



Informe Sísmico Especial N.- 18
Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud M_w 7.8. Intensidades y aceleraciones

Juan Carlos Singaicho, Aurore Laurendeau, Cristian Viracucha, Mario Ruiz
Área de Sismología – Instituto Geofísico.

INTRODUCCIÓN

El sismo registrado el sábado 16 de abril a las 18h58 (tiempo local), de magnitud 7.8 (M_w magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí), a 20 km de profundidad, fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca (placa oceánica) que se sumerge bajo la Sudamericana (placa continental). A este proceso se le conoce como subducción, y es el mismo fenómeno que originó los sismos del 31 de enero 1906 (M_w 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 de mayo 1942 (M_w 7.8); 19 de enero de 1958 (M_w 7.8) y del 12 de diciembre de 1979 (M_w 8.1).

En este reporte se resumen las observaciones de daños en las edificaciones y de los datos recuperados de las estaciones de aceleración.

RESUMEN DE EVALUACIÓN DE INTENSIDADES

La intensidad es un indicador de la fuerza del evento, medido en personas, objetos y edificaciones. Para determinar los niveles de intensidad se utilizó la Escala Macrosísmica Europea (EMS98), que es una actualización de la Escala de Mercalli. Esta escala cuenta con 12 grados.

El resumen que se presenta en esta sección y el mapa de intensidades es una actualización del informe especial N°12, publicado en la página web del IG-EPN el 17 de abril (<http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1316-informe-sismico-especial-n-12-2016>). Como se menciona en dicho informe, los trabajos realizados en el campo permitieron tener una mejor definición de las zonas con mayores daños en las estructuras.

Durante los días posteriores al evento principal, se organizó la campaña de campo para el reconocimiento de daños en las edificaciones con el propósito de definir las áreas más afectadas en términos de la intensidad sísmica. Los grupos de trabajo estuvieron conformados por técnicos del Instituto Geofísico, Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional y estudiantes de Ingeniería Civil. En total, se establecieron 6 equipos que recorrieron las zonas que reportaron daños durante el evento principal. Es así que la información levantada en campo sirvió para determinar una intensidad máxima de **9 EMS** en las zonas de Pedernales y San José de Chamanga. Este valor refleja el colapso observado en muchas edificaciones vulnerables y los daños en edificaciones construidas bajo las recomendaciones de las normas técnicas.

En ciudades y poblaciones costeras como Bahía de Caráquez, Jama y Canoa y las zonas centrales de Manta y Portoviejo, los daños en las edificaciones muestran una intensidad de **8 EMS**. En estas dos últimas ciudades la distribución de daños es muy heterogénea y concentrada en ciertas áreas de la urbe.

En la figura 1, conocida como mapa de isosistas, se observa que los daños están distribuidos en la provincia de Manabí. En las provincias de Esmeraldas, Santa Elena,

Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas, se observaron fisuras en las paredes de las edificaciones, que no comprometen a la estabilidad de la estructura. En general, en las provincias de la Sierra, la intensidad máxima es **4 EMS** que indica que el sismo fue sentido ampliamente por la población.

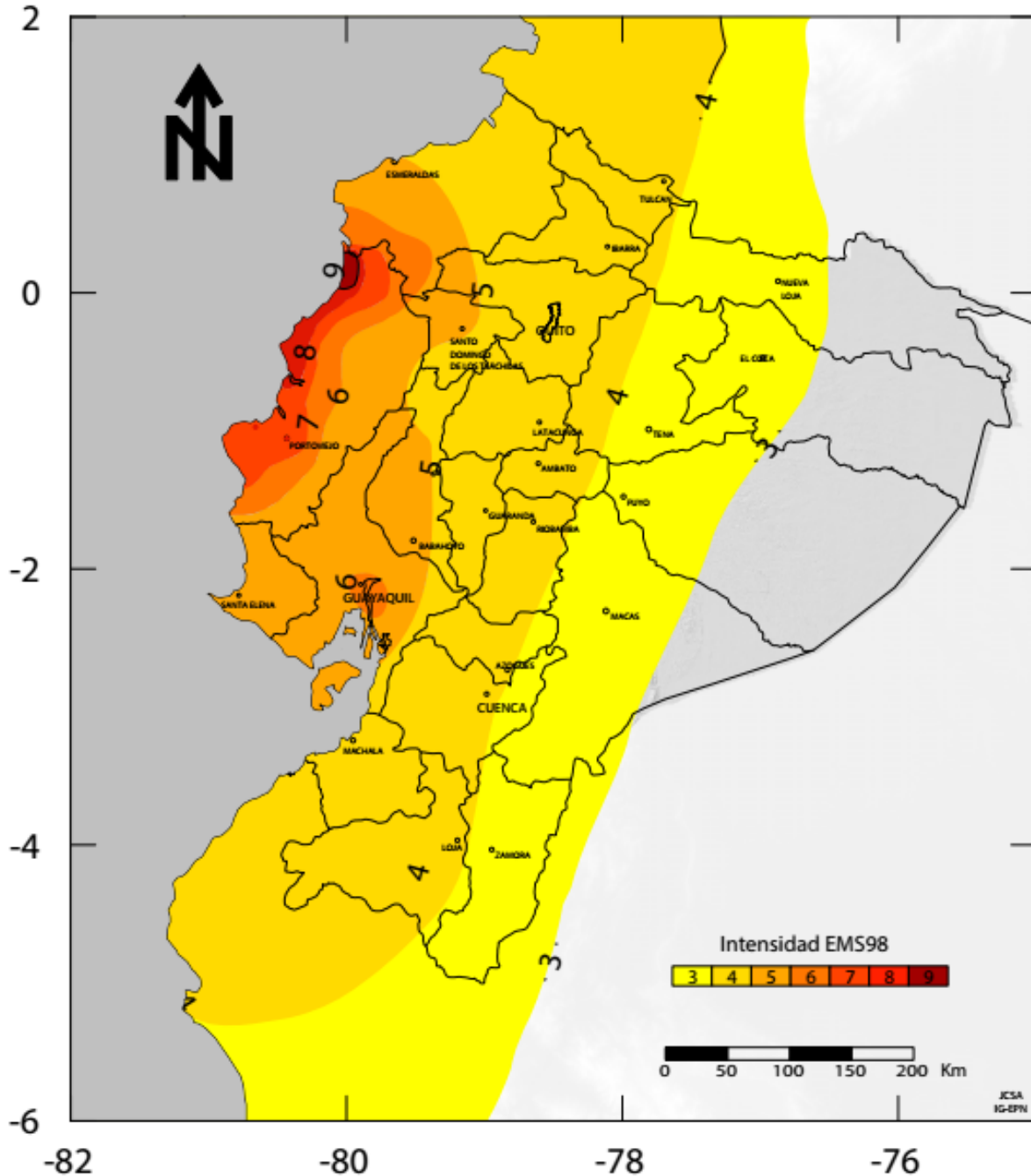


Figura 1: Mapa de intensidades del sismo del 16 de abril de 2016. Actualización del mapa presentado en el informe especial N°12

(<http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1316-informe-sismico-especial-n-12-2016>)

En un informe posterior se presentará con mayor detalle el proceso de evaluación de intensidades.

DATOS DE ACELERACIÓN

La aceleración es un parámetro muy importante en el diseño de edificaciones porque es directamente proporcional a la fuerza que debe soportar una estructura durante un sismo. Esta información es utilizada en los códigos de construcción para generar las recomendaciones que rigen el diseño.

Hasta el momento se ha recuperado la información de varias estaciones de aceleración ubicadas en todo el país, que se detallan con círculos en el mapa de la figura 2. Estas estaciones son parte de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) del Instituto Geofísico (<http://www.igeqn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>). Además, se dispone de los valores de la máxima amplitud (PGA) de 7 sitios de la red de la empresa Oleoducto de Crudos Pesados (OCP). Se cuenta con información de las estaciones cercanas a la ruptura; sin embargo, se está trabajando en la recuperación de los datos de aquellas estaciones que no cuentan con transmisión en tiempo real.

Los acelerogramas de la figura 3 están pre-procesados y presentados en ventanas de 250 segundos; esto garantiza la visualización de las ondas principales del sismo. En algunos casos en que el tiempo GPS no está sincronizado, la selección de la ventana se realizó manualmente. En cada señal, se removi6 el promedio y la tendencia lineal. También se aplic6 una funci6n de encerado en los bordes de cada registro (5% cosine taper en ingl6s). En la tabla 1, los valores de la amplitud m6xima obtenidos con este procedimiento se presentan para cada componente.

Tabla 1: Valores de la m6xima amplitud (m/s^2) para cada componente para todos los sitios con un registro disponible.

RED	Estaci6n	Latitud	Longitud	Altitud (m)	R _{epi} (km)*	PGA E (m/s^2)	PGA N (m/s^2)	PGA Z (m/s^2)
RENAC	AAM2	-1,269	-78,611	2664	235	0,2548	0,3465	0,1465
	ACH1	-3,287	-79,910	13	407	0,2501	0,2365	0,0805
	ACHN	-0,698	-80,084	18	120	3,2349	3,6266	1,7287
	ACUE	-2,910	-78,959	2578	381	0,3419	0,2896	0,1748
	AES2	0,991	-79,646	4	76	1,5120	1,0831	0,4314
	AGYE	-2,054	-79,952	30	270	0,1832	0,2304	0,1462
	AIB1	0,347	-78,125	2208	202	0,4839	0,5682	0,1223
	AIB2	0,349	-78,106	2298	204	0,2080	0,3246	0,0839
	ALAT	-0,926	-78,618	2777	206	0,3104	0,2738	0,1191
	ALIB	-2,243	-80,846	40	308	0,4113	0,3895	0,2066
	ALJ1	-3,987	-79,197	2147	492	0,1490	0,1595	0,0882
	ALOR	1,293	-78,847	22	159	0,2564	0,2623	0,1512
	AMIL	-2,181	-79,529	20	288	0,5103	0,4504	0,1836
	AMNT	-0,941	-80,735	38	171	3,9720	5,1421	1,6213
AOTA	0,240	-78,256	2529	188	0,4203	0,3441	0,1822	

	APED	0,068	-80,057	15	36	13,8034	8,3187	7,2734
	APO1	-1,038	-80,460	47	167	3,1150	3,7303	1,0184
	ASDO	-0,263	-79,124	615	115	2,0223	1,0884	0,4988
	ATUL	0,772	-77,723	3097	251	0,1598	0,2065	0,0664
	EPNL	-0,212	-78,492	2813	174	0,2632	0,1987	0,1307
	PRAM	-0,145	-78,495	2840	171	0,2458	0,2290	0,1318
ADN**	LGCB	0,382	-79,575	160	41	0,8338	0,6888	0,4279
	PDNS	0,111	-79,991	442	29	10,4085	9,5497	5,6183
OCP**	AMA1	0,935	-79,725	234	67	4,1746	1,9870	1,3195
	APR1	-0,046	-78,614	2981	155	0,0050	0,0036	0,0021
	APR2	0,077	-78,968	804	113	0,9911	1,0767	0,5544
	APS4	-0,371	-78,106	2887	220	0,0691	0,0633	0,0236
	AV11	-0,073	-78,371	2058	181	0,2930	0,3839	0,1961
	AV18	0,313	-79,478	107	52	1,4142	1,2913	0,6758
	AV21	0,661	-79,547	62	54	1,8957	1,4723	0,8941

** *Repi= Distancia Epicentral*

*** *Proyectos de cooperación.*

La Figura 2 muestra la distribución espacial de los valores de la máxima amplitud (PGA) de las tres componentes para los registros disponibles. Las mayores aceleraciones están registradas en Pedernales y en el sur del epicentro (estrella negra). Los valores en Manta, Portoviejo, y Chone son más grandes que las observaciones en Esmeraldas que está más cerca del epicentro y de la falla.

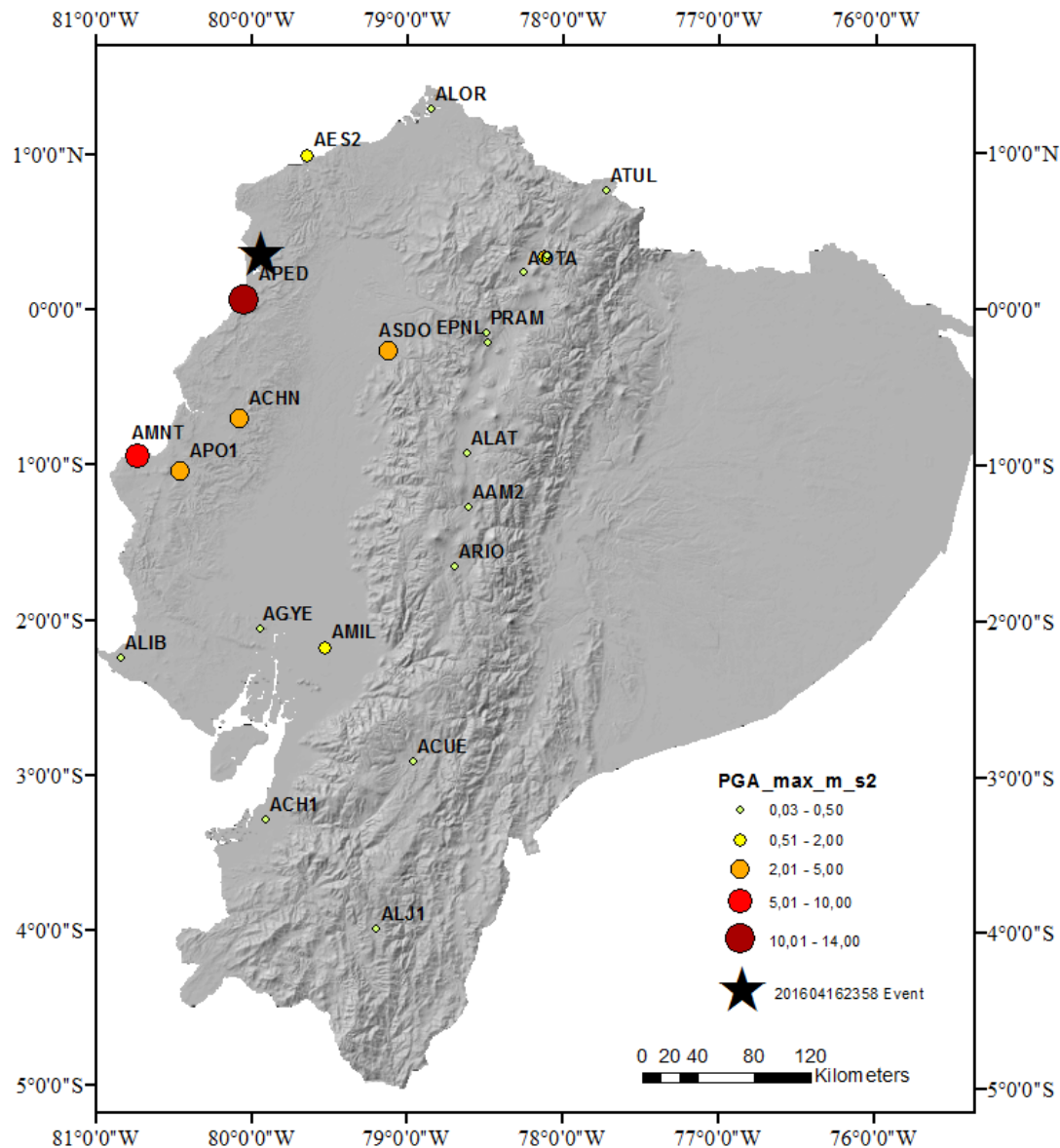


Figura 2: Distribución espacial de las estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos y de la red de OCP cuyos valores de aceleraciones sísmicas se muestran en la tabla 1. Los valores presentados corresponden a los máximos de las tres componentes (PGA: Peak Ground Accelerations) en m/s².

La Figura 2 muestra la aceleración máxima obtenida en los sitios de las estaciones para la componente con la aceleración máxima. En Pedernales (estación APED) se registró un valor de 13.803 m/s² (1.407 g). En la figura 3 se observa una diferencia importante entre las formas de onda de las estaciones al sur (AMNT, ACHN, APO2) y las estaciones ubicadas en el norte (LGCB, AES2). En el norte, los valores de aceleración pico son más bajos pero con una duración mayor, mientras que en el sur, se observa mayores aceleraciones pico pero con una duración más corta.

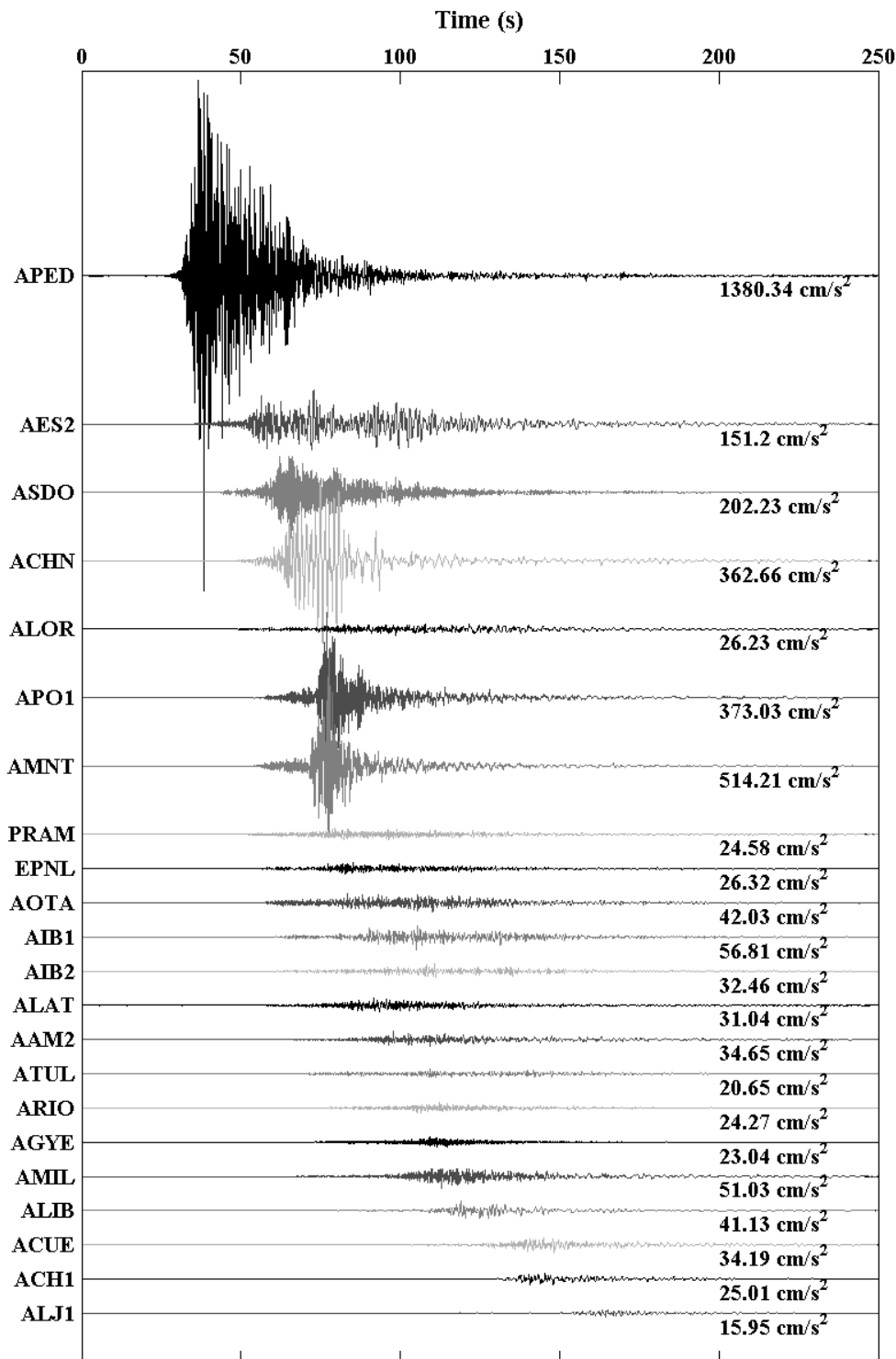


Figura 3: Acelerogramas del terremoto de las 18h58 (TL) del 16 de abril del 2016 ordenados con respecto a la distancia epicentral. Se han considerado las componentes con la máxima aceleración (PGA), la cual está indicada a la derecha de la señal. El tiempo de origen (0 s) corresponde al momento de ocurrencia del evento menos 20 s. Se utiliza en todos los casos la misma escala vertical.

En las figuras 4 y 5 se presentan los registros de dos estaciones en la provincia de Manabí. Las señales con los espectros de respuesta de las componentes horizontales están comparadas con los espectros de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC15). Para las estaciones de Manta y Portoviejo, los espectros de respuesta son ligeramente menores a los de la NEC15, para un tipo de suelo D. Se ha seleccionado este tipo de suelo en base a la aplicación de la metodología de Zhao et al, 2006.

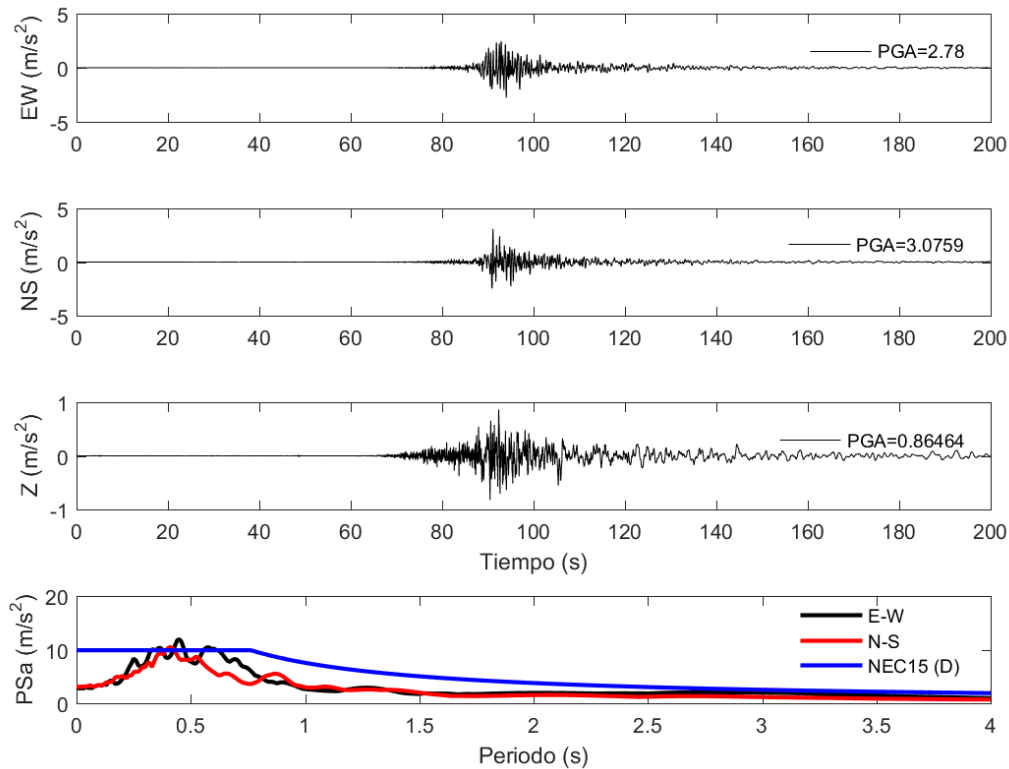


Figura 4: Señales de aceleración y espectros de respuesta para la estación Portoviejo

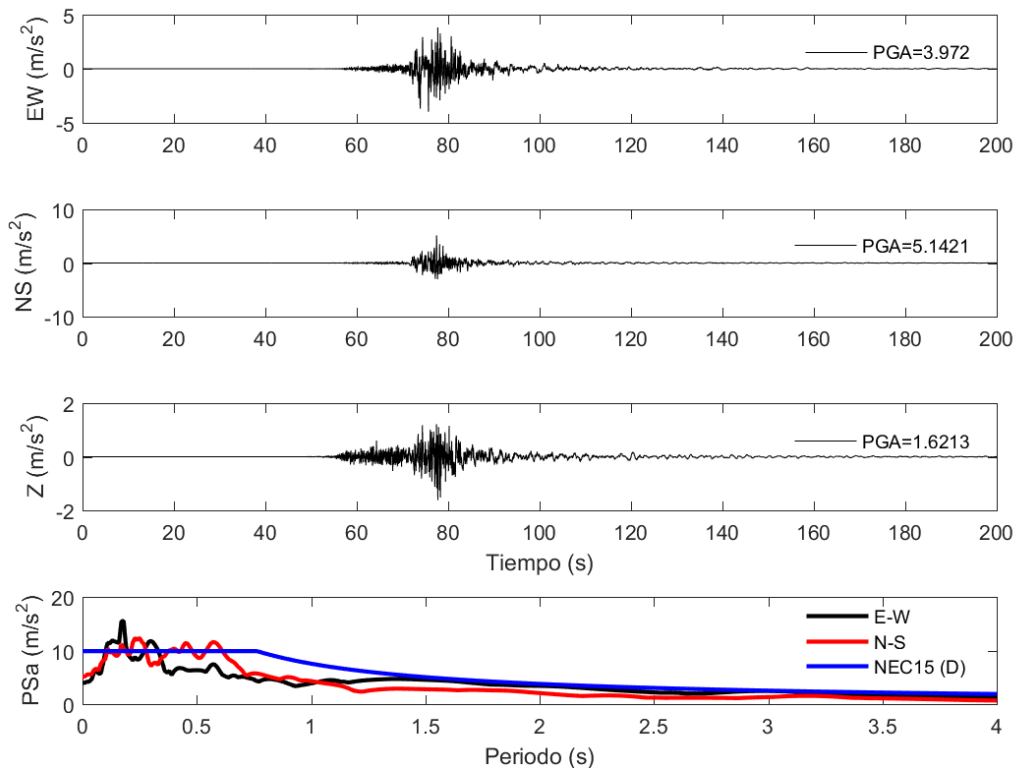


Figura 5: Señales de aceleración y espectros de respuesta para la estación Manta

COMPARACIÓN CON ECUACIONES DE PREDICCIÓN DE MOVIMIENTO DEL TERRENO (GMPEs)

Las ecuaciones de predicción de movimiento del terreno (GMPE por sus siglas en inglés) son funciones que nos permiten determinar valores de aceleración en función de parámetros sismológicos como magnitudes y ubicaciones del sismo.

En la Figura 6 se observan las aceleraciones máximas (PGA) de las señales previamente presentadas y los valores de PGA disponibles por cortesía de la empresa Oleoducto de Crudos Pesados (OCP). Las aceleraciones máximas [PGA] están representadas en función de la distancia a la falla, comparadas con la ecuación de predicción de movimiento (GMPE) de Abrahamson et al. (2015). Éste es el modelo más reciente para la interface de subducción que incorpora los datos de 43 terremotos de todo el mundo. Estudios anteriores han demostrado la buena concordancia de esta GMPE con los datos registrados de otros eventos en el país, pero con magnitudes más bajas (ver por ejemplo Beauval et al., 2012, comunicación personal de Stéphane Drouet, coordinador del grupo GMPEs del proyecto SARA América del Sur). La distancia a la falla se calculó tomando en cuenta el modelo de fuente definido por el programa de procesamiento SWIFT (Kumagai, comunicación personal). Este tipo de modelo arroja una distribución de probabilidades para obtener un valor de aceleración cuando se dispone de una magnitud, una distancia y un tipo de suelo.

La Figura 6 presenta la media geométrica de las dos componentes horizontales en función de la distancia mínima a la falla (R_{RUP}). Se observa un buen ajuste entre los datos registrados y la ecuación mencionada. Los datos que tienen los valores más altos pueden explicarse con un efecto del suelo particular.

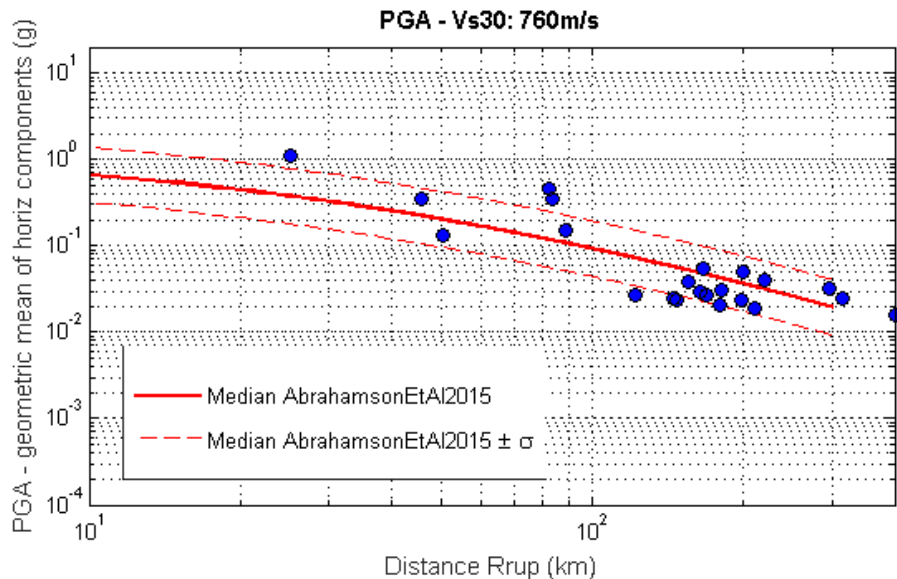


Figura 6: Comparación entre las aceleraciones máximas [PGA] con la ecuación de predicción de movimiento [GMPE] de Abrahamson et al. (2015), definida en el contexto de un sismo de interface en función de la distancia a la falla (RRUP, en km). Las aceleraciones máximas corresponden a la media geométrica de las componentes horizontales expresadas en g (aceleración de la gravedad). La GMPE está definida para un sismo de M_w 7.8, una profundidad de 17 km, un V_{S30} de 760 m/s y un evento en la interface entre las dos placas. La línea roja continua representa el promedio de este modelo y las líneas punteadas son el promedio con ± 1 o 2σ (desviación estándar). (Figura preparada con la colaboración de Céline Beauval y Judith Marinière).

Observaciones finales

- Este sismo es el evento más grande en términos de aceleración registrado por la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC).
- La intensidad máxima evaluada es 9 EMS en zonas específicas de la provincia de Manabí (Pedernales y Chamanga) en donde se evidenció daños en la mayoría de las edificaciones. En zonas muy delimitadas de Portoviejo y Manta se alcanzó una intensidad de 8 EMS y en Guayaquil se estimó una intensidad de 6 EMS. Estos valores están relacionados con el tipo de suelo de las ciudades. En general, los daños observados se concentran en la provincia de Manabí.
- La forma de las líneas isosistas indica una atenuación muy marcada en la dirección oeste-este, si se compara con la dirección norte-sur.
- La aceleración máxima del suelo registrada, sobrepasa el valor de la aceleración de la gravedad en la estación APED de Pedernales para la componente este-oeste. En las estaciones de Manta y Portoviejo, estos valores sobrepasan el 30% de la aceleración de la gravedad.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de evaluación de intensidades se realizó con la colaboración de los profesores y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental tanto de pregrado como de postgrado. Los autores agradecen a los coordinadores de los grupos: Ing. Juan Gabriel Barros, Dr. Matthieu Perrault, Ing. Diego Sosa, Ing. Diego Arévalo, Ing. Francisco Ortiz y por su intermedio a las personas que formaron parte de cada equipo de trabajo.

Quito, 4 Mayo 2016