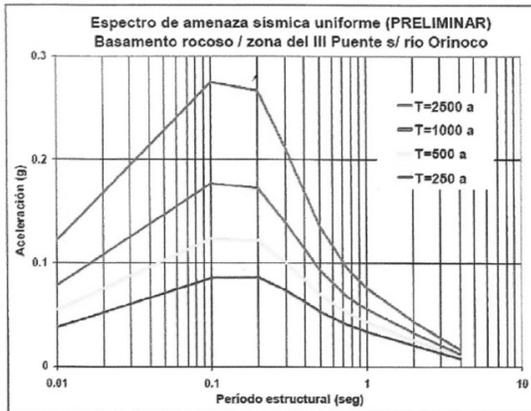
**Tabla 2. Acelerogramas empleados en la caracterización sismo-geotécnica de Cariaco debida a sismos intensos [4]**

	No sismos	% particip	Tipo de sismo	Magnit, M	Dist, R, (km)
MC	5	29,41	Muy Cercanos	6,9 - 7,3	1,0 - 4,0
C	8	47,06	Cercanos	6,1 - 6,9	5,0 - 15,0
I	4	23,53	Intermedios	6,6 - 6,9	16,0 - 55
Total Sismos	17	100,00			

Es oportuno destacar que la base de datos empleada en el estudio de Caicara es más completa que la utilizada en Cariaco dado que los trabajos originales obedecían a objetivos distintos. El trabajo de Caicara fue realizado para obtener los espectros de diseño elásticos para el tercer puente sobre el Río Orinoco. A tal efecto, se incluyen sismos cercanos y lejanos de distintas fuentes.

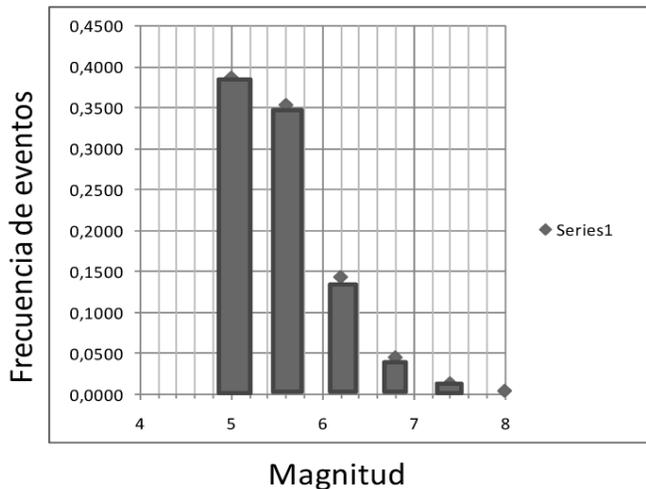
Por otra parte, el estudio de Cariaco fue realizado para establecer la caracterización sismo-geotécnica de dicha población debida a sismos intensos, considerando su proximidad a una fuente transcurrente dextral ( $< 1$  km). Por esa razón, en el estudio de Cariaco se consideraron solamente acelerogramas provenientes de sismos poco profundos a distancias muy cercanas, cercanas e intermedias de acuerdo con la Tabla 2.

## 2. COMPARACIÓN DE LAS FORMAS ESPECTRALES PARA PERFILES EN S1 (ROCA) Y S3



**Fig. 1. Espectros de respuesta elástica en roca para PR de 250, 500, 1000 y 2500 años obtenidos de un estudio de amenaza sísmica para la población de Caicara. Tomado de [3]**

Ambas bases de datos resultan conservadoras ya que consideran más sismos de magnitudes altas que de magnitudes bajas. Por ello incumplen con la adecuada proporcionalidad de los eventos por magnitudes la cual debe ser exponencial [5], tal como se ilustra en la Fig. 2. No obstante, las mismas se utilizan en este artículo para ilustrar lo conservador que resultan las normas COVENIN sísmorresistentes en las zonas sísmicas correspondientes a las poblaciones antes citadas.

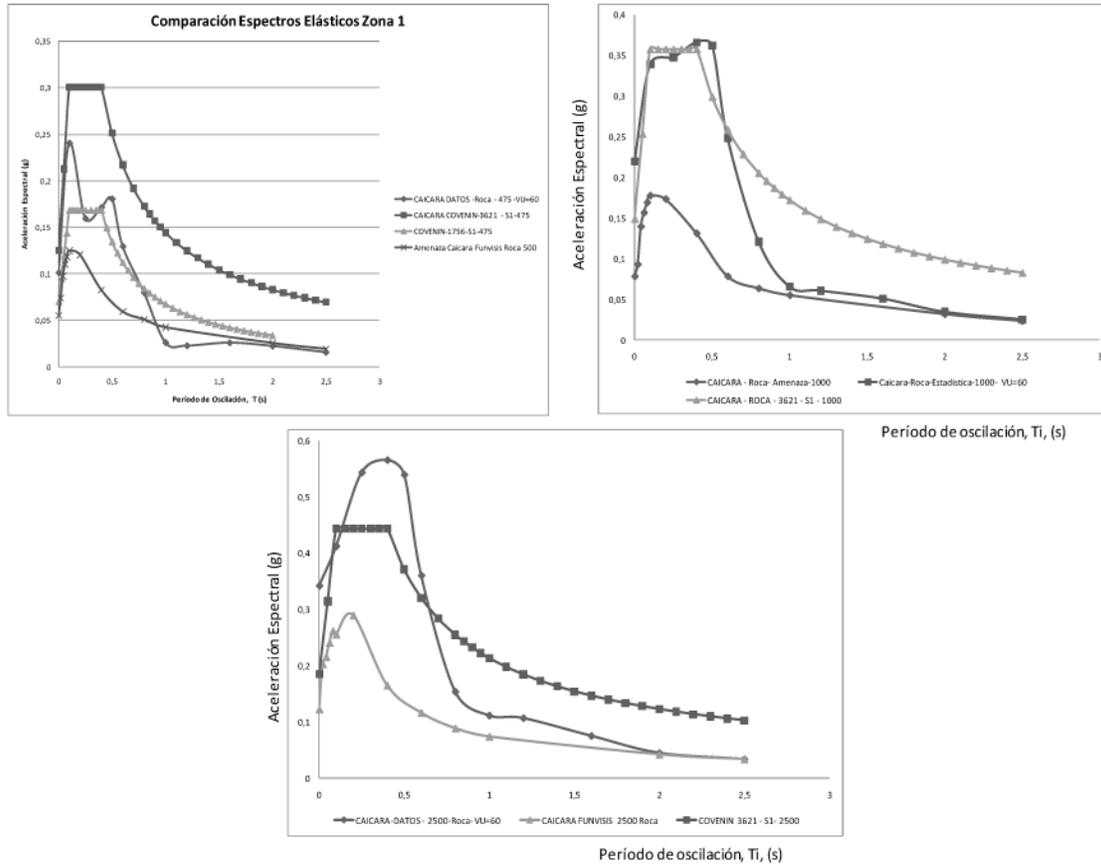


**Fig. 2. Distribución exponencial de las magnitudes.**

Antes de comenzar la comparación es oportuno destacar las normas COVENIN preparan los espectros de diseño elásticos a partir de valores normalizados por las aceleraciones máximas del terreno. Esto tiende a sobrestimar las ordenadas espectrales. Adicionalmente, la amenaza de ambas normas fue obtenida con leyes de atenuación preparadas a partir de intensidades de Mercalli, lo cual aumenta los valores de las aceleraciones, particularmente para distancias medias a grandes desde el epicentro.

En la Fig. 3 se incluyen los espectros calculados con el modelo probabilístico del autor [6 y 7] y la base de datos antes señalada para Caicara y los espectros obtenidos con las normas COVENIN 1756-2001 y 3621.

Se observa en la Fig. 3 que el espectro en perfil S1 (roca) para 475 de período de retorno obtenido con la norma COVENIN 3621 está por encima de los otros espectros de Caicara. Para este mismo período de retorno, los espectros obtenidos con la norma COVENIN 1756-2001 y con la base de datos para Caicara están bastante similares entre sí y por encima del espectro obtenido en el estudio de amenaza sísmica para esa población.



**Fig. 3. Comparación de los espectros elásticos en roca o perfil S1 para Caicara para PR de 475, 1000 y 2500 años, respectivamente.**

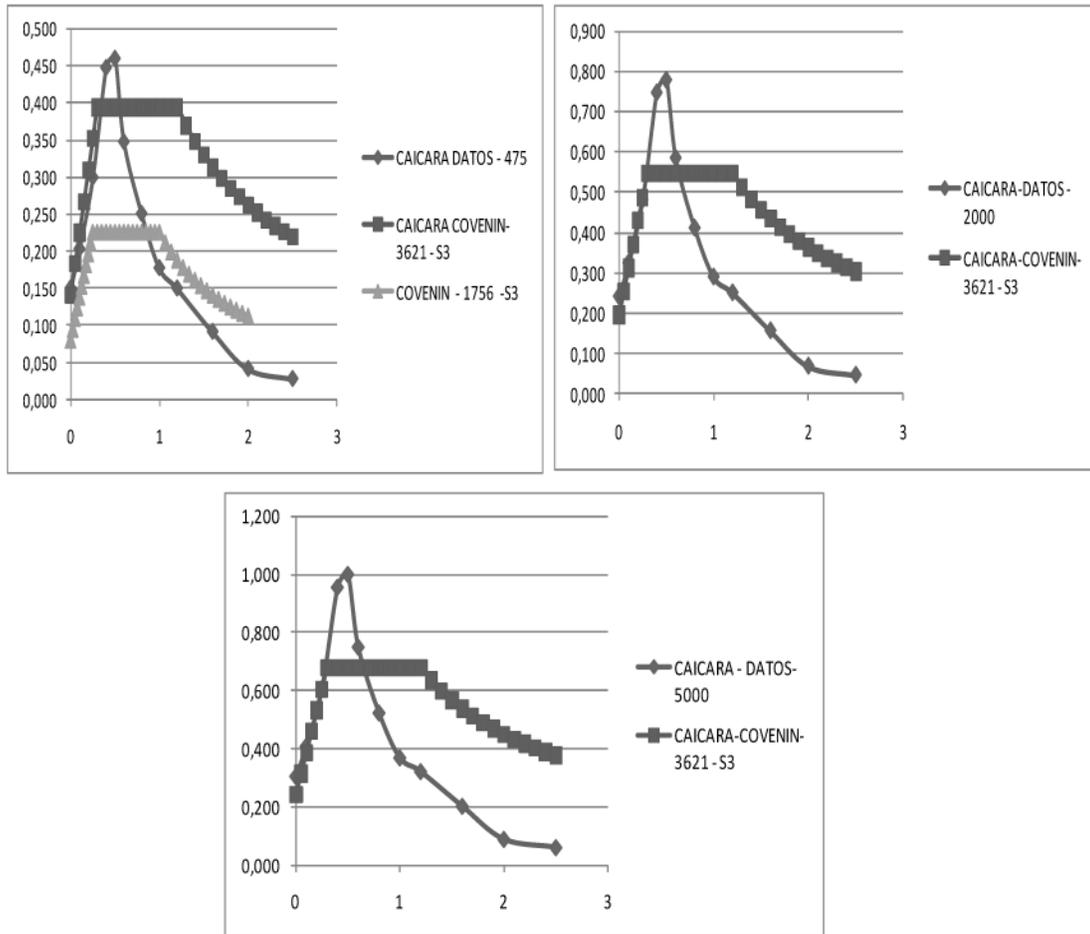
Para el caso del período de retorno de 1000 años, los espectros obtenidos con la base de datos y con la norma 3621 se ajustan bastante bien para períodos de oscilación por debajo de 0,6 s. Por encima de ese valor el espectro de la norma 3621 se mantiene por encima de los otros dos mientras que el espectro del modelo se acerca al de la amenaza.

Para el caso del PR de 2500 años, el espectro con la base de datos está por encima del dado por la norma 3621 para períodos de oscilación por debajo de 0,6 s. Para valores de  $T_i$ , mayores que 0,6 s el espectro del modelo cae y se ajusta a la amenaza mientras que el correspondiente a la norma 3621 se mantiene por encima de los otros dos.

Para los tres períodos de retorno indicados, es decir, 475, 1000 y 2500 años, el espectro para perfil S1 calculado con la amenaza realizada para Caicara resultó menor que todos los otros espectros elásticos. Véase la Fig. 3.

Esto demuestra que ambas normas son conservadora para esta zona sísmica de baja intensidad.

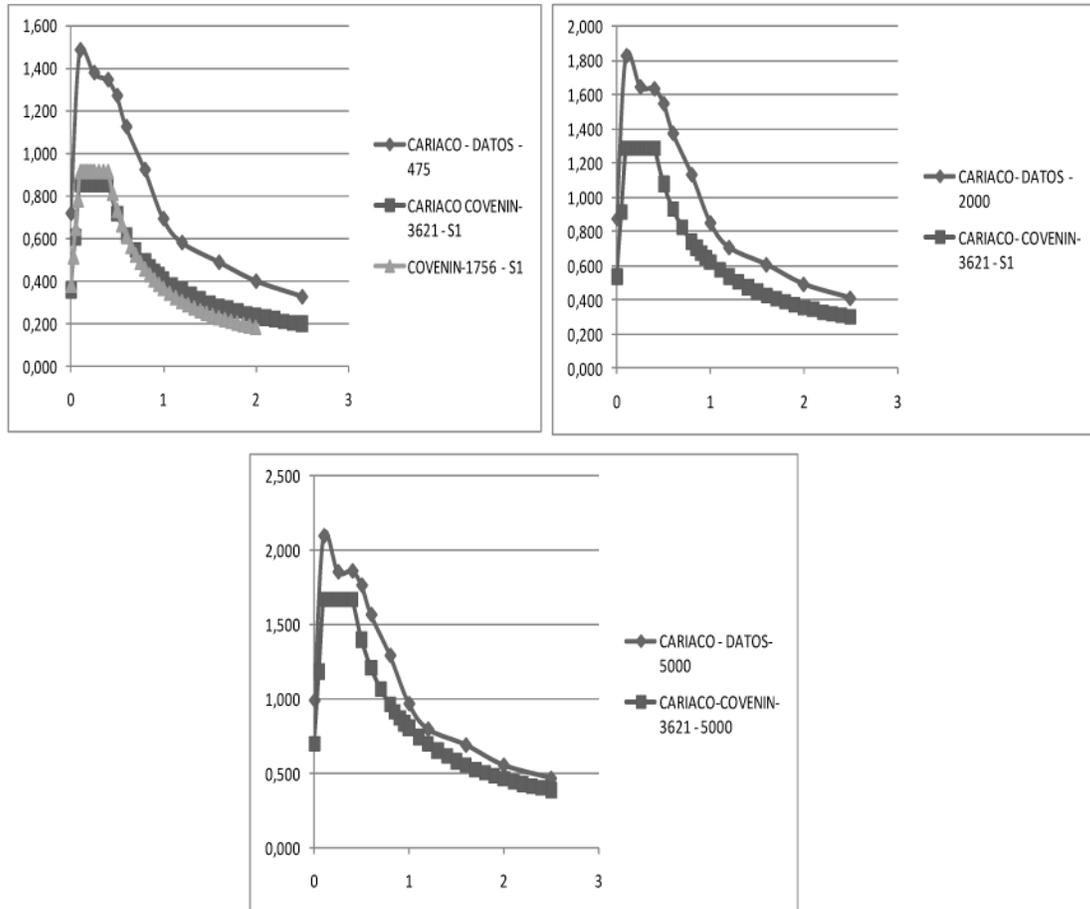
En la Fig. 4 se muestran los espectros para Caicara para 475, 2000 y 5000 años en perfil S3. Para el caso del período de retorno de 475 años, la norma 3621 proporciona el espectro más conservador. El espectro calculado con la base de datos de Caicara es aún más conservador para los períodos de oscilación bajos pero luego su rama descendente se ajusta a la del espectro de la amenaza sísmica del sitio.



**Fig. 4. Comparación de los espectros elásticos en perfil S3 para Caicara para PR de 475, 2000 y 5000 años, respectivamente..**

Para el caso de los períodos de retorno de 2000 y 5000 años, la norma 3621 es significativamente conservadora con la excepción de los períodos de oscilación bajos. Véase la Fig. 4.

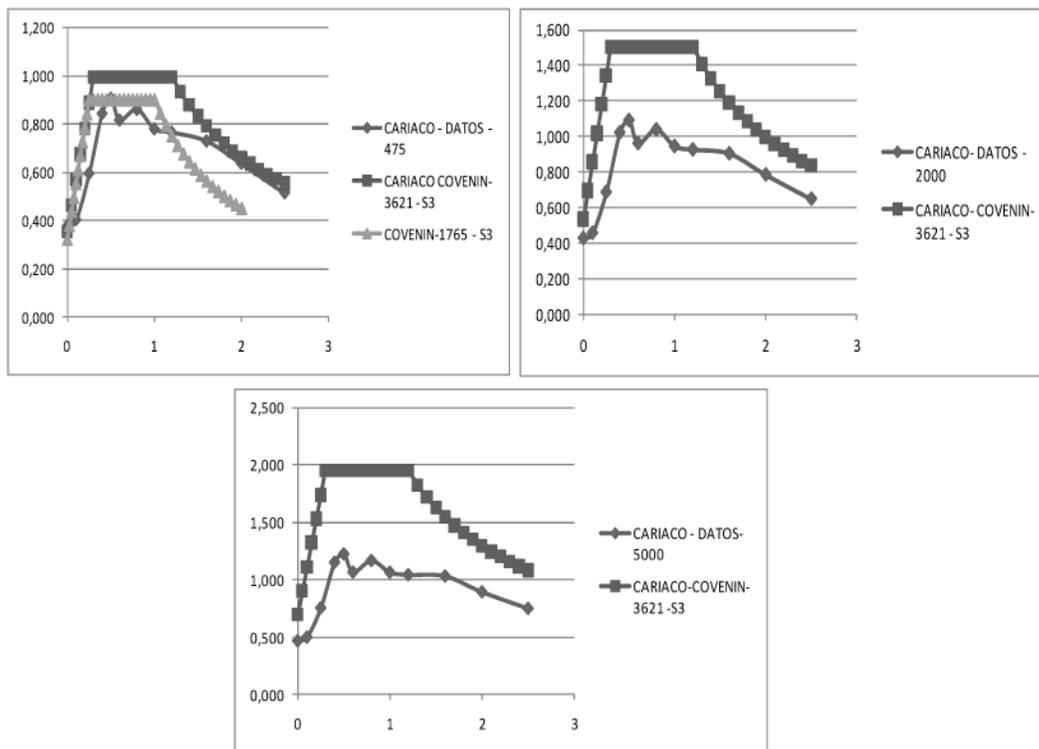
En la Fig. 5 se muestran los espectros para Cariaco para 475, 2000 y 5000 años en perfil S1. Para el caso del período de retorno de 475 años, las normas 1756 y 3621 proporcionan espectros bastante parecidos. En este caso, el espectro calculado con la base de datos de Cariaco resulta el más conservador. Lo mismo sucede para los períodos de retorno de 2000 y 5000 años. Es oportuno recordar que la base de datos para el estudio de Cariaco utiliza solamente sismos de magnitudes altas, por lo que es una base de datos muy conservadora.



**Fig. 5. Espectros elásticos para PR de 475, 2000 y 5000 años, en la superficie del terreno para perfil S1 (Roca), en la población de Cariaco.**

En la Fig. 6 se muestran los espectros para Cariaco para 475, 2000 y 5000 años en perfil S3. Para el caso del período de retorno de 475 años, la norma 3621 proporciona un espectro ligeramente más conservador que la 1756 y la base de datos de Cariaco. El espectro calculado con la base de datos de Cariaco se ajusta al de la norma 1756 para períodos bajos pero luego se ajusta al de la norma 3621 para períodos altos.

Para los casos de 2000 y 5000 años en perfil S3, los espectros calculados con la norma 3621 son más conservadores que los obtenidos con la base de datos de Cariaco. Si la base de datos tuviera sismos de magnitudes más bajas, es posible que ocurrieran amplificaciones para algunas ordenadas espectrales y los espectros de la base de datos se parecieran más a los de la norma 3621. Esto habría que evaluarlo en trabajos adicionales.



**Fig. 6. Espectros elásticos para PR de 475, 2000 y 5000 años, en la superficie del terreno para perfil S3, en la población de Cariaco.**

Aunque el resultado presentado en este artículo no es conclusivo con relación a los valores absolutos de los espectros en las dos zonas sísmicas evaluadas, lo que el autor trata de resaltar es que existe una gran variabilidad en los resultados obtenidos con las dos normas sismo-resistentes del país, COVENIN 1756-2001 y COVENIN 3621, lo cual debe ser corregido para garantizar diseños homogéneos con ambas para los 475 años de período de retorno. En tal sentido, es conveniente utilizar un método único definir los espectros de diseño elásticos para las dos normas, el cual se presenta en la próxima Sección de este artículo.

### 3. NUEVO MÉTODO PARA DEFINIR LOS ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS A INCLUIR EN LAS NORMAS COVENIN 1756 Y 3621

En esta sección se propone la revisión de las formas espectrales para diseño elástico y la manera de obtener dichas formas espectrales en las normas COVENIN 1756-2001 y 3621.

El procedimiento actual para construir la forma espectral de diseño contenido en ambas normas fue preparado utilizando tanto la aceleración máxima del terreno proveniente de la amenaza sísmica, como las propiedades sismo elásticas del perfil geotécnico. La consideración de las propiedades sismo elásticas del sitio ha sido un factor determinante para mejorar los espectros de diseño elásticos y muchos países han incluido en sus normas el uso de dichas propiedades para preparar los espectros de diseño, solo que con ligeras variaciones en su aplicación de un país a otro.

Las propiedades sismo elásticas influyen de manera muy importante en la forma del espectro elástico y lo ideal sería contar con buenos registros en cada uno de dichos perfiles a fin de preparar los espectros de diseño. Sin embargo, es necesario destacar que existen muchas condiciones geotécnicas particulares para las cuales no es posible obtener registros debido a que, por una parte, provienen de procesos geológicos distintos y, por otra parte, existen limitaciones económicas para colocar instrumentos de medición en todos los sitios con cambios en las condiciones geotécnicas.

En consecuencia, en las últimas décadas, ha aumentado el uso de modelos matemáticos capaces de

predecir la respuesta dinámica de perfiles geotécnicos dada la buena comparación de dichas predicciones con los registros reales obtenidos para algunos casos particulares. En los últimos años también ha aumentado la cantidad de registros acelerográficos obtenidos en sitios con afloramientos rocosos, los cuales resultan de fundamental importancia para la formulación de la metodología propuesta en este artículo, tal como veremos más adelante.

La combinación de modelos matemáticos predictivos con un mayor número de registros en afloramientos rocosos ha permitido estudiar las respuestas de los distintos perfiles geotécnicos y anticipar adecuadamente los espectros de diseño elásticos para cualesquiera condiciones geotécnicas particulares que pudiese haber en una zona sísmica. Esto ha ampliado la posibilidad de realizar estudios de microzonificación sísmica y permitir la incorporación de aspectos de microzonificación en la norma sismorresistente.

Adicionalmente, se han desarrollado metodologías para calcular la amenaza sísmica para los espectros en roca, lo cual permite mejorar las metodologías para la definición de las formas espectrales de diseño elástico sin tener que depender únicamente de la aceleración máxima del terreno. Nótese que todo lo anterior implica un cambio en la formulación de la amenaza sísmica del país ya que con este método la misma deberá expresarse no solamente por la aceleración máxima del terreno sino también por la forma espectral en roca.

### 3.1 NUEVO PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR LOS ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICO PARA LAS NORMAS COVENIN 1756-2001 Y 3621

El procedimiento propuesto para unificar la preparación de los espectros de diseño elásticos a incluir en las normas COVENIN 1756 y 3621 está compuesto por los siguientes pasos:

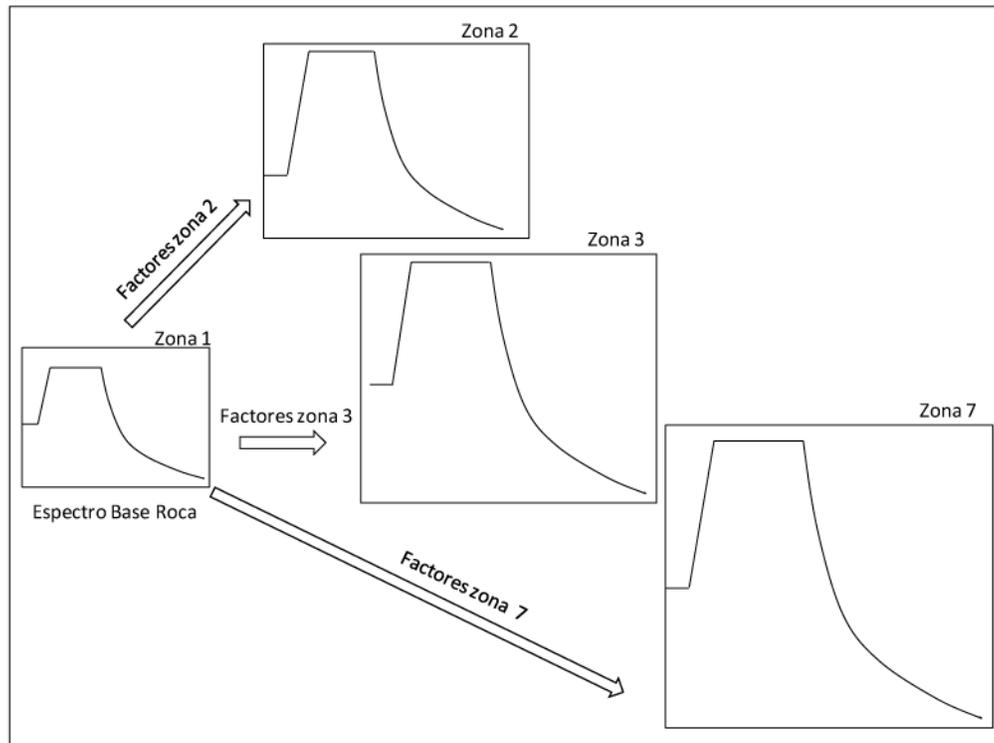
a) Definir los espectros en roca para las distintas zonas sísmicas del país para los distintos períodos de retorno deseados. Para esto será necesario preparar la amenaza en términos no solo de la aceleración máxima del terreno, sino de las formas espectrales en roca utilizando las nuevas leyes de atenuación disponibles.

b) Definir los parámetros y el procedimiento con los cuales se deben ajustar o idealizar los espectros en roca para cada período de retorno en las distintas zonas sísmicas. De esta manera se tienen las formas espectrales suavizadas en roca para las distintas zonas sísmicas.

c) Comparar los espectros en roca en cada zona sísmica para los distintos períodos de retorno. De esta manera es posible proponer un procedimiento para pasar de un período de retorno a otro en roca en cada zona sísmica. Aquí aplican los denominados factores de proporcionalidad entre espectros comúnmente utilizados en la ingeniería sísmica sobre los cuales el autor ha realizado algunos trabajos [7].

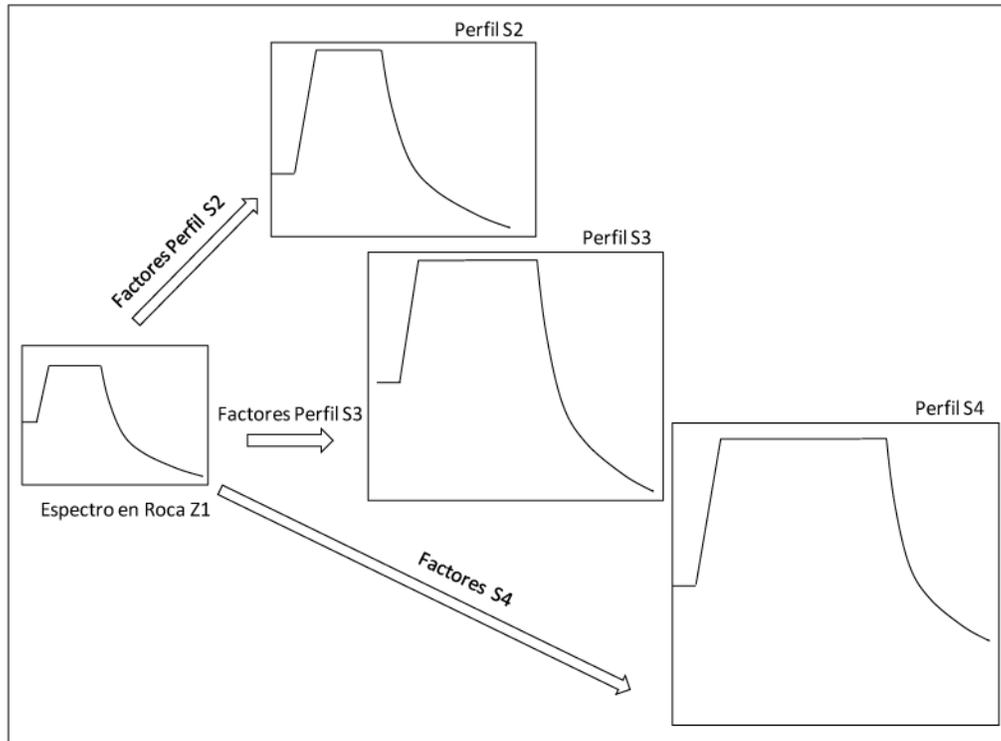
d) Comparar los espectros en roca de las distintas zonas sísmicas para los diferentes períodos de retorno. De esta manera se definiría los factores de ajuste por intensidad que permitirían pasar de una zona sísmica a otra. Esto se ilustra en la Fig. 7.

e) Revisar las propiedades sismo-elásticas de cada perfil geotécnico, es decir, definir el perfil de velocidades de ondas de corte,  $V_s$ , y el espesor del depósito de suelos. Aquí debe considerarse adecuadamente el uso de espesores hasta conseguir materiales con  $V_s$  superior a los 500-700 m/s para definir la roca y la influencia de los 30 metros superiores de cada perfil en la forma espectral correspondiente en cada zona sísmica. De esta manera se podrá explorar en detalle la influencia de las velocidades en los primeros 30 m del perfil geotécnico en la respuesta en la superficie del depósito para casos particulares tal como el de los Palos Grandes en Caracas.



**Fig. 7. Definición de un espectro base en roca una zona sísmica y obtención de los correspondientes a otras zonas sísmicas mediante factores de ajuste, para un período de retorno cualquiera.**

f) Para cada zona sísmica, comparar los distintos espectros correspondientes a los distintos perfiles geotécnicos incluidos y definir los parámetros y el procedimiento para transformar la forma espectral base de cada zona sísmica en roca obtenida en, d, en la forma espectral para el perfil correspondiente. Esto requiere la tipificación de los espectros para cada perfil geotécnico en cada zona sísmica ya que los parámetros de condiciones locales pueden variar con la intensidad de la zona sísmica. De esta manera se prepararía el espectro de diseño elástico de acuerdo con las características del sitio para el período de retorno en consideración. Esto se ilustra en la Fig. 8.



**Fig. 8. Definición de los espectros elásticos para distintos perfiles geotécnicos S2 a S4 a partir de un espectro en roca para la zona sísmica correspondiente y un período de retorno cualquiera.**

### 3.2 Pasos a realizar para completar la nueva metodología propuesta para preparar los espectros de diseño en las Normas COVENIN 1756-2001 y 3621

Aunque existen leyes de atenuación complejas para obtener espectros elásticos en distintos perfiles geotécnicos [8], en la opinión del autor existe tal variabilidad en las condiciones locales que resulta imposible hacer que dichas leyes sean capaces de satisfacer todas las condiciones. En consecuencia, para estudios de microzonificación o para estudios detallados en muchas zonas el procedimiento convencional de estudios de respuesta dinámica se seguirá utilizando por bastante tiempo.

Estas dos maneras de trabajar deben ser complementarias y no excluirse en ningún caso. En consecuencia, el procedimiento para completar la nueva metodología propuesta para ajustar la norma utiliza estudios de respuesta dinámica y amenaza en roca. Las amenazas para espectros en distintos perfiles obtenidas de las leyes de atenuación a su vez, proporcionan patrones de comparación macro.

El procedimiento propuesto implica primeramente, la revisión de las características sismo tectónicas y los mecanismos focales de las fuentes conocidas en Venezuela

a fin de poder seleccionar adecuadamente los registros de aceleraciones a incluir en la base de datos. FUNVISIS y varias universidades del país cuentan con suficiente información al respecto. De la misma manera, se deben lograr bases de datos bien balanceadas.

Establecer tentativamente los sitios en los que se desea obtener la amenaza en términos de espectros para afloramientos rocosos. Buscar en las bases de datos mundiales registros de sismos obtenidos en afloramientos rocosos que cumplan con las características de cada fuente sísmica, a saber: a) mecanismo focal, b) distancia fuente-sitio y c) número de eventos por magnitud.

Evaluar las estadísticas de las ordenadas espectrales de los distintos espectros en roca contenidos en la base de datos de cada zona sísmica para compararlos con los espectros obtenidos de la amenaza para los distintos períodos de retorno. De esta manera será posible establecer la robustez de la base de datos y la compatibilidad del estudio con la amenaza del sitio.

El siguiente paso consistiría en realizar análisis de respuesta dinámica para las condiciones ideales consideradas representativas de distintos perfiles geotécnicos característicos, es decir, desde muy flexibles a muy rígidos. Promediar los distintos espectros obtenidos

para la superficie del terreno en cada perfil considerado y aplicar la metodología para definir los espectros para distintos períodos de retorno presentada en las secciones anteriores.

La determinación de los factores requeridos tanto para establecer los espectros en roca para las distintas zonas como para ajustar los espectros a los distintos perfiles geotécnicos dentro de una misma zona están en desarrollo todavía. A tal efecto, un excelente mecanismo para la generación de esta parte de la información consiste en la realización de tesis de grado para pregrado y postgrado en las universidades nacionales.

---

#### 4. CONCLUSIONES

La comparación de los espectros obtenidos con las normas COVENIN 1756-2001, 3621 y los estudios realizados con bases de datos en las poblaciones de Caicara y Cariaco sugieren que ambas normas COVENIN sobreestiman de manera importante los espectros en perfiles S1 (roca) y S3. La norma 3621 resulta mucho más conservadora que la 1756 y que las bases de datos utilizadas para ambas poblaciones. Esto es preocupante debido a que las bases de datos fueron concebidas de manera conservadoras, es decir, las mismas consideran más acelerogramas de magnitudes altas que de magnitudes bajas. Adicionalmente, existen diferencias significativas entre ambas normas para el período de retorno de 475 años en los dos perfiles estudiados. Lo anterior representa una situación no deseable y es conveniente unificar el método de obtención de los espectros elásticos de diseño en ambas normas COVENIN.

En consecuencia, en este trabajo también se propone un nuevo método para preparar los espectros elásticos el cual se basa en la obtención de un espectro elástico base para roca en una zona cualquiera y para un período de retorno base. Este espectro base puede primeramente, ser ajustado para cualquier otro período de retorno en ese mismo perfil de roca.

Para pasar de una zona a otra se aplicarían factores de intensidad lo cual permitiría obtener el espectro en roca para el período de retorno en consideración. Una vez obtenidos los espectros elásticos en roca de cada zona y período de retorno, el siguiente paso sería obtener los correspondientes a los distintos perfiles geotécnicos. Esto se lograría aplicando otro grupo de factores de ajuste dependientes de la condición local. La información disponible del autor sugiere que estos factores de condiciones locales podrían ser distintos para las distintas zonas sísmicas, es decir, los parámetros de

condiciones locales para pasar de S1 a S3 en la zona 1 podrían ser diferentes a los requeridos para pasar a los mismos perfiles en la zona 7. Esto es necesario definirlo en detalle en los estudios que se deben realizar para la aplicación del método. Para lograr este objetivo el autor sugiere programas de trabajo en distintas universidades.

Esta metodología propuesta para preparar los espectros elásticos resulta muy sencilla para los usuarios y elimina la dependencia de los espectros elásticos de las aceleraciones máximas del terreno. No obstante, la misma implica cambiar la determinación de la amenaza sísmica para expresarla en función de los espectros elásticos en roca en lugar de las aceleraciones máximas del terreno, tal como sucede hasta ahora.

---

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los ingenieros Jorge González y José Alviar la facilitación de archivos resultantes de los cálculos de los estudios de respuesta dinámica para Cariaco y Caicara, respectivamente, utilizados en este trabajo. Similarmente, se agradece a Geohidra Consultores y a la Constructora Odebrecht, el haber permitido la utilización de los informes preparados para la amenaza sísmica del Tercer Puente sobre el Río Orinoco. Finalmente, el autor agradece al ingeniero Rafael Loboguerrero por su apoyo en la elaboración de varios de los espectros utilizados en el trabajo.

---

#### 6. REFERENCIAS

- [1] Norma COVENIN 1756-2001, *Edificaciones Sismorresistentes*, Funvisis, Caracas, Venezuela, 2001.
- [2] Norma COVENIN 3621, *Instalaciones industriales sismorresistentes*, FONDONORMA, Caracas, Venezuela, 2002.
- [3] Geohidra Consultores, *Estudio de amenaza sísmica y caracterización dinámica preliminar para el tercer puente sobre el río Orinoco entre las poblaciones de Caicara y Cabruta. Estados Guárico y Bolívar. Venezuela*, DGP00648-4, Abril 2007.
- [4] González J., *Microzonificación Sísmico-Geotécnica con base en Análisis Dinámico y Propagación de Ondas: Aplicación a la Región de Cariaco, Edo Sucre*, Trabajo Especial de Grado para Magister Scientiarum, Universidad Central de Venezuela, Agosto 2002.

- [5] Kramer. Steven, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, 1996.
- [6] Echezuría, H. "Preparación de espectros elásticos para diferentes períodos de retorno a partir de estudios de respuesta dinámica de perfiles geotécnicos", *Revista Técnica Y&V*, No 12, Junio, 2010, pp 40-50.
- [7] Echezuría, H., "Análisis estadístico de las colas de las distribuciones de probabilidades de las ordenadas espectrales para la preparación de espectros elásticos con diferentes períodos de retorno" *Revista Técnica Y&V*, Enero 2011.
- [8] Chiou, B and R. Youngs, NGA model for average horizontal component of peak ground acceleration and response spectra, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, Peer 2008/09, Univ. of Calif. Berkeley, November 2008.

