



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébrase de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Response Spectrum for the Caracas Earthquake of 1967.

Alejandra J. Guerrero^{1} y Oscar A. López²*

¹Dpto. de Ingeniería Estructural, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1053, Venezuela

²Profesor, IMME, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1053, Venezuela. Asesor de FUNVISIS

*Autor de Contacto: guerrerocale@gmail.com

<https://doi.org/10.22209/rt.v42n3a01>

Recepción: 19/01/2019 | Aceptación: 15/04/2019 | Publicación: 01/09/2019

Abstract

The 1967 Caracas earthquake caused the collapse of several buildings of medium height located in Los Palos Grandes-Altamira (LPG-A). The objective of this work is to determine representative spectra of the event, which were not measured in 1967, using new seismological information, microzoning studies and the new generation of attenuation models. A significant soil/rock spectral amplification of the order of 3.5 is noted in the 1-2 seconds band. The ground acceleration was estimated at 0.19 g on deep sediments and 0.12 g on rock. The observed effects of directionality were incorporated by adopting an East-West spectrum with an intensity of 30% of the North-South. From international data, 4 events consisting of accelerograms pairs adjusted to the surface spectrum were selected, with which 18 buildings that resisted the earthquake were studied and for which damage information and measured periods were available. For the event 2 the calculated damage reproduces the one observed in 10 of the 18 cases and in the other 8 cases the error is not greater than one level of damage in the scale of five levels, which allows to conclude that it adequately represents the 1967 ground motion.

Espectro de Respuesta del Sismo de Caracas de 1967

Resumen

El sismo de Caracas de 1967 ocasionó el colapso de varias edificaciones en Los Palos Grandes-Altamira (LPG-A). El objetivo de este trabajo es determinar espectros representativos del evento, que no fueron medidos en 1967, utilizando la nueva información sísmológica, los estudios de microzonificación y la nueva generación de modelos de atenuación. Los espectros muestran una amplificación espectral suelo/roca de 3,5 en la banda entre 1 y 2 segundos. La aceleración del terreno se estima en 0,19 g en los sedimentos profundos y de 0,12 g en roca. Se incorporaron los efectos de direccionalidad observados adoptando un espectro Este-Oeste con una intensidad de 30% del Norte-Sur. De datos internacionales, se seleccionaron 4 eventos consistentes en pares de acelerogramas ajustados al espectro en superficie, con los cuales se estudiaron 18 edificios que resistieron el sismo y de los cuales se disponía de información de daños y períodos medidos. Para el eventos 2 el daño calculado reproduce el observado en 10 de los 18 casos y en los otros 8 casos posee un error no mayor de un nivel de daño en la escala de cinco niveles, lo cual permite concluir que el mismo representa adecuadamente el movimiento ocurrido en 1967.

Introducción

El terremoto de Caracas de 1967 ocasionó daños estructurales en numerosos edificios en Los Palos Grandes–Altamira (LPG-A) [1], sin embargo otros edificios de la misma altura no sufrieron daños a pesar de que presentaban las mismas características estructurales y fueron diseñados con las mismas normas. Reconociendo que permanece un número importante de estos edificios en la ciudad, conviene conocer las características del movimiento vibratorio, el cual no fue medido en 1967, a fin de investigar las razones de su buen o mal desempeño. El objetivo de este trabajo es determinar el movimiento vibratorio en LPG-A, considerando información actualizada: la reevaluación de los parámetros sísmológicos publicada en el año 1990 [2], la microzonificación sísmica de la ciudad publicada en el año 2011 [3] y la nueva generación de modelos de atenuación publicada en el 2014 [4]. Mayores detalles de la investigación se pueden consultar en [5].

Sismo de Caracas de 1967: Magnitud y localización

El 29 de Julio de 1967 a las 8:00 pm, Caracas fue afectada por un terremoto [1]. El Observatorio Cajigal dio el epicentro en las coordenadas $11^{\circ} 00' N$ y $67^{\circ} 15' O$ (Figura 1) y una magnitud Richter (M_R) entre 6,1 y 6,3 [6] [7] a unos 70 km de LPG-A. El USGS dio el epicentro a $10,6^{\circ} N$ y $67,3^{\circ} W$, a unas 35 millas de LPG-A, con foco a 10 km y M_R de 6,5 (Pasadena), 6,3-6,5 (Berkeley) y 5,7-6 (Palisades) [8]. En este trabajo se adoptan los resultados de Suárez y Nábělek [2] de 1990 quienes interpretan cuatro sub-eventos de forma secuencial en sentido Oeste-Este, con un momento total de $8,6 \times 10^{18}$ N.m, equivalente a una magnitud $M_w=6,6$, siendo el segundo sub-evento el de mayor momento y más cercano con profundidad de 14,1 km, epicentro en $67,03^{\circ} O$ y $10,75^{\circ} N$ y buzamiento de 69° Norte. En este trabajo se adoptan como valores representativos del sismo $M_w=6,6$ con el epicentro, profundidad y buzamiento del segundo sub-evento. Esta M_w es igual a la adoptada por Hernández [9].

A partir de las relaciones empíricas entre M_w y la geometría del plano de falla [10], se estimó un ancho de 10,5 km y una longitud de 33,3 km. Suponiendo que la ruptura se inició (foco) en la mitad del ancho, el plano de ruptura no alcanza la superficie y está a una profundidad de 8,6 km. El plano de falla se localizó suponiendo que la ruptura se inició en el extremo oeste y progresó hacia el este, paralela a la falla de San Sebastián (Figura 1). La menor distancia de LPG-A al plano de ruptura es 28,7 km. Nótese que las distancias entre LPG-A y los epicentros de Fielder y USGS son mayores a la distancia entre LPG-A y el plano de falla adoptado.

Valores previos de aceleración en roca y en suelo

Durante el sismo de 1967 no se obtuvieron registros de aceleraciones. El único registro fue el de un

sismoscopio en el Observatorio Cajigal (Figura 2) [6]. Fiedler [6] estimó aceleraciones entre $11,7 \text{ cm/s}^2$ y $69,6 \text{ cm/s}^2$ en roca firme en Cajigal y un valor cuatro veces mayor en aluvión [7]. Una aceleración entre 0,06 y 0,08 g fue estimada en LPG-A con base al análisis de una pérgola ubicada en el edificio Covent Garden [8]. Skinner [11] concluye que el daño estructural fue consistente con una aceleración máxima de 0,05 g en roca y 0,10 g en la superficie de los aluviones. Seed et al. [12] consideraron una magnitud de 6,4 a 56 km de Caracas y obtuvieron una aceleración en roca de 0,03 g y de 0,065 g en la superficie de los sedimentos de la zona de LPG-A. Los resultados se pueden consultar también en Alonso [13]. Papageorgiou y Kim [14] estudiaron la propagación de las ondas durante el sismo en un modelo bidimensional del valle en la zona de LPG-A y obtienen una aceleración de 0,10 g en roca y de 0,20 g en la superficie de los sedimentos. Más recientemente Hernández [15] obtiene una aceleración en roca de 0,11 g, con base a los datos sísmológicos de Suárez y Nábělek [2] y al uso de tres modelos de atenuación publicados en 1993 y 1997. Con base al análisis de daños observados en edificios de LPG-A, Urich estima una aceleración de 0,14 g en la superficie de los sedimentos [16].

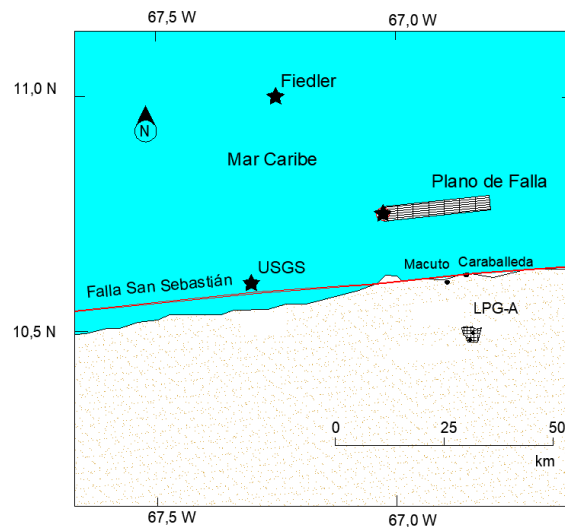


Figura 1. Plano de falla con epicentro de Suárez y Nábělek [2], epicentros de USGS [8] y Fiedler [6, 7] y zona de LPG-A

Dirección predominante del movimiento vibratorio

Diversas observaciones de campo coinciden en señalar la orientación N-S predominante del movimiento. La pérgola del Hotel Macuto Sheraton, una losa de concreto armado soportada por 48 columnas (tubos) [8], quedó desplazada permanentemente hacia el sur. Dada las propiedades de igual rigidez en cualquier dirección horizontal, el desplazamiento indica que el movimiento sísmico estuvo orientado N-S. En la Figura 2 (izquierda)

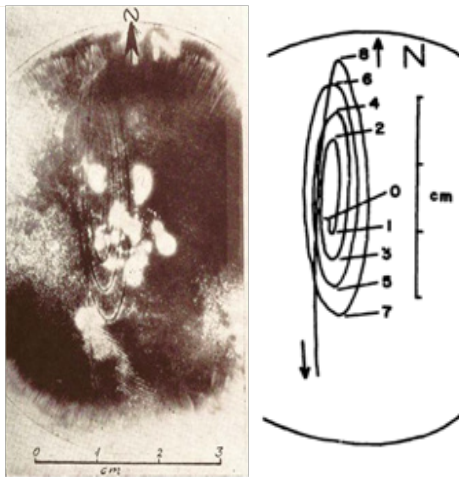


Figura 2. Registro del Sismoscopio mostrando mayores amplitudes en dirección Norte-Sur [6], [17].

se muestra el registro del sismoscopio instalado sobre roca en el Observatorio Cajigal en Caracas [6]. En la Figura 2 (derecha) se muestra el dibujo de Robson et al. [17] a partir de un análisis del registro de donde se puede deducir un movimiento E-O del orden de 0,25 veces el N-S. Fintel y otros [18] examinaron el comportamiento de los edificios en LPG-A y expresan que los pulsos en dirección N-S fueron predominantes. Urich [16] evaluó los efectos en edificios de LPG-A y concluye que el movimiento del terreno fue más intenso en la dirección N-S. Por otro lado, hay registros acelerográficos en otros lugares con diferencias significativas en sus componentes horizontales. Por ejemplo, el registro en la Estación Mount Wilson (Northridge, 1994) muestra aceleraciones espectrales en la dirección de menor intensidad de 0,47 veces la de mayor intensidad, en la banda entre 0 y 1 segundo, con un mínimo de 0,28 en algunos períodos.

Con base al registro del sismoscopio se adopta que las aceleraciones del sismo de Caracas de 1967 en la dirección E-O son un 30% de las de la dirección N-S, para los efectos de analizar la respuesta de los edificios en LPG-A. El análisis de los daños que se presenta más adelante conduce a validar esta hipótesis.

Espectro de respuesta

Varios autores han propuesto espectros en roca y en superficie para el evento de 1967. Seed y otros [12] consideraron varios modelos del depósito de suelos, estratos semi-infinitos (1D) y modelos 2D de elementos finitos, y determinaron el movimiento vibratorio en la superficie considerando un acelerograma de entrada en la roca, el registro de Taft (Kern County, 1952), escalado a una aceleración máxima de 0,03 g y un período predominante de 0,3 s. Señalan los autores que otros análisis considerando otros acelerogramas dan resultados similares. Papageorgiou y Kim [14] (PPGK) estudiaron la propagación y amplificación de las ondas durante el sismo de 1967 mediante un modelo bidimensional en una sección N-S de LPG-A.

Para los efectos de desarrollar un espectro representativo en el sitio LPG-A con base a la información actual, se utilizó el plano de falla mostrado en la Figura 1 y la nueva generación de modelos de atenuación desarrollados en el año 2014 por el Proyecto NGA-West2 [4] que se basan en el análisis estadístico de varios miles de registros acelerográficos. Se seleccionaron los tres modelos (Abrahamson & Silva; Kamai, Campbell & Bozorgnia; Chiou & Youngs) que incluyen los efectos de cuenca y se aplicaron a las condiciones locales del sitio LPG-A en la zona de sedimentos profundos, para una magnitud $M_w=6,6$, el plano de falla determinado previamente y un mecanismo transcurrente. Se seleccionó para el sitio un valor de V_{s30} de 300 m/s [19] y una profundidad de sedimentos de 360 m [20]. Se determinó el espectro probable utilizando los tres modelos de atenuación seleccionados y se promediaron sus resultados. Es un espectro de pseudo-aceleración que corresponde a la mediana de todas las direcciones horizontales (Sa_{RotD50}). Dicho espectro medio fue luego convertido a un espectro de aceleración máxima ($Sa_{RotD100}$) usando factores de amplificación que varían desde 1,19 para un período de 0,01 s hasta 1,29 para un período de 10 s [21]. El espectro $Sa_{RotD100}$ representa la máxima aceleración espectral considerando todas las direcciones horizontales posibles y se asocia en este estudio a la dirección N-S en el evento de 1967. Siguiendo un procedimiento similar se generó el espectro en roca usando una velocidad de propagación V_{s30} de 760 m/s y promediando los valores de los cinco modelos del proyecto NGA-West2 [4]. El espectro en la dirección de menor intensidad (E-O) se adopta igual al N-S multiplicado por 0,30 con base a la discusión presentada previamente. La Figura 3 muestra los espectros resultantes, en suelo y en roca, para las direcciones N-S y E-O. Para la dirección N-S, la aceleración en roca es 0,12 g pero aumenta hasta 0,19 g en la superficie del depósito.

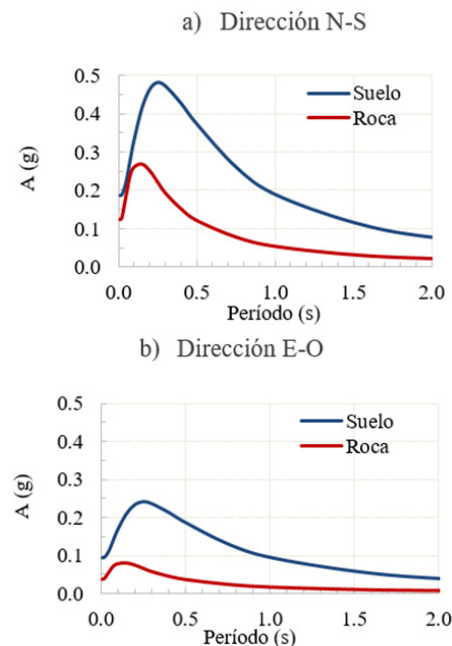


Figura 3. Espectros de aceleraciones obtenidos en este estudio, en roca y en suelo.

La amplificación del movimiento por efecto de la profundidad y rigidez de los sedimentos se puede caracterizar por la función de transferencia definida como el cociente entre la aceleración espectral del suelo y de la roca, la cual se muestra en la Figura 4, apreciándose una marcada amplificación con un valor medio de 3,5 en el rango entre 1 s y 2 s. En la misma figura se muestran las funciones de transferencia que se deducen de los espectros presentados por Seed et al. [12] y PPGK [14]. En la Figura 5 se compara el espectro obtenido en este estudio (N-S) con los espectros obtenidos por los autores citados. Seed et al. [12] tomó en cuenta un epicentro a una distancia mayor, por lo que se aprecian aceleraciones menores. Debe tenerse presente que este estudio utiliza la atenuación NGA-West2 que promedia los espectros de muchos registros obtenidos bajo condiciones similares de rigidez y profundidad de sedimentos e incluye efectos de cuenca y de la respuesta no lineal de los suelos. Seed y otros se basan en un modelo 1D del depósito de sedimentos sujeto a un único acelerograma en roca y PPGK se basan en un modelo 2D de la cuenca sujeto también a un solo acelerograma en roca. El espectro de Urich [16] basado en el daño observado en edificios tiene una tendencia similar al espectro de este estudio.

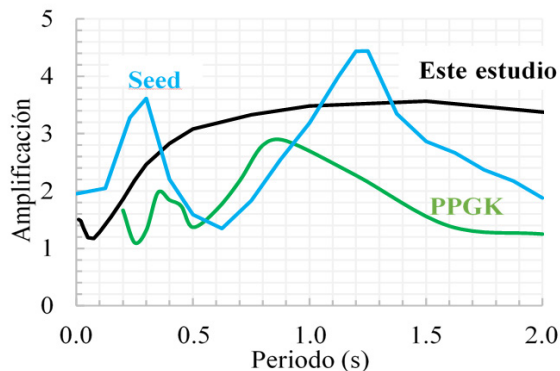


Figura 4. Amplificación suelo/roca de este estudio y la calculada a partir de los espectros de Seed et al. [12] y PPGK [14].

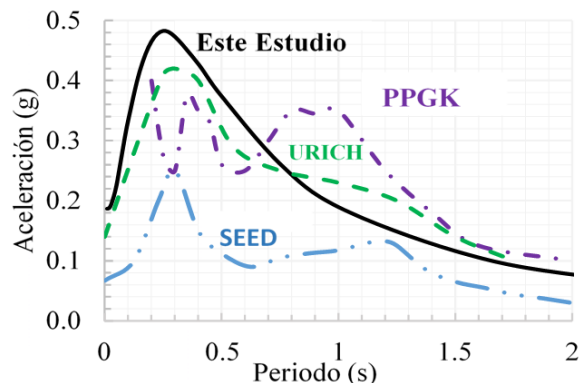


Figura 5. Espectro en LPG-A de este estudio (dirección N-S) y espectros obtenidos por Seed et al. [12], PPGK [14] y Urich [16].

Acelerogramas

De la base de datos de PEER [22] se seleccionaron cuatro pares de acelerogramas para representar el movimiento en la superficie de los sedimentos profundos en LPG-A. Para la selección se consideró un rango de magnitudes M_w entre 6 y 7, mecanismo transcurrente, una distancia al plano de ruptura entre 25 y 35 km, un valor de V_{s30} entre 250 y 350 m/s y una duración de la fase fuerte D9-95 entre 15 y 25 s. El espectro de cada acelerograma se ajustó al espectro generado en este estudio (Figura 3, condición Suelo), minimizando la diferencia entre ambos en la banda entre 0,1 y 5 s. El procedimiento se aplicó para la dirección N-S y para la E-O. Los eventos seleccionados son los NGA 930, 2700, 3908 y 3969, denominados aquí como eventos 1 a 4, respectivamente. Las direcciones H1 y H2 de cada componente del registro original, se hacen corresponder con las direcciones N-S y E-O, respectivamente. Los factores de escala para multiplicar el registro original son 1,37, 1,51, 0,99 y 0,96 para las componentes H1 y son 0,51, 0,76, 0,22 y 0,35 para las componentes H2. La Figura 6 muestra los acelerogramas para los 4 eventos en las dos direcciones horizontales N-S y E-O.

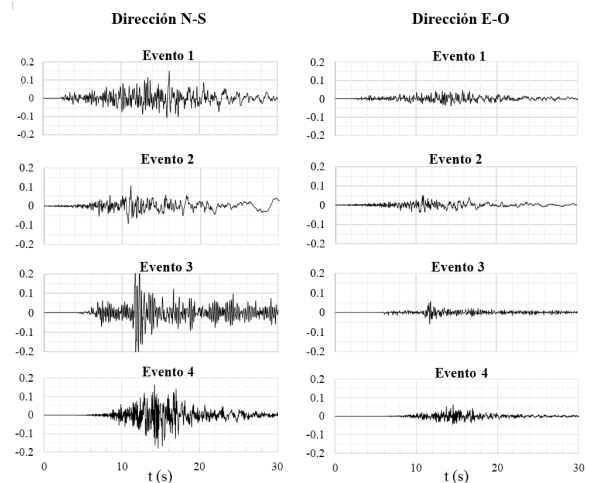


Figura 6. Acelerogramas de los eventos representativos del sismo de 1967. Aceleraciones en g.

En la Figura 7 se muestra el espectro de aceleraciones para cada uno de los 4 eventos y el espectro de este estudio, para las direcciones N-S y E-O. Para cada dirección, se aprecia que en ciertos períodos puede haber una diferencia apreciable entre las aceleraciones espectrales de los cuatro eventos, así como entre un evento específico y el espectro suavizado que les dio origen, variaciones estas que suelen caracterizar los espectros de los acelerogramas. Es decir, el proceso de simulación de los cuatro eventos en donde se controlan los parámetros de magnitud, mecanismo focal, distancia al plano de falla y condiciones locales de rigidez y profundidad de sedimentos, no es suficiente para reducir toda la dispersión implícita en el proceso y persisten diferencias

significativas entre las aceleraciones espectrales de un evento a otro. De aquí que son de esperar diferencias parecidas entre las respuestas estructurales ante dichos eventos.

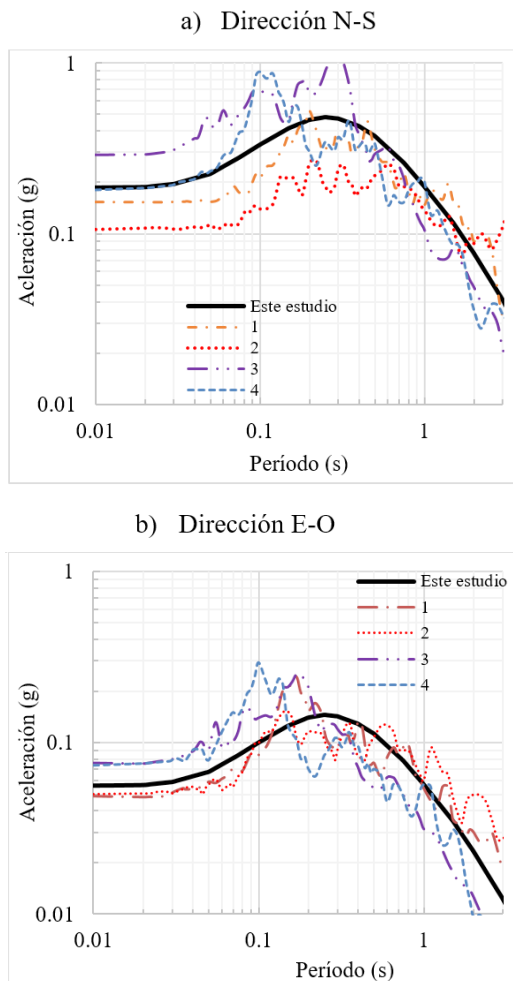


Figura 7. Espectros de los 4 eventos sísmicos y comparación con el espectro de origen.

Desempeño observado y calculado de una muestra de edificios en el sismo de 1967

Una muestra de edificios ubicados en la zona de LPG-A fueron estudiados por la Comisión Presidencial [1] por lo que se tiene información del número de pisos, altura, periodos medidos y daños observados. Un estudio detallado de las propiedades y daños de 132 de estos edificios fue realizado por Urich [16]. En esta sección se calculan los daños que generan en una muestra de edificios los cuatro eventos seleccionados del sismo de 1967 y se comparan con los daños observados, lo cual permite evaluar la representatividad de los acelerogramas

y sus espectros. El análisis fue realizado solamente en la dirección N-S de los edificios, la dirección de mayor intensidad sísmica. La muestra está conformada por 18 edificios de pórticos de concreto armado cuya altura oscila entre 9 y 17 pisos, con periodos medidos (vibración ambiental) comprendidos entre 0,38 s y 1,7 s. Doce edificios de la muestra sufrieron daños durante el terremoto de 1967. La Tabla 1 presenta los edificios analizados y el daño observado según la escala de la CPES [1] mostrada en la Tabla 2. T es el período medido en dirección Norte-Sur. En el caso del edificio Belaire sus periodos son los medidos en [5].

Tabla 1. Muestra de edificios en LPG-A expuestos al sismo de 1967. Datos de CPES [1].

Nº	Edificio Nombre	Nº Pisos	T (s)	Daño CPES
1	Anacoco	11	0,70	0
2	Arichuna	15	0,97	0
3	Coral Este	10	1,42	2
4	Coral Oeste	11	1,45	2
5	Covent Gardens	14	1,18	3
6	El Dorado	13	0,54	0
7	Guipellia Norte	17	1,58	2
8	Guipellia Sur	17	1,23	2
9	Le Roc Este	15	1,05	3
10	Le Roc Oeste	16	1,49	3
11	Lassie	9	0,59	0
12	Manaure	14	0,84	0
13	Petunia I	15	1,42	2
14	Petunia II	21	1,70	3
15	Pasaquire	12	1,10	2
16	Palace Corvin Oeste	10	1,13	3
17	Royal	11	1,16	3
18	Belaire	9	0,38	0

Deriva asociada a daños

CPES [1] estableció una escala de daño de seis niveles de 0 a 4 que se muestra a la izquierda en la Tabla 2. Para los efectos de este estudio se reenumera la escala de daño de 0 a 5 y se correlaciona cada escala con un valor de deriva basado en Ghobarah [23] y FEMA [24] para pórticos de concreto armado rellenos de paredes. La escala modificada se muestra a la derecha en la Tabla 2 donde el Grado "0" es un edificio sin daño asociado a derivas menores a 1,5‰ y el Grado "5" es identificado como daño

severo donde el edificio puede estar derrumbado total o parcialmente y se asocia a una deriva mayor a 7 ‰.

Demanda de desplazamientos y derivas

La demanda de desplazamientos en cada edificio es estimada de manera simplificada mediante el procedimiento descrito dentro del método de análisis estático no lineal del ASCE [25]. Para ello se requiere determinar el período efectivo de cada estructura el cual es mayor que el obtenido de la vibración ambiental. En [26] se presenta el caso del *Kajima International Building* con un período efectivo de 1,5 veces el de vibración ambiental. Para los cálculos se usaron en esta investigación tres factores multiplicadores del período medido de cada edificio, 1, 1,3 y 1,5, con la intención de tomar en cuenta las incertidumbres asociadas al período efectivo. La resistencia cedente de cada edificio se estima multiplicando la fuerza lateral de diseño dada por la norma de 1955 por un factor de sobrerresistencia de 3 [24]. Con la aceleración espectral para cada evento sísmico, se obtuvo el desplazamiento en el último nivel. La deriva global es el desplazamiento entre la altura de la estructura. Para transformar la deriva global en deriva máxima, se multiplicaron las primeras por un factor de 1,5 [23].

El valor medio de ΔD de todos los edificios vale +0,56, +0,22, -0,56 y -0,50 para los eventos 1 a 4, respectivamente. Todos los cuatro eventos generan en promedio un error menor a un grado de daño, dos eventos de sobreestimación y otros dos de subestimación. El evento 2 tiene el valor medio más pequeño de ΔD (+0,22), y se considera el evento que mejor reproduce lo ocurrido en el sismo del 67. En la Figura 8 se aprecia la influencia del evento sísmico considerado sobre el daño; aun cuando cualquiera de los eventos pudiese ser representativo del sismo de 1967 dado que fueron generados con los mismos parámetros sismológicos y geofísicos locales, la respuesta puede cambiar sensiblemente de un evento a otro.

Conclusiones

Con base al análisis sismológico más reciente y al uso de reconocidas relaciones entre la magnitud y las características de las fallas, se estimó una localización y geometría del plano de falla del sismo de 1967. Con la información de la microzonificación y el uso de la nueva generación de modelos de atenuación del Proyecto NGA-WEST2 se obtuvo un espectro probable de aceleraciones máximas en la zona de mayor daño en LPG-A, con una aceleración del terreno de 0,19 g en la dirección N-S. La aceleración espectral en aluvión es aproximadamente 3,5

Tabla 2. Escala modificada de daños y derivas asociadas.

Escala CPES [1]		Deriva Δ (‰) para cada grado de la escala modificada		
Grado	Descripción	Deriva	Descripción	Grado
0	Sin daño	$\Delta \leq 1,5$	Sin daño	0
01	Grieta Solo en paredes	$1,5 < \Delta \leq 2$	Muy Leve	1
1	Fisuras en elementos Estructurales (pocos). Algunas paredes con fisuras o grietas	$2 < \Delta \leq 3$	Leve	2
2	Elementos estructurales rotos (localizados)	$3 < \Delta \leq 4$	Moderado Reparable	3
3	Elementos estructurales agrietados o rotos en número apreciable. La tabiquería muy dañada. derrumbada	$4 < \Delta \leq 7$	Moderado Irreparable	4
4	Edificio derrumbado total o parcialmente	$7 < \Delta$	Severo	5

Daño estimado y daño observado

Para cada edificio y cada uno de sus tres valores de períodos se calculó la deriva máxima y el daño inducido de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2 y se escogió como daño estimado aquel más cercano al daño observado. Se define ΔD como la diferencia entre el daño estimado (D_e) y el daño observado (D_o), por lo que si $\Delta D = 0$ se predice correctamente el daño, si $\Delta D > 0$ se sobre-estima y si $\Delta D < 0$ se subestima. ΔD se grafica en la Figura 8 para cada edificio y cada evento. El evento 2 reproduce correctamente el daño observado en 10 de los 18 casos y en los otros 8 casos posee un error no mayor de un nivel de daño en la escala de cinco niveles.

veces mayor que la de roca en la banda entre 1 y 2 s donde se encontraban los edificios más dañados. Con base al registro del sismoscopio del Observatorio Cajigal y a las observaciones de campo se estima que las aceleraciones en la dirección E-O fueron aproximadamente un 30% de las aceleraciones en la dirección N-S. Se generaron cuatro eventos representativos del sismo de 1967, seleccionados de la base de datos del PEER, conformado cada uno por pares (N-S y E-O) de acelerogramas cuyos espectros se ajustaron al espectro probable del sismo. Los espectros muestran variaciones importantes de un evento a otro, indicativos de la dispersión de la respuesta ante pequeñas diferencias en los acelerogramas no controladas en el proceso de selección.

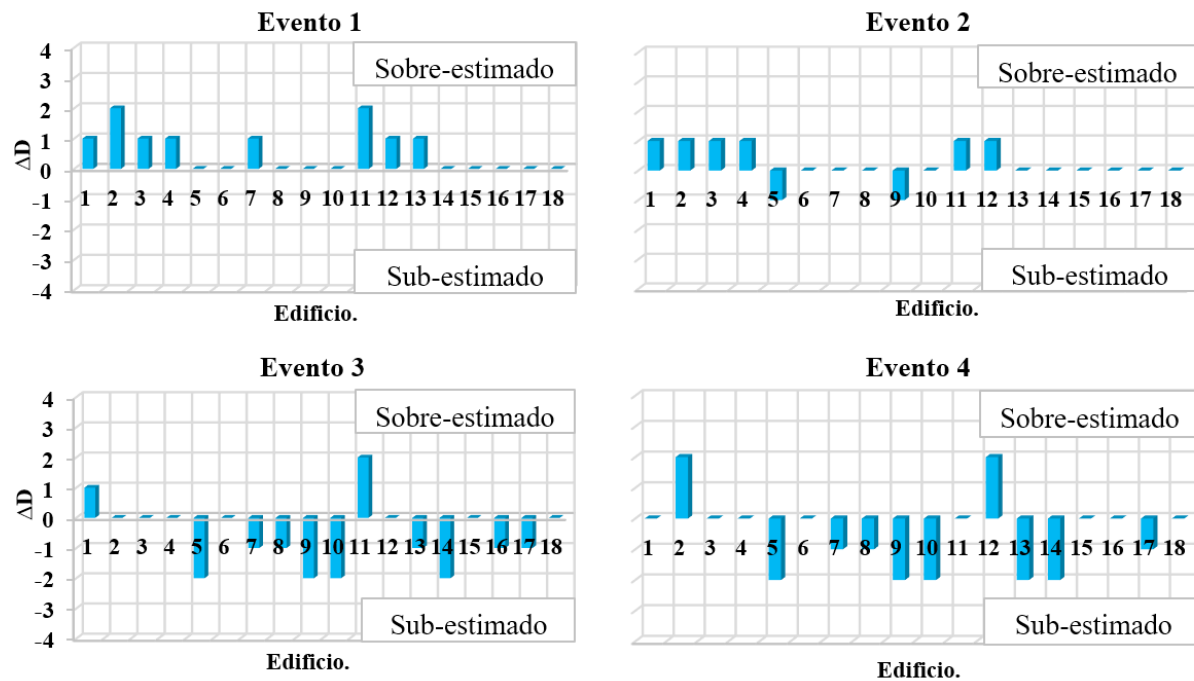


Figura 8. Valores de ΔD = Daño estimado – Daño observado, para cada edificio y cada sismo.

Se analizaron 18 edificios en Los Palos Grandes-Altamira (LPG-A) que estuvieron expuestos al sismo de 1967 sobre los cuales hubo registro de daños y períodos medidos. Se estimaron los daños que pudieran generar los cuatro eventos representativos del sismo de 1967 seleccionados previamente y se compararon con los daños observados. El evento 2 (PEER NGA 2700) reproduce los daños observados en 10 de los 18 casos y en los otros 8 casos posee un error no mayor de un nivel de daño en la escala de cinco niveles. Los otros eventos tienen un menor nivel de precisión. Estos resultados permiten corroborar el espectro y los acelerogramas del evento 2 como representativos del sismo de 1967.

Agradecimientos

Esta investigación ha estado financiada parcialmente por el FONACIT, Proyecto N° 2011000716, Proyecto SismoCaracas de FUNVISIS y el IMME-FI-UCV. Los autores también agradecen al Ing. Julio J. Hernández y al Prof. Michael Schmitz por sus valiosos comentarios.

Referencias

- [1] CPES. Segunda Fase del Estudio del Sismo Ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967 (Vol. A y Vol. B). Informe de la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo, FUNVISIS. (1978).
- [2] Suárez, G. and Nábělek, J. The 1967 Caracas Earthquake: Fault Geometry, Direction of Rupture Propagation and Seismotectonic Implications. *J. of Geophysical Research*, 95 (B11). (1990). 17459-17474.
- [3] Schmitz, M., Hernández, J., Morales, C., Domínguez, J., Rocabado, V., Vallée, M., y otros. Principales Resultados y Recomendaciones del Proyecto de Microzonificación Sísmica en Caracas y Estrategias para su Implementación. *Rev. Fac. de Ing. U.C.V.*, 26 (2). (2011). 113-128.
- [4] Bozorgnia Y., Abrahamson N., Al Atik L., Ancheta T., Atkinson G., Baker J., Baltay A., Boore D., Campbell K., Chiou B., Darragh R., Day S. Donahue J., Graves R., Gregor N., Hanks T., Idriss I., Kamai R., Kishida T., Kottke A., Mahin S., Rezaeian S., Rowshandel B., Seyhan E., Shahi S., Shantz T., Silva W., Spudich P., Stewart J., Watson-Lamprey J., Wooddell K., and Youngs R. NGA-West2 Research Project. *Earthquake Spectra*, Vol. 30, No. 3, (2014), pp. 973-987.
- [5] Guerrero, A. Desempeño de edificios afectados por el sismo de Caracas de 1967 en la zona de Los Palos Grandes- Altamira. Tesis de M.Sc. Tutor: O. A. López. FI-UCV (2017).

- [6] Fiedler, G. Estudio Sismológico de la Región de Caracas con Relación al Terremoto del 29 de Julio de 1967. Boletín Técnico del IMME (Nº 23-24). (1968)
- [7] Fiedler, G. Algunas notas sobre la aceleración del suelo en el Terremoto de Caracas de Julio 29 de 1967. Caracas: Italgráfica. (1969).
- [8] Sozen, M. A., Jennings, P. C., Matthiensen, R., & Housner, G. W. Engineering Report on the Caracas Earthquake of July 29, 1967. Washington National Academy of Sciences. (1968). 116.
- [9] Hernández, J. J. Revisión de la sismicidad y modelo sismogénico para actualización de las evaluaciones de amenaza sísmica en la región norcentral de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas. (2009).
- [10] Wells, D., & Coppersmith, K. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4. (1994). 974-1002.
- [11] Skinner, R. I. Damage Mechanisms and Design Lessons from Caracas. Proceedings of the Fourth WCEE, Vol. 3, J-2. Santiago de Chile. (1969). 124 a 136.
- [12] Seed H. B., Whitman R. V., Dezfulian H. Dobry R., Idriss I. M. Relationships Between Soil Condition And Building Damage in the 1967 Caracas Earthquake. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE. (1972).
- [13] Alonso J. L. Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones. PAG Marketing Soluciones. (2014).
- [14] Papageorgiou, A. S., Kim, J. Study of the Propagation and Amplification of Seismic Waves in Caracas Valley with Reference to The 29 July 1967 Earthquake: Sh Waves. Bulletin of the Seismological Society of America, 81 (6). (1991). 2214-2233.
- [15] Hernández, J. J. Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela. C.I.V., Capítulo: DMC. (2009).
- [16] Urich, A. Desempeño de edificios y acciones sísmicas en los Palos Grandes 1967. Tesis de M.Sc. Tutor: Oscar A. López. Universidad Central de Venezuela. Fac. de Ingeniería. (2013).
- [17] Robson, G. R., Canales, L., & Esteva, L. Venezuela. The Caracas Earthquake of July 1967. Paris: UNESCO, Serial Nº 571/BMS.RD/AVS. (1968).
- [18] Fintel, M., Nieves, J. M., Jobse, H. J., Armheim, J. E., & Griffin, P. Preliminary Report. The behavior of reinforced concrete structures in Caracas, Venezuela, earthquake of July 29, 1967. Chicago, USA: Portland Cement Association. (1967).
- [19] Morales C., Hernández J. J., Schmitz M., Cano V. y Tagliaferro M. Velocidades promedio de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (vs30), inferidas a partir del relieve en el área metropolitana de Caracas. Revista Facultad de Ingeniería. U.C.V., v.26 n.2. (2011).
- [20] Amarís, E., Sánchez, J., Rocabado, V., Moncada, J., Schmitz, M. Espesores de Sedimentos. Cap. 3.3 - Informe Final, Proy. de Microz. Sísmica de Caracas, FUNVISIS. (2009).
- [21] Shahi, S., & Baker, J. NGA-West2 Models for Ground-Motion Directionality. Earthquake Spectra, 30 (Nº 3). (2014). 1285-1300.
- [22] PEER. Pacific Earthquake Ground Motion Database. Consultada en Octubre, 2017. <https://ngawest2.berkeley.edu/> (2017).
- [23] Ghobarah, A. On Drift Limits Associated with Different Damage Levels. International Workshop on Performance-Based Seismic Design. Slovenia (2004), 321-332.
- [24] FEMA/NIBS. Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS®MH MR4, Technical and User's Manual, Washington D.C., USA (2003).
- [25] ASCE. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. ASCE 41-13. American Society of Civil Engineers. Virginia, EEUU (2013).
- [26] Chopra, A. Dynamics of Structures A Primer. EERI Earthquake Engineering Research Institute. (1981).



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 42. N°3, Septiembre - Diciembre 2019, pp. 104 -151 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en
Septiembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz**,
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve