

Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de Pedernales de 2016

Roberto Aguiar Falconi*

Recibido en noviembre de 2016; aceptado en diciembre de 2017

Abstract

In the northern region of Ecuador, there is a major coupling between the Nazca and South American tectonic plates, which causes that approximately every 20 years an interplate earthquake with smooth angle of dip, and magnitude moment greater than 7.

On April 16, 2016, an earthquake of magnitude 7.8, with epicenter in Pedernales, Ecuador, left many damages in the structures, one of the main causes was the seismic action, which was greater than those recommended by seismic regulations. Close to the epicenter area, the spectral ordinates were three times larger than those obtained with the latest seismic regulations of 2015. Therefore, a revision of the design spectra is necessary, especially in the Esmeraldas and Portoviejo provinces.

In this article we present the seismic risk in uniform spectra, in rock, for Manta city, for three returning periods, considering three models of strong movements and using a logical tree for the evaluation of seismic hazard. On the other hand, the source areas considered and the seismic parameters of each of them are indicated.

Finally, the spectrum for a returning period of 475 years is compared with the recommended by the Ecuadorian Construction Standard of 2015, where greater spectral orders can be seen for the zone of constant acceleration in relation to NEC-15 regulation.

Key Words: seismic hazard, construction regulations, Ecuador

Resumen

En la región norte del Ecuador, existe un mayor acoplamiento entre la placa de Nazca y la placa Americana, lo que ocasiona que aproximadamente cada 20 años se tenga un sismo interplaca de bajo ángulo de buzamiento, de magnitud de momento mayor a 7.

El 16 de abril de 2016, un terremoto de magnitud de momento 7.8, con epicentro en Pedernales, Ecuador, dejó muchos daños en las estructuras, siendo una de las causas la acción sísmica, que fue mayor a la prescrita en las normativas sísmicas. En la zona del epicentro las ordenadas espectrales fueron tres veces más

.....
* *Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.*

grandes con respecto a las obtenidas con la última normativa sísmica de 2015. Por lo tanto, es necesario una revisión de los espectros de diseño, especialmente en las Provincias de Esmeraldas y Portoviejo.

En este artículo se encuentran espectros de riesgo sísmico uniforme, en roca, para la ciudad de Manta, para tres períodos de retorno, considerando tres modelos de movimientos fuertes y empleando un árbol lógico para la evaluación de la peligrosidad sísmica. Por otro lado se indica las zonas fuentes consideradas y los parámetros de sismicidad de cada una de ellas.

Finalmente, se comprara el espectro obtenido para un período de retorno de 475 años, con el prescrito por la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015, donde se aprecia mayores ordenes espectrales para la zona de aceleración constante con relación a las del NEC-15.

Palabras clave: Espectros de peligro sísmico uniforme.

Introducción

A las 18:58 horas del sábado 16 de abril de 2016, un sismo de magnitud de momento 7.8, registrado en la costa de Pedernales, en el norte de Ecuador, causó la muerte de 660 personas, más de seis mil heridos y pérdidas económicas estimadas en 3,344 millones de dólares, que representan el 3% del PIB (Ospina, 2016). Posteriormente con las réplicas, el número de víctimas mortales llegó a la cifra de 663. Por el gran daño que dejó el sismo, cuyo epicentro se observa en la Figura 1, se denominará en este artículo como terremoto.

El epicentro no es más que el sitio donde se inició el proceso de ruptura, cuya ubicación está representada por un rectángulo en la Figura 1. Se aprecia que la ruptura se dio hacia el sur del epicentro, de ahí que se tuvo más daño en las ciudades de Bahía de Caráquez, Manta, Portoviejo y Chone, por citar a cuatro de las ciudades principales de la Provincia de Manabí. Claro está que también hubo daño en la ciudad de Esmeraldas que se halla al norte, por la cercanía al epicentro.

En la Figura 2, se presentan las réplicas registradas durante los dos primeros meses, destacando dos puntos importantes: el primero es que el 16 de mayo hubo dos réplicas de magnitud 6.8, que causaron mayor daño en las estructuras que fueron afectadas por el evento principal y el segundo que a los seis meses del terremoto, se han registrado más de 2,700 réplicas (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional —IGEPN, 2016).

Es fundamental reconocer que después de un terremoto que ha liberado una gran cantidad de energía, se van a producir réplicas de considerable magnitud y que las estructuras que tuvieron daño en el evento principal, van a incrementar su afectación, por lo que es necesario efectuar un apuntalamiento de las mismas, de no hacerlo el daño será de tal magnitud que será imposible rehabilitar la estructura.

Aceleraciones y espectros del terremoto de Pedernales

Los primeros informes de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, son los indicados en la Figura 3; se observa que tuvo una duración de alrededor de 60 segundos.

En Pedernales, el registro está identificado por la estación de dicha ciudad (APED) y se aprecia que la aceleración máxima fue de 1.413 g . Siendo g la aceleración de la gravedad. Al valor de la aceleración máxima en valor absoluto se denomina PGA (*Peak Ground Acceleration*), es un valor muy alto.

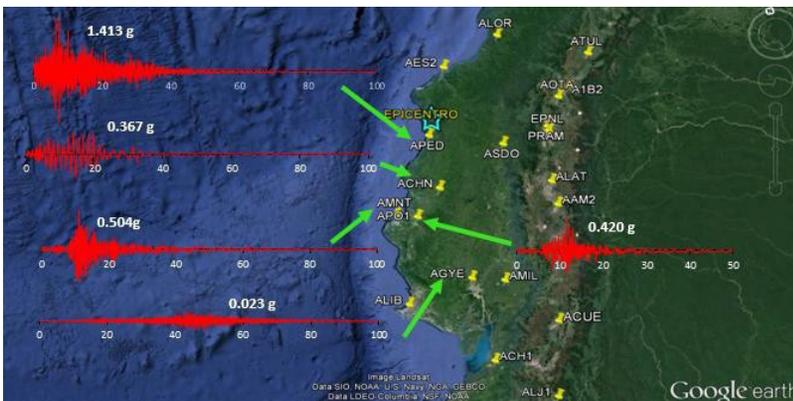


Figura 3. Acelerogramas del terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016.

Fuente: RENAC-IGEPN (2016).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, para la costa Ecuatoriana recomienda que el PGA debe ser mayor a 0.5 g no se indica que tan mayor, y gran parte de proyectistas estructurales trabajan con 0.5 g . En este contexto los valores registrados en la estación de Chone (ACHN) de 0.367 g , en Manta (AMNT) de 0.504 g , y en Portoviejo de 0.42 g son iguales o ligeramente menores al PGA del NEC-15. Pero en la Normativa de 2011 NEC-11 o en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000, el valor de PGA para la Costa era de 0.4 g .

La mayor parte de las estructuras que colapsaron o tuvieron un mal comportamiento sísmico fueron diseñadas en el siglo pasado, seguramente con el Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977, donde no existía una zonificación sísmica, de tal manera es de suponer que fueron diseñadas con fuerzas sísmicas menores.

No se esperaba tener un PGA tan elevado en la ciudad de Pedernales; las edificaciones de esa ciudad no fueron diseñadas para un valor tan alto, de ahí que buena parte de las edificaciones de la ciudad colapsaron o tuvieron un daño grande por lo que fueron derrocadas después del terremoto.

Con los registros de aceleraciones del suelo de Pedernales, se obtuvieron los espectros de respuesta elástica para 5% de amortiguamiento y son los que se presentan en la Figura 4, se observa que los mayores valores se tienen para la componente norte-sur (N-S), pero los de la componente este-oeste (E-W), como los de la componente vertical V, son altos. En esta misma gráfica se indica el espectro recomendado por el NEC-15 y se ve que tiene ordenadas espectrales muy bajas en comparación con los otros espectros.

Las estructuras no se diseñan para el espectro elástico del NEC-15, indicado en la Figura 4, sino para uno que se obtiene dividiendo este espectro para el factor de reducción de las fuerzas sísmicas R también conocido como factor de disipación de energía (Aguiar, 2007).

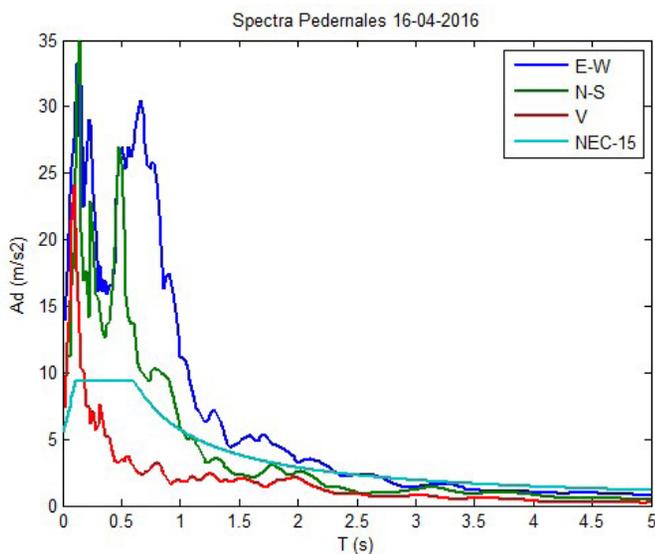


Figura 4. Espectros obtenidos en la ciudad de Pedernales, del terremoto del 16 de abril de 2016 y espectro de diseño de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

Al dividir el espectro para R , las fuerzas sísmicas de diseño fueron bajas por lo que se espera daño en las estructuras ante un sismo muy fuerte, para ello la estructura debe tener ductilidad, redundancia y sobrerresistencia.

Pero el punto al que se quiere llegar, es que se diseñaron las estructuras para fuerzas sísmicas demasiado bajas en comparación con las que demanda el espectro de Pedernales y esto ocasionó el mal comportamiento sísmico. Lo propio, pero a menor escala sucedió en las restantes ciudades afectadas por el terremoto.

Va a ser muy difícil, cambiar la mentalidad en los proyectistas estructurales, en reconocer que deben diseñar para ordenadas espectrales mayores a las prescritas en la normativa sísmica del NEC-15. Los espectros de Pedernales mostrados en la Figura 4, son una realidad e implican diseñar estructuras con mayores dimensiones de columnas y vigas, implica diseñar con muros de corte. Todo esto es edificaciones de pocos pisos, como las que se tenían en Pedernales antes del sismo.

Para la zona de períodos cortos las ordenadas de los espectros hallados en Pedernales del terremoto del 16 A, son más de tres veces las del espectro del NEC-15 y esto significa que se piense en diseñar con espectros mayores, no hacerlo representa un alto riesgo para las estructuras, porque la zona norte del Ecuador tiene una alta peligrosidad sísmica como se verá en el siguiente apartado en que se analizan los sismo históricos.

Sismicidad histórica en la costa norte del Ecuador

El ser humano tiende a olvidar los aspectos negativos de la vida, es así como en dos o tres años más se habrán olvidado de las pérdidas humanas y económicas que dejó el terremoto del 16 de abril de 2016. Conforme pasan los años se llegará a pensar que es una utopía tener terremotos en el Ecuador, y qué decir de los que no estuvieron en las Provincias de Esmeraldas y Manabí, para ellos no hay sismos. Para que no se olviden de esta realidad y construyan sus edificaciones sismo indiferente, se escriben los siguientes párrafos y que tengan presente que Ecuador tiene una peligrosidad sísmica similar a la Colombia y Perú, y ligeramente menor a la de Chile.

Nótese que se dijo edificaciones sismo indiferente en lugar de decir edificaciones sismo resistente. Sí, porque con las sismo indiferente no se tendrá ningún daño en la estructura y para ello es necesario colocar dispositivos como aisladores sísmicos y/o disipadores de energía. En cambio con las estructuras sismo resistente se admite que ante un terremoto va a sufrir daño la estructura pero va a tener un buen comportamiento en el rango no lineal.

En la Figura 5 se presentan los epicentros de siete sismos que han afectado a la costa norte del Ecuador y son los registrados en 1906 (magnitud 8.8) es el sexto sismo a nivel mundial que ha liberado la mayor cantidad de energía; 1942 (7.8) conocido con el nombre de sismo de Guayaquil, ya que causó gran daño en las estructuras de hormigón armado que empezaban a construirse en el puerto principal; 1956 (7.0); 1958 (7.6); 1956 (7.0); 1979 (8.0) que ocasionó mucho daño en la ciudad de Esmeraldas; 1998 (7.1) conocido con el nombre de sismo de Bahía de Caráquez que puso a prueba el comportamiento de edificios de tres a 12 pisos de hormigón armado; y el último del 16 de abril de 2016 de magnitud 7.8.

Por su epicentro y magnitud, el terremoto de 1942 es similar al terremoto de 2016. Los dos tienen una magnitud de 7.8; en el primero se reportaron más de 200 fallecidos en cambio en el segundo la cifra se triplica. Esto se debe a que en

1942 se tenía una menor población y menor número de construcciones, la mayor parte de ellas de menos de cinco pisos. Por lo tanto, conforme pasa el tiempo, se incrementa el riesgo sísmico.

Son siete terremotos con magnitud mayor o igual a 7.0 que se han registrado en la costa norte del Ecuador, desde 1906 hasta el 2016. Por lo tanto, se tiene una gran peligrosidad sísmica ya que cada 20 años (redondeando la cantidad) se tiene un terremoto muy destructivo. No se puede hacer nada ante esta realidad pero si se puede hacer y mucho construyendo edificaciones más seguras contra la acción de los terremotos.

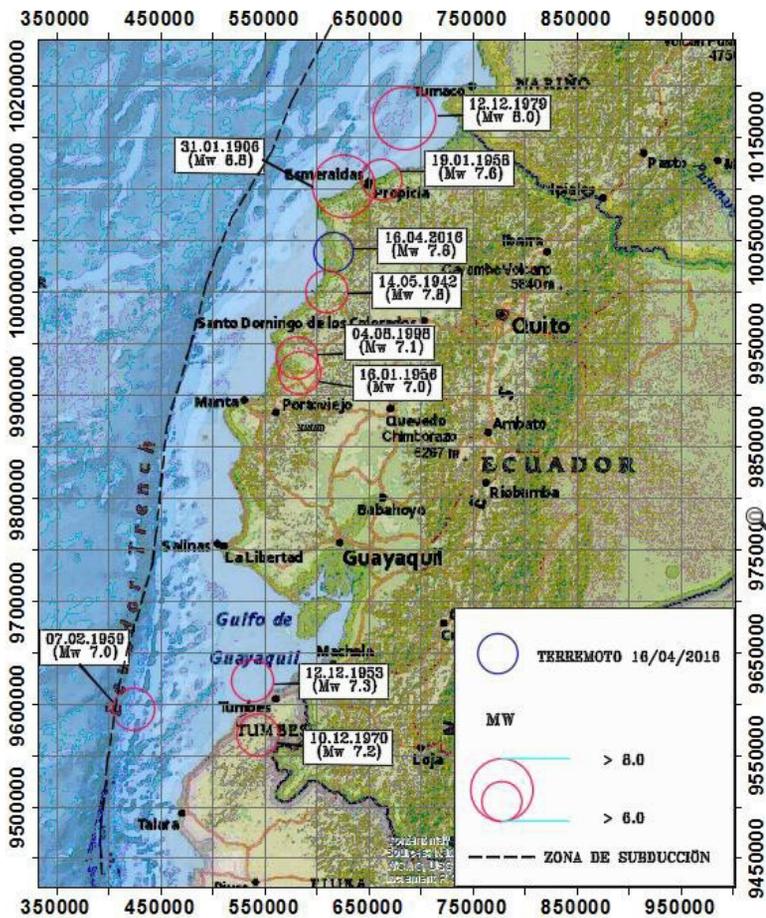


Figura 5. Sismos registrados en el siglo XX y XXI en la Costa Norte del Ecuador, con magnitud mayor o igual a 7.
Fuente: Aguiar et al. (2016).

Ecuaciones de movimientos fuertes

En los estudios de peligrosidad sísmica, se debe definir una ley de atenuación, para ello se tiene una gran cantidad de modelos. Douglas (2016) presenta 15 modelos publicados en los últimos 10 años, todos ellos responden a una gran base de registros sísmicos y tienen una base teórica muy sólida; un resumen de estos modelos se indica en Aguiar *et al.* (2016).

Para seleccionar dos o tres modelos de movimientos fuertes, con los que se piensa realizar un estudio de peligrosidad sísmica tendientes a la obtención de espectros de diseño, se suele determinar en primer lugar criterios de selección, en los que se considera el número de datos con los cuales se obtuvieron las ecuaciones; la magnitud máxima y mínima de las bases de datos; las variables que intervienen en su evaluación entre otras cosas.

Ahora se tiene el registro de un terremoto (del 16 de abril de 2016) de magnitud 7.8, el mismo que ha sido registrado a diferentes distancias, por lo que se puede utilizar alguna de las ecuaciones de movimientos fuertes y ver que también se aproxima a su modelo teórico con lo registrado, para el futuro aplicarlo a sismos interplaca de bajo ángulo de buzamiento, tal modelo, es el que mejor que se aproxima a la realidad ecuatoriana.

Uno de los modelos copiados por Douglas (2016) es el de Zhao *et al.* (2006) que permite encontrar leyes de atenuación para tres tipos de fuentes sísmicas a saber: interplaca; intraplaca y de fallamiento cortical. La mayor parte de su base de datos son sismos registrados en Japón.

Por otra parte, no se conoce a ciencia cierta el tipo de suelo en que fueron registradas las aceleraciones del terremoto del 16 de abril de 2016, se considera que lo más probable es que las estaciones se hallan en suelos tipo C o D, que corresponden a suelos de resistencia intermedia (el NEC-15 considera seis tipos de suelos que van desde la A, que es una roca potente hasta la F, que es un suelo muy malo desde el punto de vista de resistencia).

Como no se conoce bien, se aplicaron las ecuaciones de Zhao *et al.* (2006) para los dos tipos de suelos, destacando que R_{rup} se trabajó con la distancia desde la estación al plano de falla. Los resultados se presentan en las Figuras 6 y 7 para suelos C y D. En las mismas figuras, con línea continua se indica el valor medio que reporta la ecuación de movimiento fuerte, la misma que tiene un nivel de confianza del 50% y, con líneas entrecortadas, las correspondientes a la media más menos una desviación estándar, es decir el nivel de confianza es del 84%.

En las dos figuras se presentan ecuaciones de atenuación para períodos igual a cero, curvas superior izquierda; para período de 0.20 segundos, curva superior derecha; para un segundo, gráficas inferior izquierda y 3.0 segundos, gráficas inferior derecha.

Al considerar la desviación estándar se tiene una buena aproximación entre las ecuaciones del modelo de Zhao *et al.* (2006) y los valores máximos registrados. Sin embargo se destaca que para un perfil de suelo tipo C, se tiene una mejor aproximación. Lo importante es que las ecuaciones de Zhao *et al.* (2006) son recomendables.

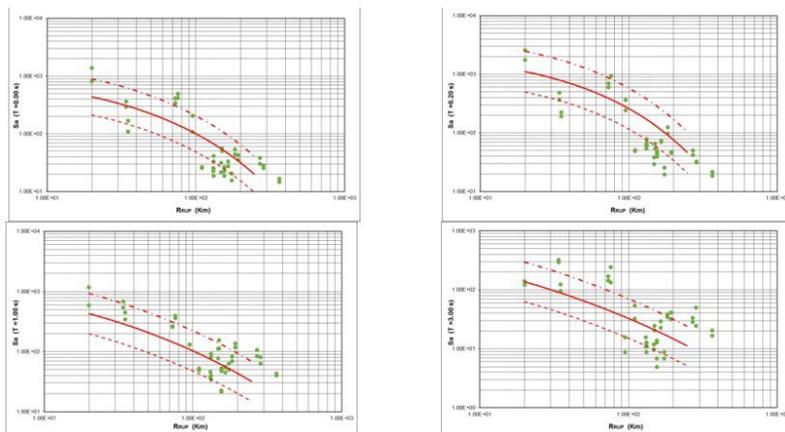


Figura 6. Comparación de aceleraciones de suelo registrado, con el modelo de Zhao et al. (2016) para un perfil de suelo tipo C.
Fuente: Aguilar (2016).

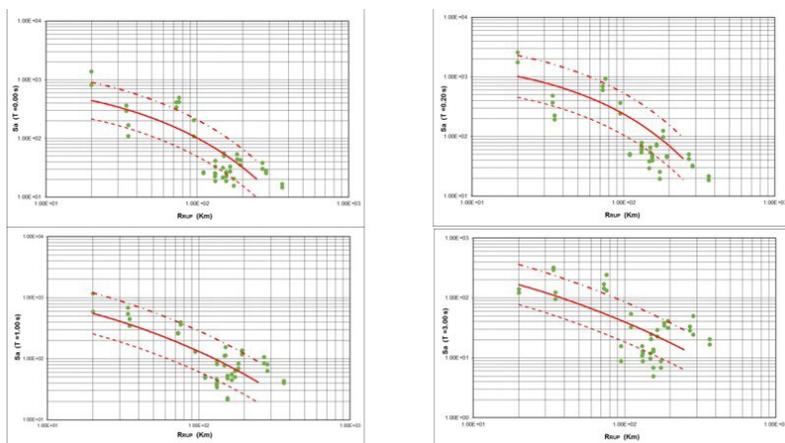


Figura 7. Comparación de aceleraciones de suelo registrado, con el modelo de Zhao et al. (2016) para un perfil de suelo tipo D.
Fuente: Aguilar (2016).

Estudios de Peligrosidad Sísmica

El terremoto del 16 de abril de 2016, puso en evidencia la necesidad de una nueva actualización del NEC-15. En Pedernales se deben incrementar notablemente las

aceleraciones de los espectros de diseño como se vio en la Figura 4. En el presente apartado se hace el cálculo de espectros de diseño para la ciudad de Manta, para períodos de retorno de 475, 975 y 2475 años, en roca.

Se trabajó con tres ecuaciones de movimiento fuerte, la de Zhao *et al.* (2006) indicada en el apartado anterior, que se abreviará (Z06); la de Abrahamson *et al.* (2016) cuya base de datos son sismos registrados en todo el mudo (A16) y la desarrollada por Haendel *et al.* (2015), que utiliza datos de sismos registrados en Chile (H15).

En la Tabla 1 se presentan las combinaciones que se utilizaron en el árbol lógico para la evaluación de la peligrosidad sísmica; destacando que se les asigna el mismo peso a todos los modelos, se indica además el régimen tectónico de aplicación (Rivas 2016, Aguiar *et al.* 2016).

Tabla 1
Modelos a ser utilizados en los tres regímenes tectónicos y el árbol lógico de cálculo de la Peligrosidad Sísmica

Rama	Cortical	Interplaca	Intraplaca
ZZZ	Z06	Z06	Z06
ZHH	Z06	H15	H15
ZAA	Z06	A16	A16

Por otra parte se trabajó con las zonas fuentes desarrolladas por Parra (2016), que a la fecha representan el estado del arte en Ecuador.

En la Figura 8a, se presentan las zonas fuentes asociadas a fallamiento local en la corteza y en la 8b, las zonas fuentes interplaca que se encuentran en la costa y las intraplaca.

Para cada una de las fuentes sísmicas, se ajustó un modelo de recurrencia trabajando con los sismos registrados en cada zona y se hallaron los parámetros del modelo de Gutenberg y Richter, los mismos que se indican en la Tabla 2, que se utilizó en la evaluación de la amenaza sísmica empleando el programa CRISIS. (Ordaz *et al.* 2013).

En la Figura 9, se presenta el resultado del estudio de peligrosidad sísmica para la ciudad de Manta, en roca (perfil de suelo tipo B). Con este gráfico se puede obtener espectros de peligro sísmico uniforme para cualquier período de retorno. A estos se conocen también con el nombre de Espectro UHS (*Uniform Hazard Spectrum*).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, presenta espectros para un período de retorno de 475 años, que está asociado a una vida útil de la estructuras

de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%. Si se mantiene la misma vida útil pero se disminuye la probabilidad de excedencia al 5% el periodo de retorno es de 975 años y si se desea una mayor confiabilidad disminuyendo la probabilidad de excedencia al 2%, el periodo de retorno es de 2 475 años.

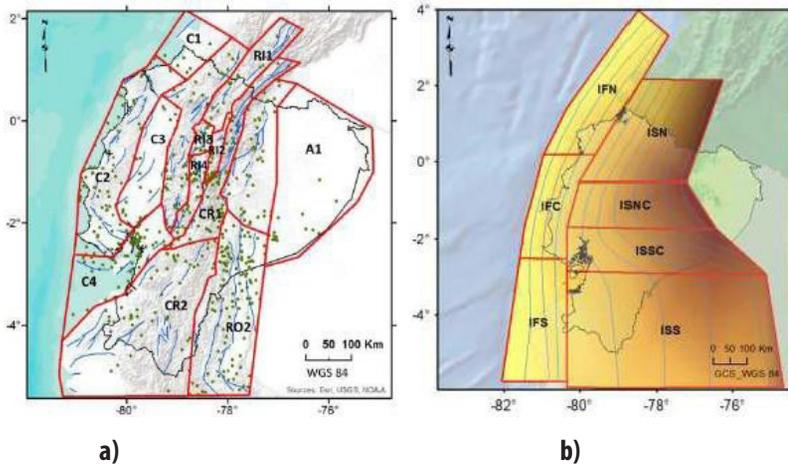


Figura 8. Zonas fuentes: a) Corticales; b) Interplaca e Intraplaca.
Fuente: Parra (2016)

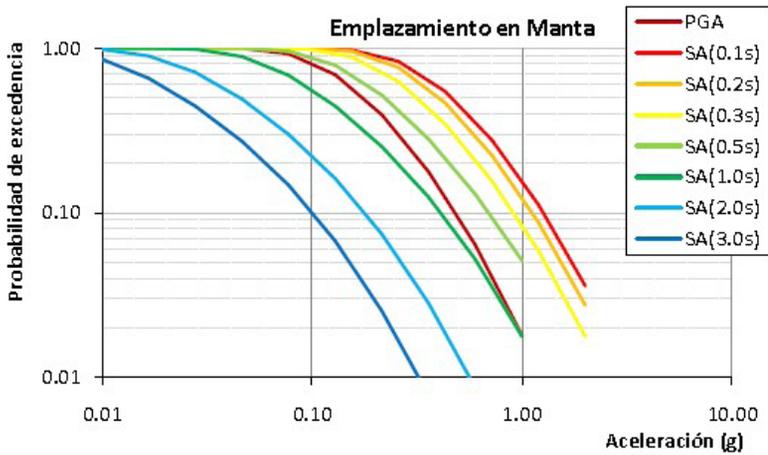


Figura 9. Curvas de peligrosidad promedio para Manta, en un perfil de suelo tipo B (roca).
Fuente: Rivas (2016).

Dependiendo del tipo de estructura, se selecciona el período de retorno. Para edificios de vivienda u oficina es suficiente trabajar con períodos de retorno de 475 años pero si se trata de un hospital se trabaja con un período de retorno de 2 475 años.

Tabla 2
Parámetros de ajuste de la recta de Gutenberg-Richter
(GR) para cada zona fuente del modelo de Parra

ÁREA FUENTE	CÓD.	ÁREA	m_0	Mmax	Δ	α	β	$\alpha\beta$	N (m_0)	$N(m_0)/$ ÁREA
Sismicidad										
Cortical										
Costa 1	C1	12950	4	5,9	1,2	10,74	1,99	1,65	0,32	2,47E-05
Costa 2A*	C2A	41619	4	4,8	0	17,42	2,96	0,29	2,54	6,10E-05
Costa 2B*	C2B	41619	4,9	6,8	0,4	10,96	1,59	0,7	0,27	6,44E-06
Costa 3	C3	19402	4	7	0,2	15,65	3,03	0,95	0,68	3,49E-05
Costa 4A*	C4A	24492	4	4,6	0	17,85	3,33	0,43	1,82	7,44E-05
Costa 4B*	C4B	24492	4,7	6,9	0,3	13,29	2,3	1,14	0,24	9,60E-06
Western Cordillera	CO1	2433	4	6,7	0,5	15,72	2,88	0,52	1,31	5,35E-05
Región Interandina 1	RI1	14389	4	6,9	0,4	7,96	0,98	0,31	0,26	1,79E-05
Región Interandina 2	RI2	3035	4	5,8	0,8	18,52	3,77	0,95	0,62	2,04E-04
Región Interandina 3	RI3	2778	4	6,6	0,3	9,41	1,47	0,47	0,34	1,20E-04
Región Interandina 4	RI4	6200	4	6,7	0,9	11,29	1,6	0,27	0,6	9,71E-05
Cordillera Real 1	CR1	18107	4	6,8	0,6	13,25	1,86	0,21	1,51	8,36E-05
Cordillera Real 2	CR2	74991	4	6,9	0,4	18,16	3,45	0,54	1,55	2,07E-05
Región Oriental 1	RO1	27569	4	6,8	0,3	15,59	2,83	0,46	1,4	5,07E-05
Región Oriental 2	RO2	47101	4	7,1	0,4	15,09	2,15	0,19	2,95	6,25E-05
Región Amazónica	A1	60682	4	5	0,2	12,68	2,43	1,21	0,38	6,23E-05

Continuación de Tabla 2

ÁREA FUENTE	CÓD.	ÁREA	m_0	Mmax	Δ	α	β	$\alpha\beta$	N (m_0)	N(m_0)/ÁREA
Sismicidad Interfase										
Interfase Norte A*	IFN_A	59914	4	5,9	0	14,06	1,87	0,1	6,61	1,10E-04
Interfase Norte B*	IFN_B	59914	6	8,8	0,7	8,74	1	0,37	0,14	2,37E-05
Interfase Centro A*	IFC_A	39396	4	5,3	0	14,55	2,09	0,14	4,48	1,14E-04
Interfase Centro B*	IFC_B	39396	5,4	7,9	0,1	10,29	1,3	0,39	0,24	6,12E-06
Interfase Sur	IFS	59122	4	7,5	0,4	13,99	1,87	0,11	6,21	1,05E-04
Sismicidad in-Slab										
In-slab Norte	ISN	81870	4	7,2	0,4	10,49	1,54	0,29	0,69	8,43E-06
In-slab Norte Centro	ISNC	49806	4	7	0,5	12,18	1,64	0,17	2,65	5,33E-05
In-slab Sur Centro	ISSC	66315	4	7,5	0,1	13,47	1,82	0,12	4,44	6,70E-05
In-slab Sur	ISS	202155	4	7,7	0,2	13,21	1,67	0,09	6,41	3,17E-05

Notación: * Zonas con ajustes dobles; Área: área de la zona fuente (km2); m_0 : magnitud mínima para la tasa; M_{max} :

M_w máxima esperada; α y β : parámetros de la relación Gutenberg-Richter; σ β : sigma de Beta; N(m_0): tasa de eventos con $M_w \geq m_0$; $\dot{N}(m_0)/\text{ÁREA}$: tasa de eventos con $M_w \geq m_0$ dividido entre el área de la zona fuente.

Fuente: Parra (2016).

En la Figura 10 se presentan los espectros de peligro sísmico uniforme para la ciudad de Manta, en roca, para períodos de retorno de 475, 975 y 2 475 años. A partir de estos espectros se puede hallar para cualquier tipo de suelo utilizando los factores de sitio de NEHRP (2009).

Ahora interesa comparar el espectro UHS hallado para 475 años con el recomendado por el NEC-15, en el mismo tipo de suelo (roca). La comparación se tiene en la Figura 11, donde se aprecia que la plataforma de aceleración constante del NEC-15 reporta valores considerablemente más bajos que el espectro UHS, para la rama descendente y ascendente del espectro los valores son similares.

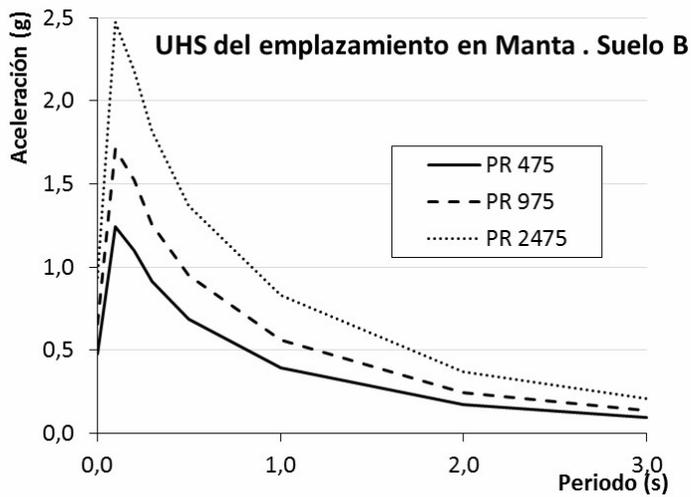


Figura 10. Espectros de peligro sísmico uniforme para Manta en roca, para períodos de retorno de 475, 975 y 2475 años.

Fuente: Rivas (2016).

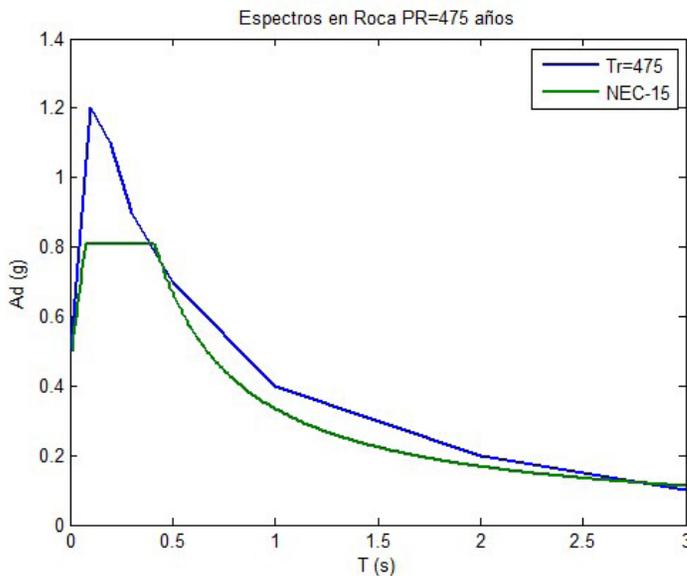


Figura 11. Comparación entre espectro obtenido de estudio de peligrosidad sísmica para 475 años de período de retorno, en Manta, en roca y espectro recomendado por el NEC-15 para el mismo tipo de suelo.

Fuente: este estudio.

Comentarios y conclusiones

Las aceleraciones espectrales en la zona del epicentro, del terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de momento de 7.8, fueron tres veces mayores que las recomendadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015. Por lo tanto es necesario actualizar el capítulo de peligrosidad sísmica del NEC-15.

Como un aporte a dicha actualización, se han obtenido espectros de peligro sísmico uniforme para la ciudad de Manta, en roca, para períodos de retorno de 475, 975 y 2475 años. En la evaluación se utilizaron tres modelos de movimientos fuertes y son los desarrollados por Zhao *et al.* (2006); Abrahamson *et al.* (2016) y Haendel *et al.* (2015), pero su utilización está definida por un árbol lógico en que se considera la fuente sísmica.

Por otra parte, se trabajó con las zonas fuentes propuestas por Parra (2016) que a criterio del autor de este artículo, representa el estado del arte, en esta temática, ya que hace un acopio de los principales trabajos publicados en los últimos años, a más de ello considera modelos bilineales para las relaciones de recurrencia.

Un estudio detallado del cálculo de los espectros de peligrosidad sísmica uniforme presentado en este apartado se halla en Aguiar *et al.* (2016).

En el espectro de peligro sísmico uniforme en roca, para Manta, para un período de retorno de 475 años, encontrado en este estudio, se observa que en la zona de aceleración constante, las aceleraciones son mayores a las recomendado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015, para la rama ascendente y descendente son parecidos.

Bibliografía

- Aguiar, R.; Zevallos M., Palacios J., García L. y Menéndez E., 2016. *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía. Terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Portoviejo, Ecuador, 283 pp.
- Aguiar, R., 2007. *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas*.
- Aguiar Z., 2016. "Aspectos sismológicos del terremoto de Muisne, Ecuador del 16/04/2016", Conferencia dictada en el Colegio de Ingenieros Civiles de Perú, el 6 de julio de 2016.
- CEC, 2000. "Capítulo 1: Peligrosidad Sísmica", *Código Ecuatoriano de la Construcción*, Quito.
- Douglas, 2016, *Ground motion prediction equations 1964-2016*, <www.gmpe.org.uk/>.
- Haendel A., Specht S., Kuehn N., and Scherbaum F., 2015. Mixture of groundmotion prediction equations as backbone models for a logic tree: an application to the subduction zone in Northern Chile. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13 (2), 483-501.

- IGEPN (2016). "Informes especiales sobre el sismo del 16 de abril de 2016", Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- NEC-15, 2015. "Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente, MIDUVI, Quito, 138 pp.
- NEHRP, 2009, Council, B.S.S., 2009. "NEHRP recommended seismic provisions for new buildings and other structures", *Federal Emergency Management Agency*.
- Ordaz M., Martinelli F., D'Amico V., and Maletti C., 2013, "CRISIS2008: A flexible tool to perform probabilistic seismic hazard assessment", *Seismological Research Letters*, 84 (3):495-504.
- Ospina P., 2016. "El terremoto y las metamorfosis de la sociedad civil", *Comité Ecuaménico de Proyectos*.
- Parra H., 2016. "Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito", tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- RENAC, 2016. "Acelerogramas del terremoto del 16 de abril de 2016", Red Nacional de Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, Quito.
- Rivas A., 2016, "Caracterización probabilística de la peligrosidad sísmica en dos emplazamientos de interés, Manta y Bahía de Caráquez (Ecuador)", Informe de estudio, Manta, 21 pp.
- USGS, 2016. "M 7.8-27Km. SSE of Muisne, Ecuador", United States Geological of Survey.