

EVALUACIÓN DE INTENSIDADES SÍSMICAS (Sismo de Calderón 12 de agosto de 2014 14:58 TL)

Juan Carlos Singaicho Armas
Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional

25 de agosto de 2014

1. Introducción

Este reporte presenta una descripción de los efectos del sismo del 12 de agosto de 2014 ($M_w=5.1$) en las personas y en las edificaciones de las zonas cercanas al epicentro. Esta información ha sido recolectada en formularios preparados para el efecto mediante una visita a las zonas mencionadas. Adicionalmente, para trazar las isosistas del sismo se ha utilizado la información obtenida a través del formulario “SINTIÓ EL SISMO” publicado tanto en redes sociales como en la página principal del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN).

2. Metodología para la evaluación de intensidades sísmicas

2.1. Inspección *in situ*

Durante los días 13, 14 y 15 de agosto se realizó una campaña de evaluación de intensidades *in situ* en las zonas más cercanas al epicentro. Ya que el sismo presentó características similares al evento del 10 de agosto de 1990, se empezó el recorrido por Pusuquí, Pomasqui y San Antonio de Pichincha.

En **Pusuquí** se observó fisuras a nivel de mampostería en muchas viviendas construidas en serie, con la misma configuración arquitectónica y una tipología estructural que sugiere mampostería confinada. La mayoría de viviendas en esta zona son de 2 plantas con un entrepiso de hormigón armado y una cubierta de fibrocemento, como se observa en la Figura 1. Los moradores, quienes han habitado esta urbanización desde su creación, afirman que hay 200 viviendas con estas características y tienen una edad entre 26 y 28 años. El tipo de suelo identificado en la zona es arena, lo cual provoca una amplificación de la onda sísmica y puede generar problemas de licuefacción ante la ocurrencia de un evento cuando el suelo se encuentre saturado.

Los daños observados se concentran en paredes desvinculadas de la estructura de la edificación así como en paredes divisorias (de 10 cm de ancho) al interior de las viviendas. En algunos casos se observa fallas a 45° en paredes debido a la fragilidad del material. La Figura 2 (izquierda) muestra el tipo de fisura observada, en general, en las viviendas visitadas mientras que en la Figura 2 (derecha) se observa la falla de la mampostería por corte.

En **Pomasqui** se observaron grietas en edificaciones antiguas, con ningún diseño sismorresistente. Normalmente estas construcciones se utilizan para viviendas. En edificaciones de piedra y mampostería de bloque se pudo apreciar fisuras delgadas. En edificaciones nuevas (menores a 20 años) entre 1 y 2 pisos, no se observa ninguna grieta o fisura en mampostería ni en las uniones entre las paredes y la estructura.

La iglesia principal, construida en piedra, compuesta por una sola nave central y con un sistema estructural conformado por arquerías continuas en el sentido longitudinal, presenta fisuras que cruzan del interior al exterior en las claves de varios arcos (Figura 3 derecha). También se observan fisuras en la pared detrás del coro y a lo largo del tumbado de la nave principal. En el exterior se puede apreciar pequeñas fisuras en



Figura 1: Viviendas tipo que presentan los mayores daños a nivel de mampostería (Foto: M. Perrault)



Figura 2: (Izquierda) Fisuras típicas observadas en las viviendas investigadas. (Derecha) Grietas a 45° en paredes no confinadas (Foto: M. Perrault)

los arcos de la espadaña y caída de parte del tejado. La cruz, ubicada en la parte más alta de la iglesia, se encuentra fuera de plomo (Figura 3 izquierda).

El sector de **San Antonio de Pichincha** presenta un crecimiento muy heterogéneo en cuanto a sus edificaciones. Las construcciones adyacentes al parque central presentan estructuras variadas que van desde la mampostería de adobe hasta hormigón armado. Lo mismo ocurre en la mayoría de manzanas de la zona. Los daños identificados en las estructuras de mampostería de adobe son fisuras en paredes y en tumbados. En estos casos, debido a la edad de las edificaciones y al material de construcción, ciertas grietas pueden comprometer a la estabilidad general de la estructura. En edificaciones nuevas (menores a 20 años) no se aprecia fisuras en las paredes de las fachadas.



Figura 3: (Izquierda) Iglesia de Pomasqui, se observa la cruz fuera de plomo. (Derecha) Fisura que traspasa la pared lateral de la iglesia

La iglesia, al ser una edificación con paredes de piedra y de estructura conformada por arquerías continuas, presenta daños similares a los identificados en la iglesia de Pomasqui. Se observan fisuras transversales en la bóveda de la nave central que cruzan todo el vano (Figura 4 Izquierda). Asimismo, se aprecian fisuras alargadas en los tercios de los arcos y caída del enlucido del tumbado en varias zonas de la iglesia, especialmente en el coro (Figura 4 Derecha).

En el sector de **Calderón**, se realizó un recorrido por las principales avenidas. En esta parroquia se visitaron los barrios de **Zabala, Marianas** y las manzanas aledañas al parque central y el mercado municipal. Los daños en estas zonas se concentran en edificaciones de adobe, mampostería no confinada y viviendas denominadas “autoconstrucción” en las zonas de expansión de la ciudad. En las inmediaciones del **parque central**, las edificaciones son adosadas, en su mayoría, sin juntas entre ellas. En general, se identifican estructuras de hormigón armado entre 1 y 4 pisos, edificaciones de mampostería no confinada y algunas construcciones de adobe. La estructura más afectada es la Iglesia Central (Figura 5) específicamente la torre sur en donde ocurre la caída de la campana y parte del cuerpo. Se observa corrimiento de las tejas de la cubierta principal. Debido a que la estructura se encuentra en proceso de intervención, no se tuvo acceso al interior.

En los barrios de Zabala y Marianas se encuentra edificaciones de hormigón armado y mampostería confinada, en su mayoría. En estos sectores no se aprecia daños importantes en las fachadas de las viviendas; sin embargo, debido a la extensión de estas zonas no se descartan daños menores a nivel de mampostería. Muchas de las estructuras identificadas pueden ser clasificadas como “autoconstrucción” que se evidencia en la calidad de los materiales y la disposición de los elementos estructurales.

Otros sectores visitados en la parte norte de la ciudad son los barrios **Santa Ana, Santa María, Atuccho y Cotocollao**. En estos sectores no se observan daños a nivel de mampostería en las fachadas de las viviendas; sin embargo, las personas describen al movimiento como “muy fuerte”. De igual manera, se visitó la zona central de la parroquia **Malchinguí** en el cantón Pedro Moncayo, en donde no se reporta daño alguno en las edificaciones.



Figura 4: (Izquierda) Fisuras en la bóveda de la nave central de la iglesia de San Antonio de Pichincha. (Derecha) Caída del *enchagllado* en el coro (Foto: M. Perrault)



Figura 5: Iglesia de Calderón. Se observa daños moderados en la torre sur y caída de parte del tejado

2.2. Utilización de aplicaciones en la red

Una de las actividades planificadas dentro del proceso de modernización de la página del IG-EPN, fue la actualización y mejoramiento del formulario “SINTIÓ EL SISMO”. Este formulario tiene como objetivo facilitar la estimación de las intensidades sísmicas mediante la interacción con las personas que sintieron el evento y observaron daños en las edificaciones. La aplicación fue desarrollada en colaboración con el Ing. Samy Manosalvas, funcionario del Área de Sistemas del Instituto. La Figura 6 muestra una página del formulario.

Las preguntas contenidas en el formulario permiten identificar las características del sismo y los efectos

Figura 6: Aplicación web para reportar los efectos del sismo en personas y edificaciones

del mismo. Se incluyen preguntas como:

- ¿Cómo sintió el sismo?
- ¿Observó objetos desplazándose?
- ¿Cuál es el tipo de material de la estructura?
- ¿Cuántos pisos tiene la edificación?

El cuestionario está desarrollado siguiendo las recomendaciones de la Escala Macrosísmica Europea (EMS98), la cual es más robusta que las escalas Mercalli Modificada (MM) y Medvédev-Sponheuer-Kárník (MSK).

2.2.1. Respuesta de la ciudadanía

Inmediatamente después de que ocurriera el evento principal, se registra la primera encuesta enviada desde Latacunga a las 15:00. En las dos horas siguientes se reciben 400 encuestas con las cuales se empieza la evaluación de las intensidades sísmicas para las diferentes localidades. Alrededor de las 8h00 del 13 de agosto se cuenta con 475 encuestas con las cuales se prepara el Informe Especial N°1, publicado en la página web del Instituto. En la tabla 1 se muestra un resumen del número de encuestas recibidas y las parroquias de Quito desde donde se reportan, únicamente para el evento principal. Hasta el momento en que se publica este informe, se cuenta con 2855 reportes que incluyen el sismo principal y las réplicas.

3. Evaluación de Intensidades

La Intensidad es una medida de la severidad del sismo reflejada en las edificaciones, personas y objetos en general. Existen varias escalas que permiten definir una intensidad (MM, MSK, EMS98, etc); éstas utilizan

Parroquia	N° Reportes	Parroquia	N° Reportes	Parroquia	N° Reportes
Alangasí	6	Cumbayá	16	Pifo	3
Amaguaña	2	El Condado	11	Pomasqui	18
Argelia	2	El Quinche	3	Ponceano	9
Belisario Quevedo	12	Ferroviana	4	Puengasí	4
Calacalí	1	Guamaní	3	Quitumbe	18
Calderón	37	Iñaquito	64	Rumipamba	15
Carcelén	30	Itchimbía	5	San Antonio	8
Centro Histórico	15	Jipijapa	10	San Bartolo	2
Chillogallo	4	Kennedy	23	San Isidro del Inca	16
Chimbacalle	2	La Argelia	2	San Juan	9
Cochapamba	6	La Ecuatoriana	5	Solanda	5
Comité del Pueblo	4	La Magdalena	4	Tababela	1
Concepción	9	La Mena	5	Tumbaco	5
Conocoto	22	Mariscal Sucre	38		
Cotocollao	13	Nayón	4	Total	475

Tabla 1: Número de Reportes recibidos desde Quito clasificados por parroquias para el sismo principal

12 grados para determinar la “fuerza” del movimiento. El grado 1, por ejemplo, indica que el sismo no fue sentido en absoluto. Por otro lado, el grado 12 describe la destrucción total de las edificaciones.

En esta sección se realiza la asignación de intensidades del sismo principal con la información recolectada mediante las metodologías expuestas en la sección anterior. Para este propósito se utiliza la Escala Macrosísmica Europea (EMS98), la cual incluye una descripción completa de las tipologías estructurales más usadas, grados de daño en esas estructuras y cuantificaciones de los daños. La información obtenida a través de la encuesta ha sido clasificada y filtrada de tal forma que se evite sobrestimar la intensidad. De las encuestas “SINTIÓ EL SISMO” y del trabajo de campo realizado, se obtuvo las intensidades mostradas en las tablas 2 y 3.

Provincia	Ciudad	Latitud	Longitud	Intensidad EMS
Cotopaxi	Latacunga	-0.935	-78.603	2
Esmeraldas	Esmeraldas	0.973	-79.651	2
Guayas	Guayaquil	-2.163	-79.914	2
Manabí	El Carmen	-0.271	-79.464	2
Pichincha	Machachi	-0.511	-78.569	2
Imbabura	Ibarra	0.362	-78.129	2
Imbabura	Otavalo	0.233	-78.261	2
Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo	-0.253	-79.173	3

Tabla 2: Intensidades sísmicas estimadas con los reportes enviados al IG-EPN desde varias ciudades del País

La máxima intensidad evaluada es 6 EMS en Pusuquí (Parroquia Pomasqui) y sus sectores aledaños. Esta intensidad corresponde a daños leves (no estructurales) a nivel de mampostería (fisuras delgadas en paredes) en muchas edificaciones de bloque, ladrillo y mampostería con bajo nivel de confinamiento. Se observan fisuras grandes en paredes en pocas edificaciones de mampostería confinada. De acuerdo a los reportes recibidos, la mayoría de personas, tanto dentro como fuera de edificaciones, sintieron el sismo y generó susto en la población.

Parroquia	Latitud	Longitud	Intensidad EMS	Parroquia	Latitud	Longitud	Intensidad EMS
Amaguaña	-0.380	-78.508	3	Magdalena	-0.242	-78.529	4
Chillogallo	-0.282	-78.563	3	Mariscal Sucre	-0.196	-78.487	4
Chimbacalle	-0.243	-78.516	3	Mena	-0.260	-78.553	4
Ferroviana	-0.263	-78.518	3	Nayón	-0.157	-78.439	4
Guamaní	-0.336	-78.562	3	Ponceano	-0.106	-78.484	4
Belisario	-0.189	-78.501	4	Puengasí	-0.242	-78.491	4
Quevedo				Quinche	-0.111	-78.296	4
Calacalí	-0.001	-78.515	4	Quitumbe	-0.301	-78.548	4
Centro	-0.220	-78.512	4	Rumipamba	-0.168	-78.493	4
Histórico				San Bartolo	-0.258	-78.534	4
Cochapamba	-0.148	-78.505	4	San Isidro del Inca	-0.140	-78.461	4
Comité del Pueblo	-0.122	-78.467	4	San Juan	-0.210	-78.512	4
Concepción	-0.137	-78.497	4	Solanda	-0.269	-78.541	4
Conocoto	-0.303	-78.486	4	Tumbaco	-0.210	-78.403	4
Cotocollao	-0.117	-78.498	4	Turubamba	-0.335	-78.534	4
Cumbayá	-0.198	-78.433	4	Calderón	-0.062	-78.423	5
Ecuatoriana	-0.308	-78.592	4	Condado	-0.093	-78.509	5
Guayllabamba	-0.058	-78.341	4	San Antonio	-0.008	-78.445	5
Iñaquito	-0.177	-78.485	4	Pomasqui	-0.054	-78.453	6
Itchimbía	-0.210	-78.491	4				
Jipijapa	-0.165	-78.473	4				
Llano Chico	-0.137	-78.426	4				

Tabla 3: Intensidades sísmicas estimadas con los reportes enviados al IG-EPN para las parroquias de Quito

La intensidad 5 EMS indica que el sismo fue sentido por la mayoría de personas en el interior de edificaciones y algunas en el exterior. Se siente una vibración fuerte del edificio y se observa el balanceo de objetos colgantes, las puertas y ventanas se abren o se cierran y en algunos casos las ventanas pueden romperse. No se espera daños en edificaciones a excepción de pequeñas fisuras en mamposterías de edificaciones muy vulnerables construidas únicamente con bloque, ladrillo o mampostería con bajo nivel de confinamiento. Esta descripción corresponde a lo observado en las zonas de Calderón, San Antonio y parte de El Condado.

En la ciudad de Quito, la intensidad promedio es 4 EMS que describe a un evento sentido ampliamente por personas al interior de edificaciones, las mismas que observaron objetos livianos en movimiento (vajillas, vasos, lámparas, suenan puertas y ventanas) y se observó movimiento aislado de objetos pesados (muebles, armarios). Con este nivel de intensidad se espera daños no estructurales (fisuras finas en paredes) en muy pocas edificaciones de bloque o ladrillo (generalmente viviendas entre 1 y 2 pisos).

En ciudades como Machachi, Ibarra, Santo Domingo, los reportes indican que se alcanzó una intensidad de 3 EMS. De acuerdo a la escala, esto implica que el sismo fue sentido por pocas personas en el interior de edificaciones sin que se observe daño de algún tipo en las mismas.

4. Isosistas del Sismo

Las isosistas son líneas que envuelven un área con igual intensidad sísmica. Usualmente la mayor intensidad (I_{max}) corresponde a la intensidad epicentral (I_{epic}); sin embargo, en este sismo se observa que éstos valores difieren entre sí. Esta particularidad se explica porque la intensidad sísmica no discrimina el

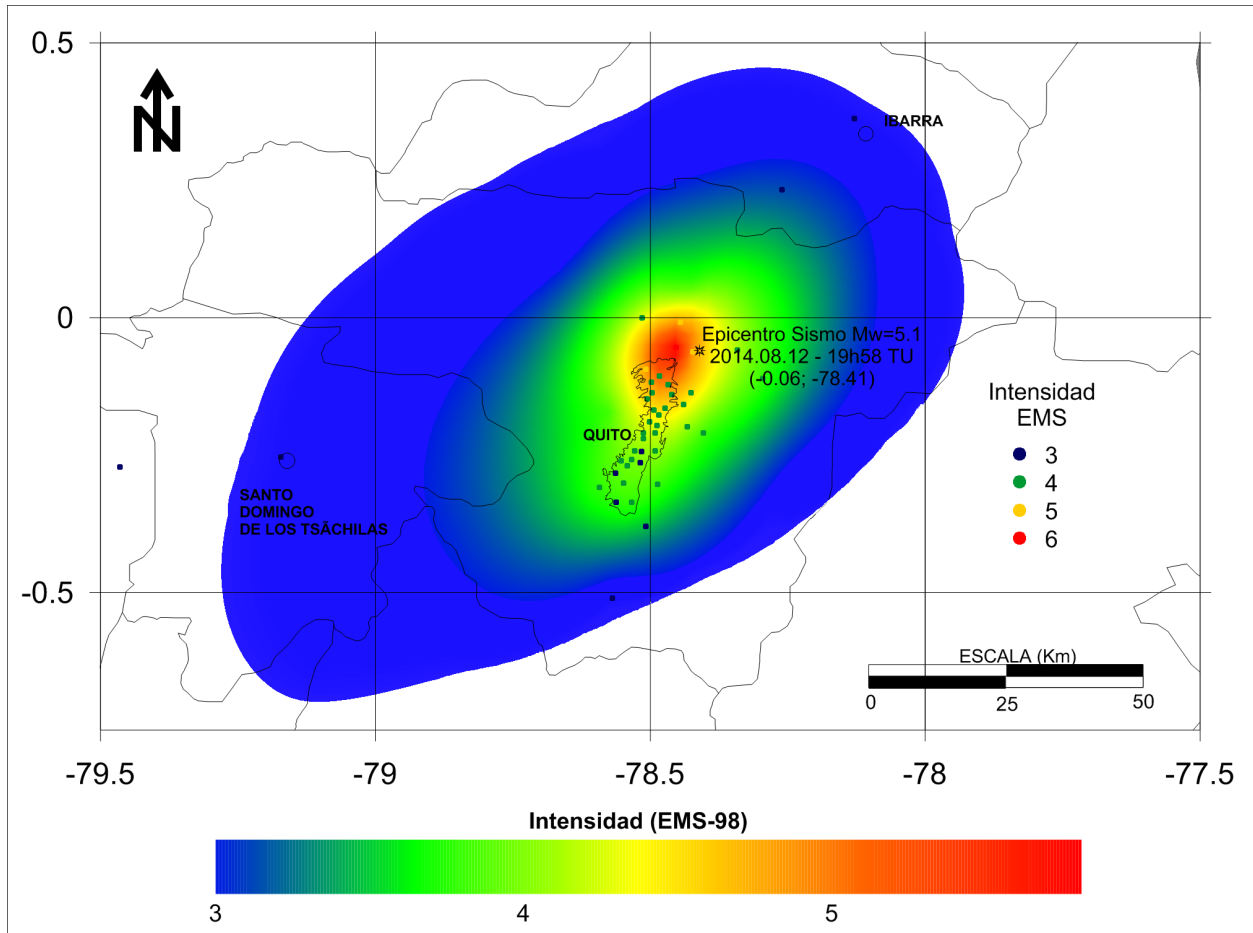


Figura 7: Isosistas del sismo principal. Los puntos de colores muestran las parroquias desde donde se recibieron los reportes

efecto de sitio e indica las zonas con mayor amplificación por el tipo de suelo en donde están cimentadas las edificaciones. Gracias a la colaboración de los pobladores en la zona de Pusuquí y a su experiencia en sismos pasados, la intensidad 6 EMS alcanzada en este evento refleja el suelo arenoso sobre el cual está asentado el barrio. Algunas personas afirmaron que después del sismo del 10 de Agosto de 1990, observaron agua brotar en jardines e incluso dentro de las viviendas, lo que podría reflejar licuefacción del terreno.

Con respecto a la calidad del terreno, los habitantes de Pusuquí también manifestaron que en algunas calles se producen asentamientos considerables que pueden generar un peligro potencial para peatones y conductores.

En la figura 7 se muestra el resultado final de la evaluación de intensidades.

5. Conclusiones

El trabajo de campo se llevó a cabo en los días previos a las réplicas de Mw=4.7 y Mw=4.0 ocurridas durante el fin de semana. Debido a la ocurrencia de estos eventos, se esperaba observar daños de un mayor nivel en las edificaciones con problemas previamente identificados. No se descarta observar daños en la estructura de las edificaciones.

Los mayores daños observados se concentran en edificaciones vulnerables como mampostería sin con-
finar, viviendas de autoconstrucción y en templos religiosos. En éstos últimos, debido al deterioro de los
materiales de construcción, su configuración irregular y su tipología estructural, se necesita una evaluación
pormenorizada de los daños no solo a nivel arquitectónico sino también estructural.

En varias zonas visitadas, cerca del epicentro, se observó que las edificaciones son construidas una a con-
tinuación de otra sin juntas. A pesar que esta práctica no es recomendada, estas estructuras se comportaron
de manera adecuada. No se evidenciaron grietas ni daños a nivel de mampostería incluso en estructuras
antiguas de adobe cuando éstas se encontraban entre dos edificaciones.

Las curvas isosistas muestran la extensión de los efectos del sismo. Como se puede apreciar, éste fue
sentido ampliamente en Quito con los mayores efectos en la localidad de Pusuquí (única zona en donde se
alcanzó una intensidad de 6 EMS). No obstante, los reportes a través de la página web del IG-EPN indican
que el evento fue sentido de manera moderada en ciudades como Santo Domingo, Ibarra y Machachi, sin
causar daño alguno en las edificaciones.

La experiencia de los habitantes en sismos anteriores ha permitido identificar los lugares en donde se
pueda producir amplificación de la onda sísmica por efecto del tipo de suelo. Este es el caso de la zona de
Pusuquí.

Las nuevas tecnologías de la información han permitido la interacción de las personas a través de redes
sociales y la aplicación “SINTIÓ EL SISMO” para evaluar la intensidad en zonas alejadas del área urbana.
Es la primera vez que se ha manejado este nivel de información y se espera que la aplicación rinda más frutos
en eventos siguientes.

Agradecimientos

A los moradores de las diferentes localidades visitadas durante el trabajo de campo por la colaboración y
la información brindada de manera desinteresada. La interacción con las personas permitió entender mucho
mejor el efecto real del sismo.

A los usuarios de la página web y redes sociales del IG-EPN por su colaboración al reportar los eventos
sentidos y sus efectos en las edificaciones .

Equipo de trabajo para la investigación de campo

Juan Carlos Singaicho Armas, M.Sc.

Ingeniero Civil

Profesor Auxiliar a Tiempo Completo

Investigador del Departamento de Geofísica

Escuela Politécnica Nacional

Matthieu Perrault, Ph.D.

Ingeniero Civil

Profesor Ocasional a Tiempo Completo

Investigador del Departamento de Geofísica

Escuela Politécnica Nacional