

# ESPECTROS DE DISEÑO PARA LAS CIUDADES PRINCIPALES DE PUERTO RICO BASADO EN REGISTROS DE ACELERACIÓN MUNDIALES

José A. Martínez Cruzado<sup>1</sup>, Janira Irizarry Padilla<sup>2</sup> y Genock Portela Gautier<sup>3</sup>

**RESUMEN:** En el presente artículo se desarrollan espectros para el diseño elástico sísmoresistente para las tres principales zonas metropolitanas de Puerto Rico. El desarrollo de los espectros se basa en registros de aceleración obtenidos alrededor del mundo seleccionados de entre una base de datos de más de 15,000 registros. Cada registro de aceleración tiene que satisfacer ocho parámetros para cualificar. Los espectros de respuesta elástica son obtenidos para todos los registros que satisfacen los parámetros estipulados, y se establece la envolvente de estos espectros. Los registros cuyos espectros predominan la envolvente son evaluados más allá para determinar si existe alguna razón de peso para ser descartados. La envolvente final es suavizada para sugerir el espectro de diseño elástico. El espectro suavizado es comparado con estudios previos y con el Código de Edificación Uniforme de Estados Unidos (UBC) de 1997. El presente estudio concluye que la clasificación de zona sísmica 3 asignada por UBC para Puerto Rico es conservadora para la zona metropolitana de San Juan y, por otro lado, riesgosa para las ciudades de Ponce y Mayagüez.

## INTRODUCCIÓN

La Isla de Puerto Rico, conocida como “La Llave de las Américas,” es la menor de las Antillas Mayores. Está localizada entre las latitudes 18°N y 18.5°N y las longitudes 65.5°O y 67.5°O. Cuenta con una población de 3.8 millones de habitantes que para el área que cubre de unos 9,000 km<sup>2</sup> resulta ser el país de mayor densidad poblacional en latinoamérica.

La Isla está expuesta a una gran actividad sísmica pues se halla rodeada por fallas sísmicas e incluso posee un sinnúmero de fallas dentro de la misma. Estas fallas son el resultado del movimiento tectónico que ocurre en la interfase entre la placa del Caribe, donde se halla Puerto Rico, y la placa de Norteamérica. De hecho, desde la llegada de los españoles en 1493, se han documentado varios terremotos destructivos como lo fueron en los años 1670, 1787, 1868 y 1918.

Desde la instalación de la red original de movimiento fuerte en Puerto Rico a mediados de la década de 1970's no se ha registrado ningún terremoto destructivo. Es por ello que para el análisis y diseño sísmoresistente de estructuras los ingenieros se ven forzados a utilizar registros de terremotos importados.

En este artículo se utiliza una base de datos amplia de registros de aceleración obtenidos alrededor del mundo para recomendar espectros elásticos para el diseño sísmoresistente sobre roca para la ciudad capital de San Juan Bautista y las ciudades de Ponce y Mayagüez. Los espectros para diseño elástico recomendados son comparados con estudios previos y con el UBC de 1997 el cual ha sido adoptado en Puerto Rico.

## ESTUDIOS PREVIOS

Por años en Puerto Rico se ha utilizado por omisión el registro de El Centro, California de 1940 para cotejar los diseños estructurales. Este registro posee una aceleración máxima del suelo de 0.33g, un contenido de frecuencia en donde predomina aproximadamente 1.5 Hz y una duración del movimiento fuerte de 26 sec basado en la duración de corchete con 0.05g (Naeim, 1989).

A principios de la década de 1980 se recomendó que se utilizara, para diseño contra colapso, el componente horizontal S69E del registro de Taft obtenido el 25 de julio de 1952 durante el terremoto de Kern County, California (Housner, 1980). Esta sugerencia se basaba en la presunción de que pudiera haber un terremoto en la trinchera de Puerto Rico o en el Canal de La Mona, que produjera un largo de ruptura de falla de 160 km y que esto ocurriría aproximadamente a 40 km de la costa. El registro de Taft exhibe una aceleración máxima de 0.18g, una frecuencia predominante de 1.4 Hz y una duración del movimiento fuerte de 19 sec. La recomendación de Housner fue acogida por el código de diseño sísmoresistente de Puerto Rico en 1987. En su estudio, Housner había reconocido no haber considerado las fallas sísmicas existentes dentro de la Isla pues para efectos ingenieriles pudieran declararse no activas. Sin embargo, a raíz de un movimiento telúrico de  $m_b = 4.6$  ocurrido en el mes de mayo de 1987 en la zona suroeste de la Isla, la sismicidad dentro de la Isla se ha incrementado sustancialmente.

En un estudio realizado para la Comisión de Seguridad Sísmica de Puerto Rico sobre peligrosidad sísmica se indica que la atenuación de ondas en la Isla es similar a la determinada para el este de los Estados Unidos (McCann, 1994). En

---

<sup>1</sup> Catedrático Asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, PR 00681-9041.

<sup>2</sup> Estudiante Graduada, Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

<sup>3</sup> Estudiante Graduado, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, PR 00681-9041.

el mismo estudio se presentan mapas de Puerto Rico con contornos de probabilidades calculadas de experimentar aceleraciones del suelo que exceden 0.1g en 50 y 100 años de exposición.

En el 1999 la compañía Dames & Moore realizó un estudio de análisis probabilístico de peligrosidad sísmica donde sugirió espectros de diseño elástico para seis ciudades en Puerto Rico incluyendo San Juan, Ponce y Mayagüez, para recurrencias de 475 y 2,475 años. Las aceleraciones máximas del suelo obtenidas se suplen en la Tabla 1. Este estudio se basó primordialmente en catálogos históricos de sismos en la región de Puerto Rico e hizo uso de las zonas sísmicas y magnitudes máximas creíbles que McCann había establecido en su estudio. En el mismo año Puerto Rico adopta el UBC de 1997 donde se establece una aceleración máxima del suelo para diseño de 0.30g para la Isla grande y 0.40g para las Islas de Vieques y Culebra.

**Tabla 1: Aceleración máxima en la roca según estudio de Dames & Moore**

Ciudad	Aceleración Máxima en la Roca	
	Recurrencia 475 años	Recurrencia 2,475 años
San Juan	0.26g	0.45g
Ponce	0.36g	0.68g
Mayagüez	0.37g	0.66g

## FALLAS SÍSMICAS EN LA ZONA DE PUERTO RICO

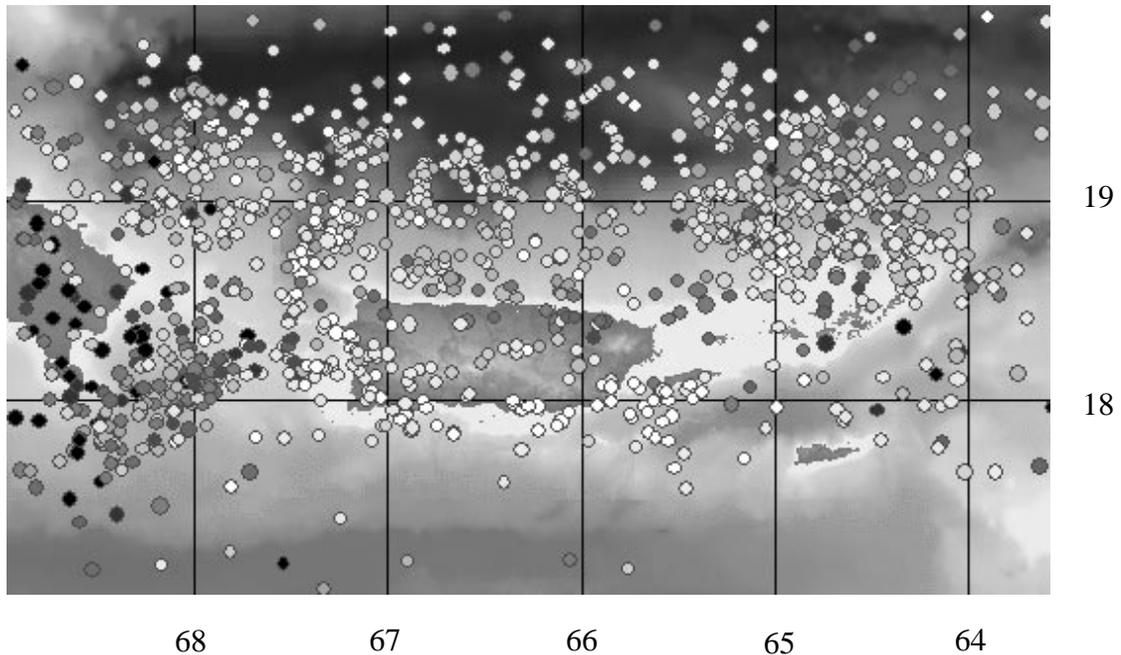
La Red Sísmica de Puerto Rico registra aproximadamente 600 sismos al año los cuales, según la Figura 1, se dispersan entre las fallas principales de la Trinchera de Puerto Rico al norte, el Pasaje de Anegada al este, la Fosa de Muertos al sur, el Cañon de La Mona al oeste y las Grandes Zonas de Fallas del Norte y Sur de Puerto Rico dentro de la Isla.

La Trinchera de Puerto Rico es donde chocan las placas del Caribe y de Norteamérica. Esta falla es principalmente de escurrimiento lateral izquierdo con un pequeño componente de subducción. El ángulo de buzamiento es de aproximadamente 45°, y los sismos se generan hasta una profundidad de 150 km. La Fosa de Anegada es una zona de fallas normales donde la profundidad focal de los sismos allí generados usualmente no sobrepasan los 30 km. El Cañon de La Mona también es una zona de fallas sísmicas primordialmente normales que puede generar sismos hasta una profundidad de 200 km. Esta zona de falla implica una separación gradual entre La Hispaniola y Puerto Rico. La Fosa de Muertos es una zona de subducción de baja sismicidad en donde la Placa del Caribe se sumerge bajo la plaqueta de la Isla de Puerto Rico con un ángulo de buzamiento de unos 11° y donde los sismos no ocurren a una profundidad mayor de 50 km. Las fallas sísmicas dentro de la Isla son principalmente de escurrimiento lateral izquierdo y las profundidades focales de los sismos no exceden 40 km.

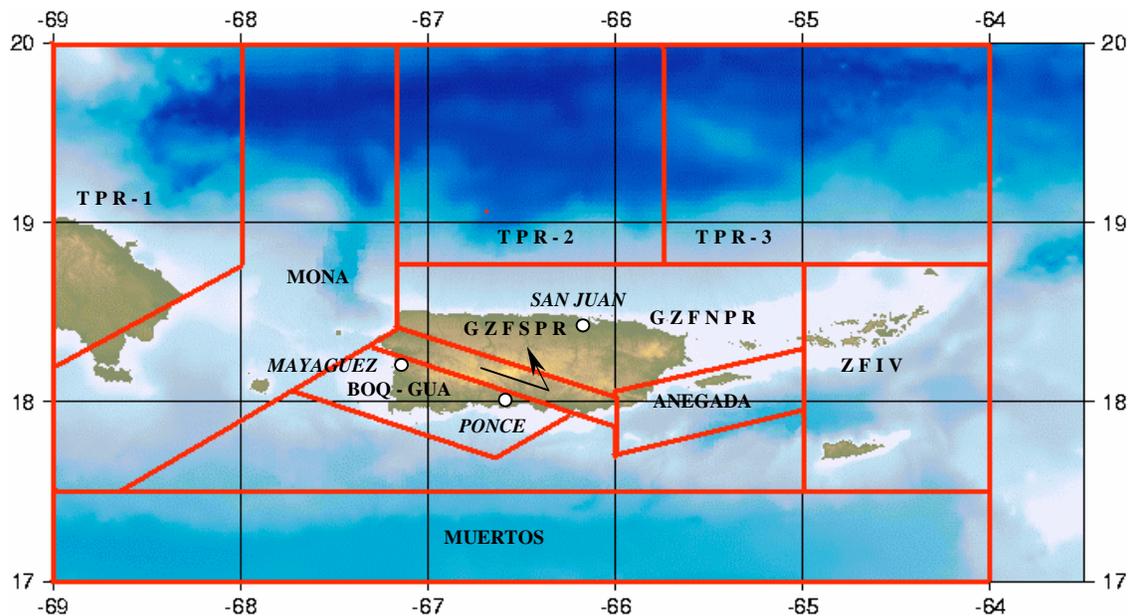
Basado primordialmente en terremotos históricos, largos de fallas y formaciones geológicas se ha establecido para este estudio que la magnitud máxima creíble para las fallas sísmicas en alta mar es de 7.5 excepto en la Trinchera de Puerto Rico que pudiera alcanzar 8.0, mientras que para las fallas dentro de la Isla una magnitud máxima creíble de 6.5 ha sido establecida.

Basado en la dispersión de los sismos registrados y en las características de las fallas sísmicas principales se han seleccionado diez zonas de fuentes sísmicas según la Figura 2. Puede notarse como la Trinchera de Puerto Rico ha sido discretizada en tres partes a saber: la I es la correspondiente a las cercanías de La Hispaniola, la II está propiamente al

norte de la Isla grande, la III está más al este y se conoce comúnmente como “El Sombrero de Puerto Rico”. En adición, parte de la trinchera se solapa con el Cañon de La Mona al oeste de la Isla. Dentro de la Isla se han establecido tres zonas de fallas sísmicas: La Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico, La Gran Zona de Fallas del Sur de Puerto Rico y la zona de fallas de Boquerón-Guánica. Por último se establecieron las zonas de falla de la Fosa de Muertos y la de las Islas Vírgenes al sur y al este de la Isla, respectivamente. La Figura 2 también presenta la localización de las ciudades de San Juan, Ponce y Mayagüez.



**Figura 1: Sismos registrados en Puerto Rico durante los años de 1997 al 2001.**



**Figura 2: Zonas de fallas sísmicas establecidas para Puerto Rico.**

La Tabla 2 resume las características de cada una de las zonas de fallas sísmicas seleccionadas basado en la magnitud máxima creíble y en la profundidad focal máxima. En adición se establece la distancia epicentral mínima y máxima entre las ciudades consideradas y cada una de las zonas sísmicas.

**Tabla 2: Características de las zonas de falla establecidas**

Zona de Falla Sísmica	Magnitud Máxima	Profundidad Máxima (km)	Distancia Epicentral Mínima (km)			Distancia Epicentral Máxima (km)		
			San Juan	Ponce	May.	San Juan	Ponce	May.
			T P R – 1	8.0	150	202	167	107
T P R – 2	8.0	150	32	81	59	207	243	253
T P R – 3	8.0	150	50	122	160	285	357	392
MONA	7.5	200	44	20	20	137	93	136
G Z F N P R	6.5	40	64	0	0	179	124	100
G Z F S P R	6.5	40	46	64	123	135	175	232
ANEGADA	7.5	30	109	41	19	380	331	296
BOQ - GUA	6.5	40	107	56	78	349	302	363
MUERTOS	7.5	50	0	20	21	128	193	239
Z F I V	7.5	50	118	170	227	252	291	345

### SELECCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA BÚSQUEDA DE REGISTROS DE ACELERACIÓN

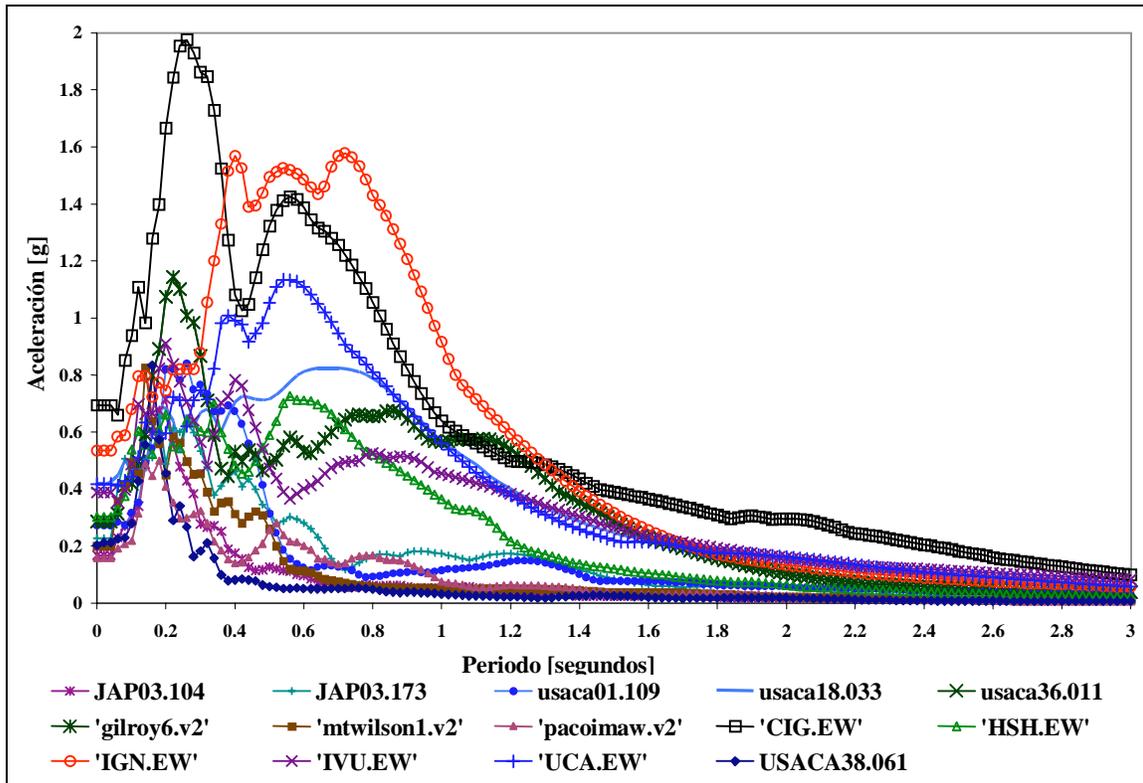
Para realizar la búsqueda de registros de aceleración mundiales que pudieran ser aplicables, por ejemplo, a la zona metropolitana de San Juan se utilizó inicialmente la base de datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) la cual contiene más de 15,000 registros de aceleración. Para poder manejar estos datos se fijaron rangos de valores a una serie de parámetros de manera que se escogieran los registros de aceleración que estrictamente cumplieran con el rango de valores establecido para todos y cada uno de los parámetros seleccionados. Se estableció que; a) los registros tenían que haberse obtenido en campo abierto, b) en suelos rocosos, c) sólo se considerarían componentes horizontales y d) registros corregidos. Además, para cada una de las diez zonas de fallas sísmicas los registros tenían que haber sido obtenidos dentro del rango de distancias epicentrales establecido según la Tabla 2. El terremoto, del cual se generó el registro, tenía que ser de una magnitud mayor o igual a 5.0 y menor o igual a la magnitud máxima creíble para la zona en consideración. Por último, la profundidad focal del sismo no podía exceder el establecido para la zona sísmica correspondiente.

La base de datos de NOAA establece registros de aceleración provenientes de terremotos con magnitudes de diferentes escalas como la local, la de superficie y la de momento. En la inmensa mayoría de los casos no existe la información necesaria para realizar la conversión entre una escala y la otra, y por otro lado se entiende que las discrepancias que pueden haber entre las diferentes escalas no es muy significativo con la excepción de que la escala local se satura aproximadamente a una magnitud de 7.0. Para efecto del presente trabajo se tomaron las magnitudes tal y como han sido publicadas por NOAA.

En adición a la base de datos de NOAA se consideraron registros de aceleración no incluidos en dicha base de datos. Algunos de los registros adicionales considerados fueron los de los terremotos de Landers (1992) y Northridge (1994).

### RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA DE LOS REGISTROS DE ACELERACIÓN

Luego de seleccionar los registros de aceleración que cumplían con todas los requisitos establecidos para cada una de las diez zonas sísmicas delineadas se procedió a generar el espectro de respuesta para cada registro de aceleración para cada zona delineada. Entre las diez zonas sísmicas establecidas las zonas de la Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico y la zona de Trincheras II fueron las que generaron los espectros de respuesta mayor para la ciudad de San Juan. A modo de ejemplo la Figura 3 muestra los espectros de respuesta de los principales registros de aceleración que dominaron para la Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico relativa a la ciudad de San Juan. Los registros que predominan los espectros de respuesta son CIG.EW y IGN.EW, ambos obtenidos en la ciudad de San Salvador durante el terremoto del 10 de octubre de 1986 de una magnitud de momento de 5.4 y de una profundidad focal de 8 km. Los registros de aceleración fueron obtenidos en suelo competente y tuvieron una distancia epicentral dentro del rango de 3 a 7 km.



**Figura 3: Espectros de respuesta de aceleración para la ciudad de San Juan pertenecientes a la Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico.**

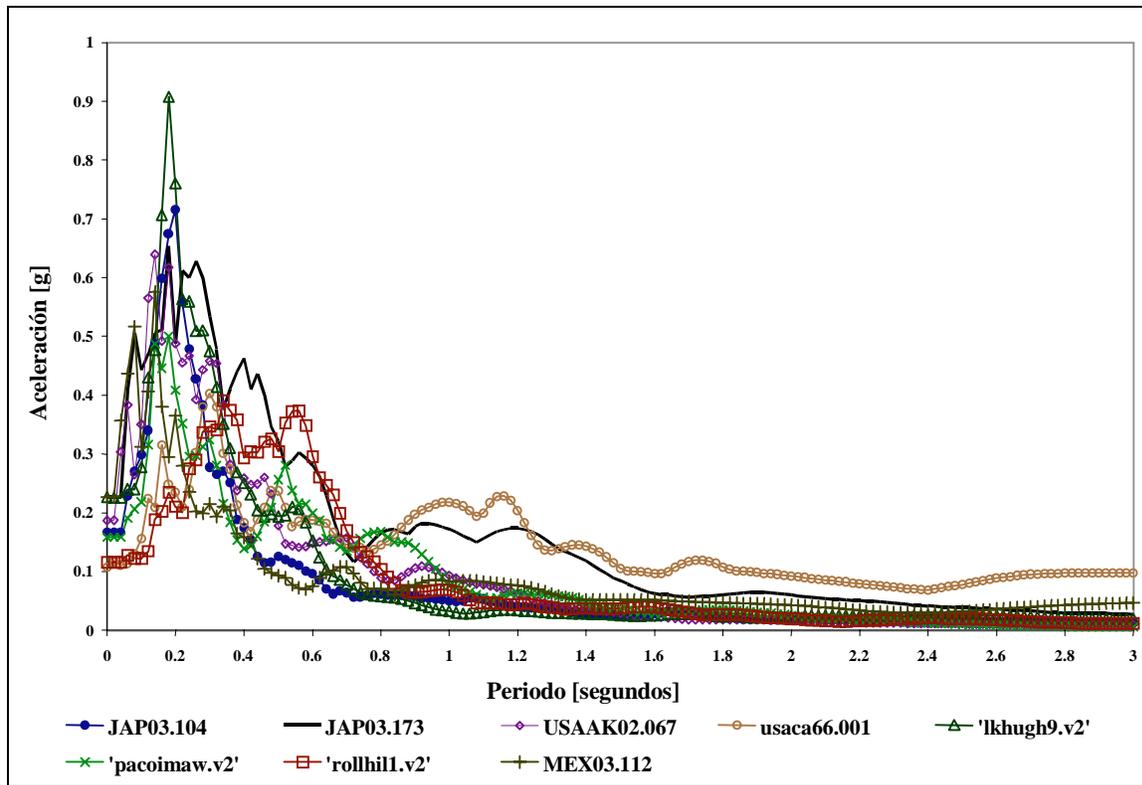
Si se delinea la zona metropolitana de San Juan entre las latitudes 18.3°N a 18.5°N y entre las longitudes 65.9°O y 66.2°O se encuentra que 11 temblores han sido registrados por la Red Sísmica de Puerto Rico en los últimos once años con una profundidad focal igual o menor de 20 km. Para el mismo periodo de tiempo y aún con un área relativamente menor, las zonas de las siguientes ciudades principales de Puerto Rico (Ponce y Mayagüez) registraron 58 y 83 sismos. Esto muestra la relativa poca sismicidad de la zona metropolitana de San Juan. Es por ello que se consideró muy poco probable que un sismo como el de El Salvador de 1986 ocurra en San Juan y por ende estos registros fueron descartados.

Una vez descartados los registros de El Salvador para la ciudad de San Juan entonces los registros que predominaron la envolvente del espectro de respuesta fueron los obtenidos por la estación Gilroy #6 durante los terremotos de Coyote Lake (1979) y de Morgan Hill (1984) a una distancia epicentral de 10 y 37 km, respectivamente. Sin embargo, esta estación se halla sobre la falla que generó estos sismos, lo cual hace estos registros unos muy particulares. La única falla sísmica que se halla en la zona metropolitana de San Juan es conocida como la Falla de Leprocomio la cual se entiende que no está activa (LaForge y Hawkins, 1999). Por tal motivo estos registros también fueron descartados.

Luego de descartar los registros de la estación de Gilroy #6 la envolvente de los espectros de respuesta quedaron predominados por un grupo de registros en el cual ninguno poseía efectos de fallas cercanas de modo que estos fueron considerados como los predominantes en la Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico para San Juan según se muestra en la Figura 4.

La otra zona de fallas sísmicas que muestra espectros de respuesta que predominan la envolvente son los obtenidos

de la zona de la Trinchera de Puerto Rico II. En este caso el registro de la estación de Castaic, obtenido durante el terremoto de Northridge (1994), y el registro de la estación de Gilroy #6, obtenido durante el terremoto de Morgan Hill, fueron los predominantes.



**Figura 4: Nuevos espectros de respuesta para la ciudad de San Juan pertenecientes a la Gran Zona de Fallas del Norte de Puerto Rico.**

El terremoto de Northridge tuvo un mecanismo primordialmente de subducción que focalizó la energía en dirección hacia donde se hallaba la estación de Castaic. La rotura de la roca se inició a una profundidad de 19 km y fue subiendo hasta a unos 5 km. Este escenario es imposible que ocurra en la ciudad de San Juan porque a pesar de que la Trinchera de Puerto Rico posee un pequeño componente de subducción de ocurrir la rotura de abajo hacia arriba la energía se focalizaría hacia el Océano Atlántico; en la dirección opuesta se focalizaría hacia el interior de La Tierra. Con esta base se descartó el registro de Castaic y además el de Lake Hugh pues también se obtuvo en la zona de focalización durante el mismo terremoto. El registro de Gilroy #6 ya había sido descartado. La Figura 5 muestra los espectros de respuesta de los registros considerados que pudieran afectar a San Juan desde la zona de la Trinchera de Puerto Rico II. Las restantes ocho zonas no predominan la envolvente en ningún rango de los periodos de vibración.

La Figura 6 muestra la envolvente de la envolvente de los espectros de aceleración de las diez zonas de fallas sísmicas consideradas para la ciudad de San Juan. Este presenta una aceleración máxima del suelo de 0.27g y una respuesta máxima de 0.84g a un período de 0.26 sec. Ambos valores máximos corresponden al registro del terremoto de Parkfield de 1966 el cual tuvo una magnitud de 6.1 y una profundidad focal de 6 km y fue registrado a una distancia epicentral de 27 km. El registro que predomina el espectro en los periodos mayores de 0.80 sec es el de la estación #9 del arreglo de Appel el cual se halla en el embalse Crystal Springs a 62 km del epicentro y fue registrado durante el terremoto de Loma Prieta, 1989 cuya magnitud fue de 7.1 y cuya profundidad focal fue de 19 km.

El espectro de respuesta en la Figura 6 pudiera utilizarse como espectro de diseño elástico para la ciudad de San Juan. Debe señalarse que esta metodología aquí llevada a cabo no considera explícitamente la frecuencia de ocurrencia del terremoto de diseño. Sin embargo, el hecho de que se considerase en la búsqueda de registros la magnitud máxima creíble como el límite superior implica que el espectro de diseño obtenido corresponde al nivel de colapso el cual usualmente se considera como el terremoto con una recurrencia de 2,475 años. Por otro lado, el registro que predominó los periodos pequeños proviene de un terremoto de magnitud 6.1 con una aceleración máxima del suelo de 0.27g la cual correlaciona apropiadamente con el estudio de Dames & Moore donde se sugiere una aceleración máxima del suelo de 0.26g para el terremoto de 475 años.

Para efectos de diseño, el espectro de respuesta elástico de la Figura 6 fue suavizado siguiendo la metodología de las

provisiones del Programa Nacional para la Reducción de Peligros de Terremotos (NEHRP) de 1997 para así convertirlo en un espectro práctico de diseño elástico. Este posee su meseta a una aceleración espectral  $S_{a_{max}}$  de 0.56g y, desde el periodo de 0.27 sec en adelante se utiliza  $S_a = 0.15/T$ .

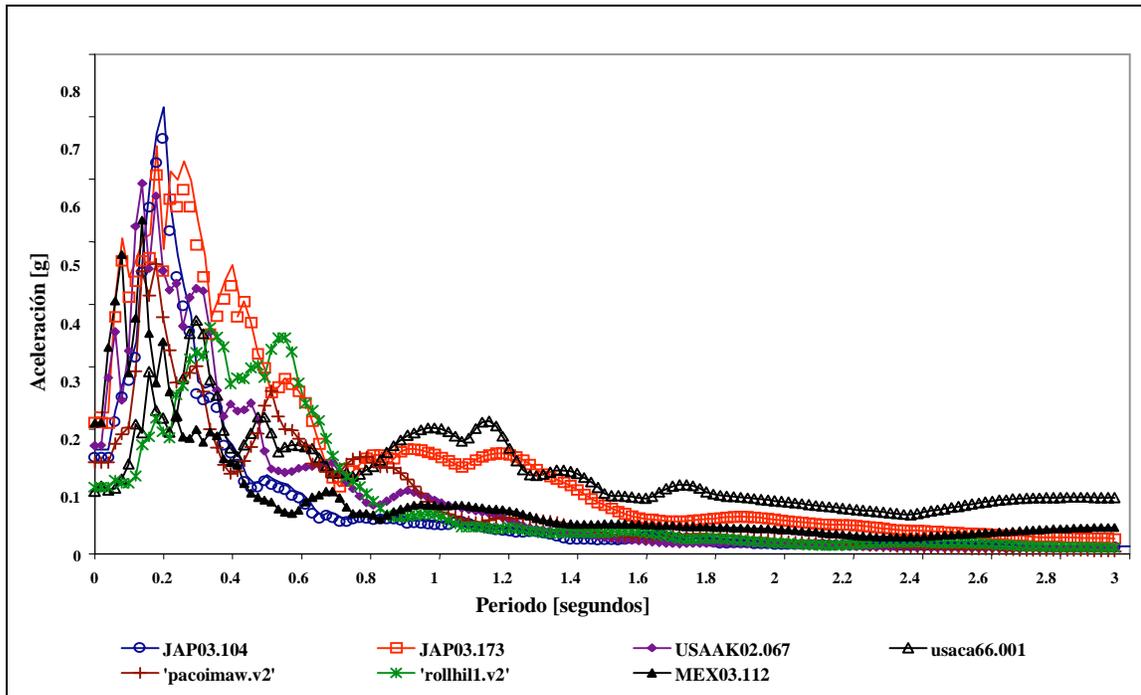


Figura 5: Espectro final de aceleración para la ciudad de San Juan perteneciente a la zona de la Trincheras de Puerto Rico II.

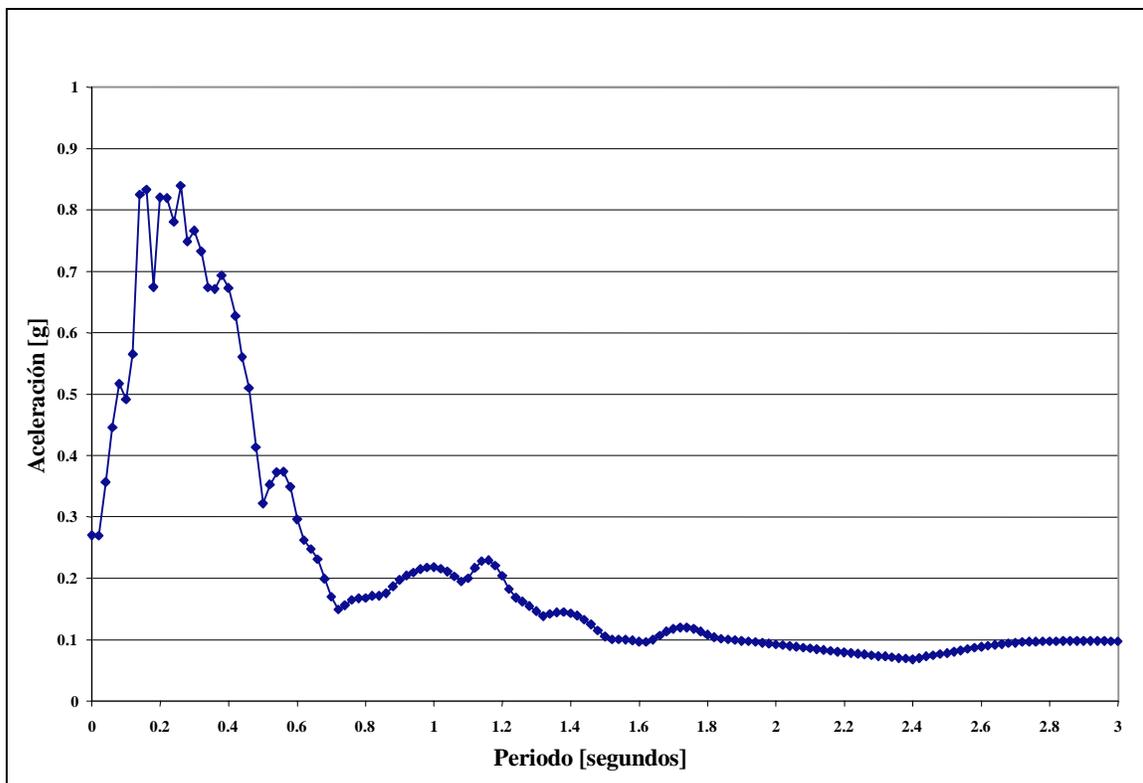


Figura 6: Envoltura final de los espectros de aceleración para la ciudad de San Juan.

Siguiendo el procedimiento acabado de describir se generó el espectro de diseño elástico para las ciudades de Ponce y Mayagüez. Según se muestra en la Figura 7 el espectro sin suavizar quedó predominado en casi todo el rango de periodos por los registros de movimiento fuerte obtenidos durante el terremoto de El Salvador de 1986. Debido al alto número de fallas sísmicas consideradas activas dentro de los límites de ambos municipios los registros de El Salvador se

consideraron como relativamente probables y por ende no fueron descartados (Geomatrix, 1988 y Housner, 1992). De hecho, el mismo espectro elástico fue obtenido para ambas ciudades según se muestra en la Figura 7. La aceleración máxima del suelo resultó ser 0.69g mientras que la aceleración espectral fue de 1.99g. Al suavizar el espectro la meseta quedó a nivel de 1.33g. Al igual que para la ciudad de San Juan los registros que predominaron resultaron ser de un terremoto moderado, en este caso en particular de magnitud 5.4.

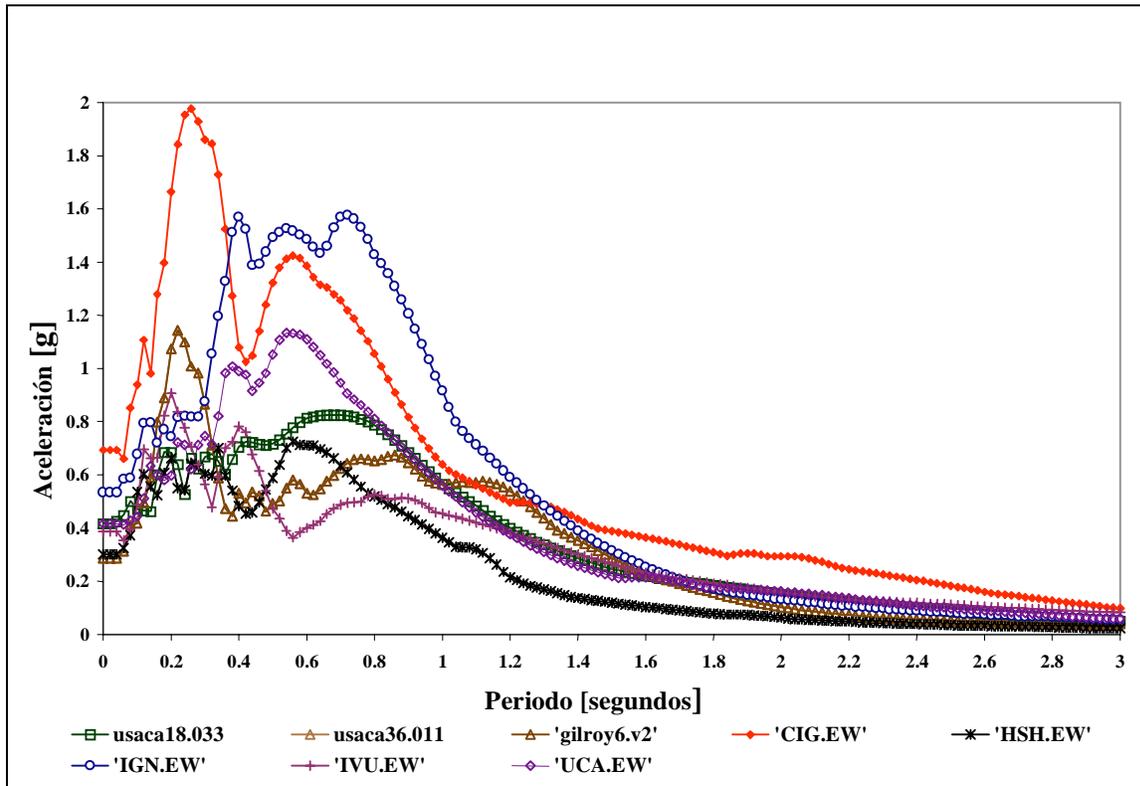


Figura 7: Espectro de respuesta de aceleraciones para las ciudades de Ponce y Mayagüez.

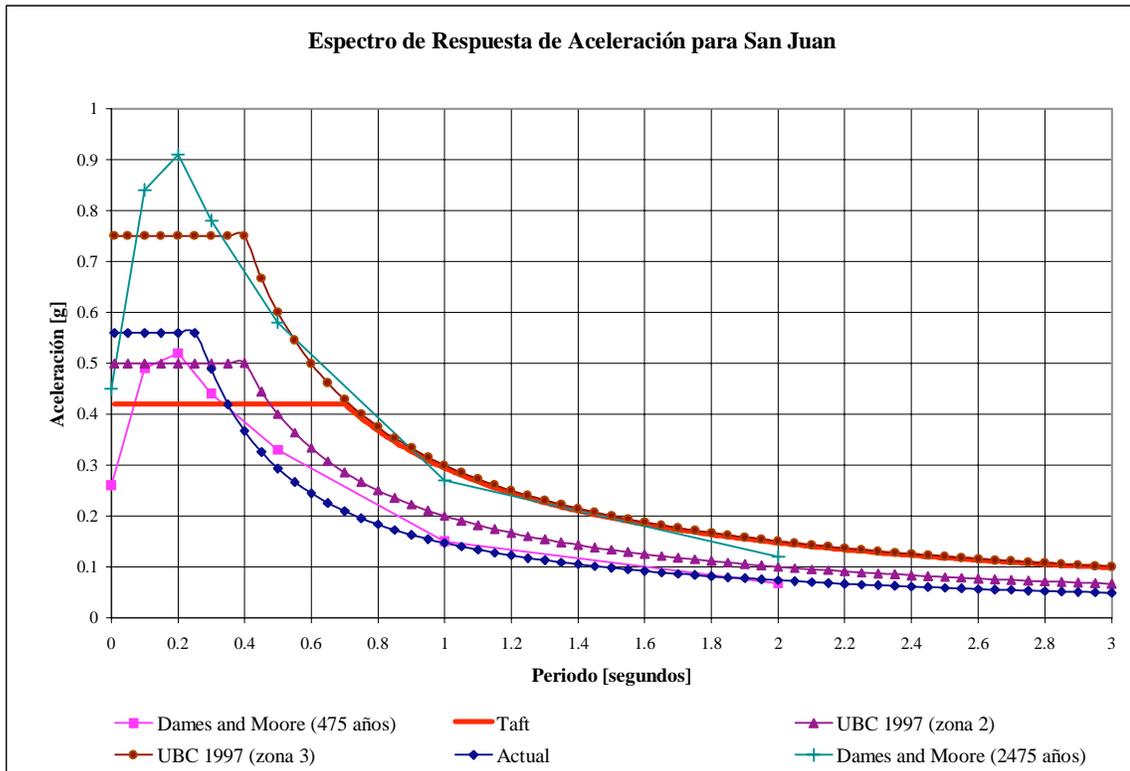
## COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La Figura 8 presenta el espectro para diseño elástico obtenido en el presente estudio (actual) para la zona de San Juan comparado con los sugeridos por Housner (registro de Taft para ser utilizado con recurrencia de 475 años), por Dames & Moore para recurrencias de 475 y 2,475 años y comparado también con los espectros elásticos para las zonas sísmicas 2 y 3 del UBC.

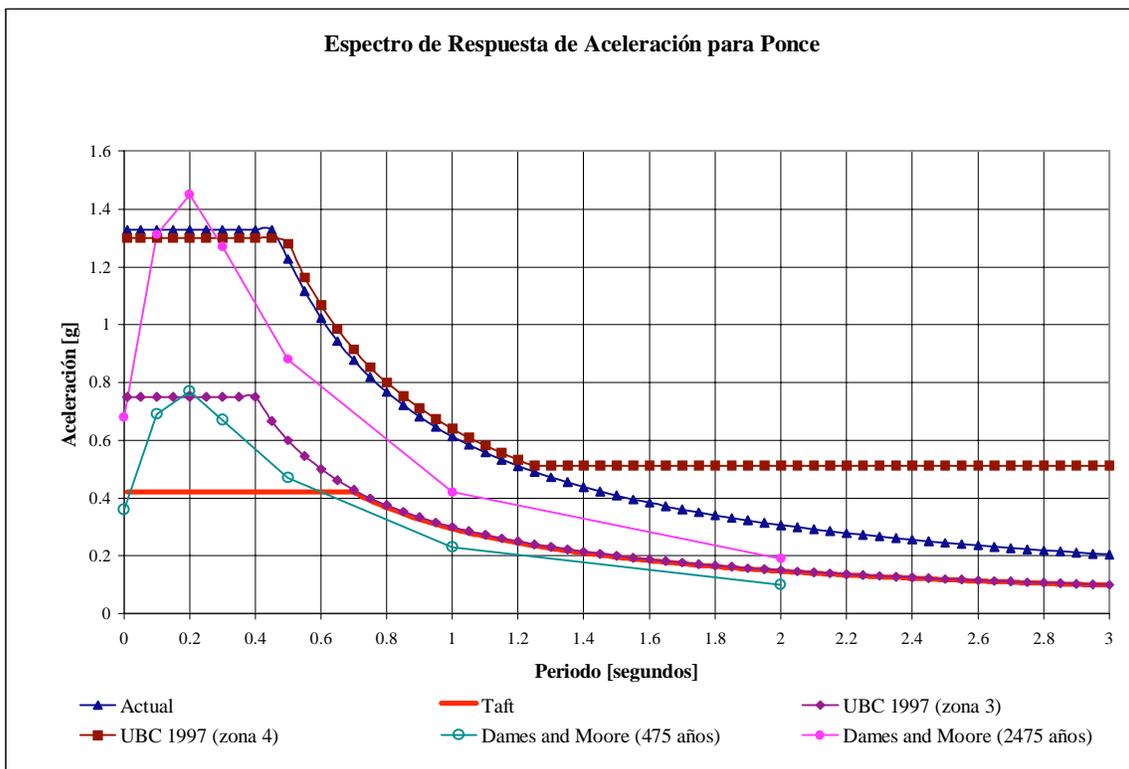
Puede notarse cómo para periodos bajos el espectro actual es considerablemente mayor que el de Housner y ligeramente mayor que el del UBC para zona 2 y el de Dames & Moore para una recurrencia de 475 años y, por otro lado, es mucho menor que los del UBC para zona sísmica 3 y el de Dames & Moore para recurrencia de 2,475 años. Mientras que para periodos intermedios el espectro actual correlaciona muy bien con el espectro sugerido por Dames & Moore para 475 años y resulta considerablemente por debajo de todos los demás espectros incluyendo el sugerido por Housner (Taft).

La Figura 9 compara el espectro de diseño elástico obtenido en este estudio para la ciudad de Ponce (actual) con los sugeridos por otros investigadores y los recomendados por UBC para zonas sísmicas 3 y 4 incluyendo efectos cercanos al sitio. Puede notarse como el espectro actual correlaciona favorablemente con el obtenido por Dames & Moore para una recurrencia de 2,475 años y prácticamente solapa el recomendado por el UBC del 1997 para la zona sísmica 4 considerando efectos cercanos al sitio. Este hecho se explica por la predominancia que obtuvieron los registros de El Salvador de 1986 en la generación del espectro de diseño elástico actual los cuales contenían los efectos cercanos al sitio. Debe notarse que la magnitud del terremoto de El Salvador fue de 5.4 el cual pudiera considerarse como uno de servicio. Debe recalarse que el estudio realizado por Dames & Moore se basó en catálogos de datos históricos los cuales reflejan una baja sismicidad dentro de la Isla ya que la activación de estas fallas es un hecho reciente.

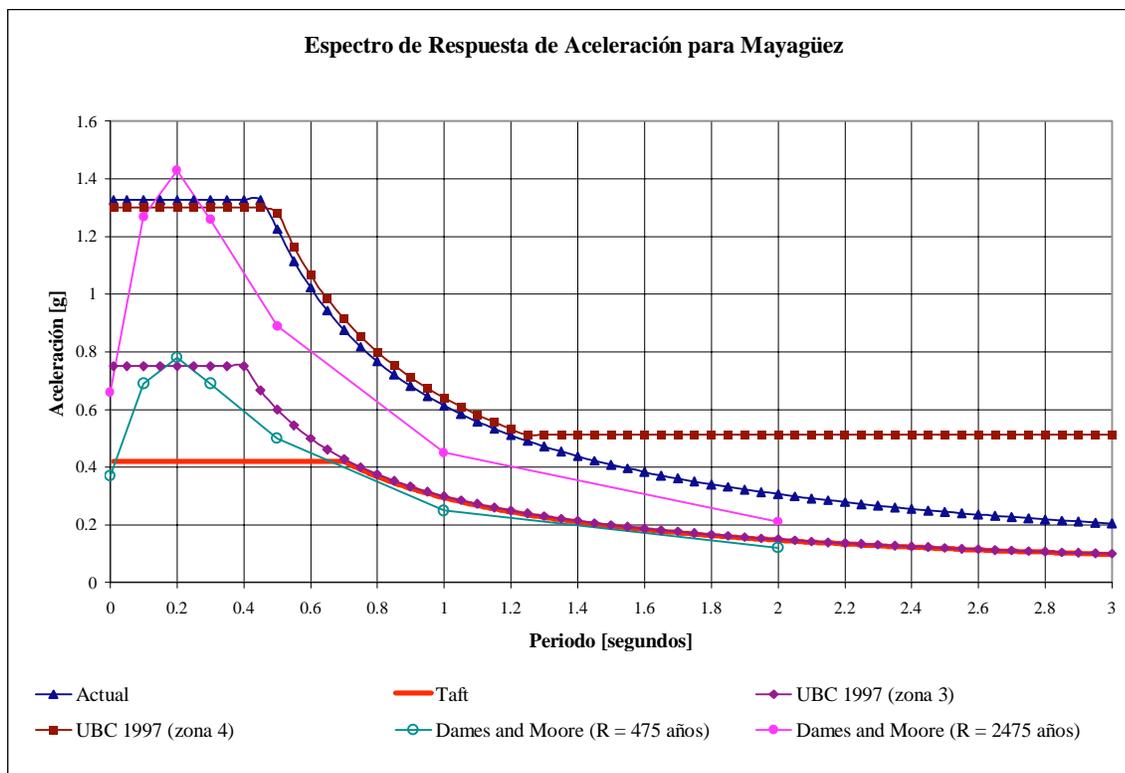
Resultados muy similares a los de la ciudad de Ponce se observan en la Figura 10 para la ciudad de Mayagüez. Debe señalarse que los espectros elásticos sugeridos por Dames & Moore para Ponce y Mayagüez son muy similares entre sí lo que compara favorablemente con el presente estudio.



**Figura 8: Espectros sugeridos para la ciudad de San Juan.**



**Figura 9: Espectros sugeridos para la ciudad de Ponce.**



**Figura 10: Espectros de diseño sugeridos para la ciudad de Mayagüez.**

## CONCLUSIONES

Basado en el estudio presentado puede concluirse que:

1. El peligro sísmico en Puerto Rico aumenta de este a oeste y de norte a sur. Este es el resultado del reciente incremento en actividad sísmica en las fallas del suroeste de la Isla.
2. El espectro de diseño elástico obtenido en este estudio para la ciudad capital de San Juan correlaciona apropiadamente con el sugerido por Dames & Moore para una recurrencia de 475 años. Estos dos espectros elásticos a su vez se asemejan mucho al recomendado por el UBC de 1997 para una zona sísmica 2.
3. El espectro de diseño elástico recomendado para Puerto Rico por el UBC del 1997 (zona sísmica 3) resulta ser considerablemente más severo para periodos bajos (menores de 0.60 sec) al compararlo con el previamente utilizado en la Isla (registro de Taft). Sin embargo, correlaciona muy bien en los periodos mayores de 0.60 sec.
4. El espectro de diseño elástico obtenido en el presente estudio para las ciudades de Ponce y Mayagüez correlaciona apropiadamente con el sugerido por Dames & Moore para una recurrencia de 2,475 años y con el recomendado por el UBC de 1997 para zona sísmica 4 considerando efectos cercanos al sitio.
5. Los terremotos que gobiernan los espectros de diseño elástico para las tres ciudades en consideración son de magnitud igual o menor a 6.1 (6.1 para San Juan y 5.4 para Ponce y Mayagüez) excepto en los periodos altos del espectro de San Juan donde gobierna un registro del terremoto de Loma Prieta ( $M = 7.1$ ).
6. Basado en los resultados del presente estudio la adopción del UBC de 1997, el cual clasifica a la isla grande de Puerto Rico como zona sísmica 3 resulta extremadamente arriesgada para las ciudades de Ponce y Mayagüez, mientras que resulta conservadora para la ciudad capital de San Juan.

## RECOMENDACIONES

Las fallas sísmicas dentro de la Isla deben estudiarse con mayor detenimiento, pues existe gran incertidumbre sobre la localización, el largo y la profundidad de éstas.

La razón de deslizamiento de las fallas internas de la Isla tiene que determinarse. Para la obtención de los espectros de diseño elástico para Ponce y Mayagüez el presente estudio presumió que las fallas sísmicas dentro de la Isla poseen una razón de deslizamiento de 2 milímetros por año. Estos datos pudieran determinarse por medio de un arreglo de sistema de posición global continuo.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento que proveyeron tanto la Fundación Nacional de Ciencias por medio del programa de Puerto Rico EPSCoR, cuyo número de dádiva es OSR-9452893, y el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Las opiniones aquí presentadas son las de los autores y no necesariamente representan la de las entidades que auspiciaron el estudio.

## REFERENCIAS

- Administración de Reglamentos y Permisos (1987). "Enmiendas Adoptadas al Reglamento de Edificación", Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Santurce, Puerto Rico.
- Building Seismic Safety Council (1998). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures 1997 Edition: Part 1: Provisions, Washington, D. C.
- Dames & Moore (1999). "Probabilistic Seismic Hazard Analysis of Puerto Rico and Recommended Revisions to the Seismic Coefficients of the ANSI/ASCE 7-95 Standard", Puerto Rico Earthquake Commission, 47 pp.
- Geomatrix Consultants (1988). "Geological-Seismological Evaluation to Assess Potential Earthquake Ground Motions for the Portugués Dam, Puerto Rico", Draft Report, 92 pp.
- Housner, G. W. (1980). "Report on Earthquake Requirements for the Building Code of Puerto Rico", California Institute of Technology, Pasadena, California, 20 pp.
- Housner, G. W. (1992). "Report on the Seismic Design of the Coal-Fired Power Plant in Mayagüez, Puerto Rico", 11 pp.
- International Conference of Building Officials (1997). *1997 Uniform Building Code*, Vol. 2 Structural Engineering Design Provisions, Whittier, California.
- Irizarry Padilla, J. (1999). *Design Earthquakes and Design Spectra for Puerto Rico's Main Cities Based on Worldwide Strong Motion Records*, Master of Science Thesis, University of Puerto Rico at Mayagüez, Mayagüez, Puerto Rico, 168 pp.
- LaForge R. C. y Hawkins, F. F. (1999). "Seismic Hazard and Ground Motion Analysis for Carraizo Dam Puerto Rico", US Department of Interior, Bureau of Reclamation, Seismotectonic Report 99-2, Denver, Colorado, 29 pp.
- McCann, W. R. y Associates, Inc. (1994). "Seismic Hazard Map for Puerto Rico", Seismic Safety Commission of Puerto Rico, 60 pp.
- Naeim, F. (1989). *The Seismic Design Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- National Geophysical Data Center (1996). "Earthquake Strong Motion CD-ROM Collection". National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.