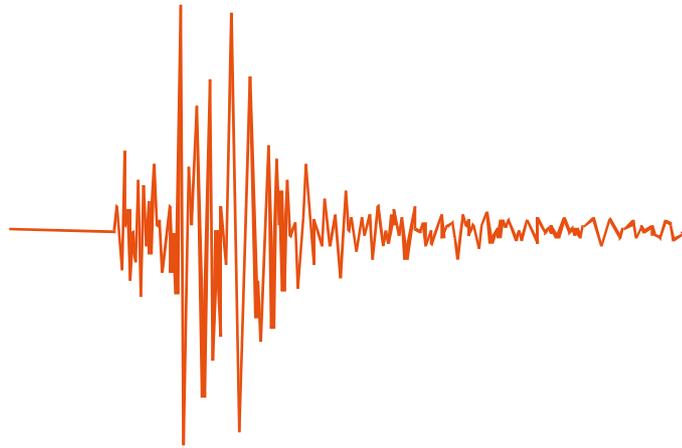




INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

Dirección de Sismología - CNDG



Sismo de Lima del 29 de Marzo de 2008 (5.3ML)
Región Central del Perú

(Informe Preliminar)

Hernando Tavera
Isabel Bernal

Lima-Perú
Marzo, 2008

INDICE

INTRODUCCION

EL SISMO DE LIMA DEL 29 DE MARZO DE 2008

PARAMETROS HIPOCENTRALES

INTENSIDADES

INTENSIDADES EN CALLAO

ORIENTACION DE LA FUENTE

PARAMETROS DE LA FUENTE

REPLICAS...?

ACELERACIONES MÁXIMAS

ESPECTROS DE RESPUESTA

DISCUSION Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO: Registros de aceleración y espectros de respuesta

INTRODUCCION

La actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud que se hayan producido frente a la línea de costa (Dorbath et al, 1990a; Tavera y Buforn, 2001), todos asociados al contacto sismogénico interplaca. Estos sismos son muy frecuentes en el tiempo y en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes $m_b \geq 4.5$ y en general todos son sentidos en las localidades cercanas a la línea de costa y al epicentro con intensidades mínimas de IV-V (MM). Los sismos de mayor magnitud ($M > 7.0$) han producido importantes daños en áreas relativamente muy grandes como el ocurrido en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ($M_w = 8.2$) y el de Pisco del 15 de Agosto de 2007 ($M_w = 7.9$), ambos produjeron intensidades máximas del orden de VII-VIII MM (escala Mercalli Modificada) en áreas relativamente pequeñas con daños de consideración en viviendas y gran numero de personas afectadas.

El día 29 de Marzo de 2008, ocurre un sismo de magnitud moderada (5.3 ML) en la región Central Perú y su epicentro fue ubicado a 25 km al sur-oeste del Callao. El sismo produjo daños parciales en viviendas antiguas de algunos distritos del Callao y El Agustino en Lima. Este sismo fue precedido por otro de menor magnitud (4.3ML) con una diferencia en tiempo de 6 horas. En este informe se presenta y discute los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, aceleraciones máximas, además de realizarse su interpretación sismotectónica.

EL SISMO DE LIMA DEL 29 DE MARZO DE 2008

Parámetros hipocentrales

Los parámetros de los sismos del 29 de Marzo fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas de la RSN-IGP distribuidas en la región central del Perú. Los parámetros hipocentrales del sismo son (Figura 1):

Tiempo Origen:	12h 51m 22.8 seg. (Hora Universal) 07h 51m 22.8 seg. (Hora Local)
Latitud Sur:	-12.23°
Longitud Oeste:	-77.28°
Profundidad:	51 km
Magnitud:	5.3 ML
Epicentro:	A 25 km en dirección sur-oeste del Callao
Intensidad Máxima:	IV-V en la escala de Mercalli Modificada en el Callao
Momento Sísmico:	9.5E+23 dina-cm
Magnitud Momento:	5.3 Mw

En la Figura 1 se presenta la ubicación epicentral del sismo de Lima y del evento sísmico de menor magnitud ocurrido a las 01h40m (HL) con magnitud de 4.3ML y epicentro ubicado a 62 km al Oeste del Callao. Este evento produjo intensidades de III en Lima y Callao. En la misma figura se observa que las profundidades estimadas para ambos sismos son coherentes con el patrón de sismicidad observado para la región central de Perú.

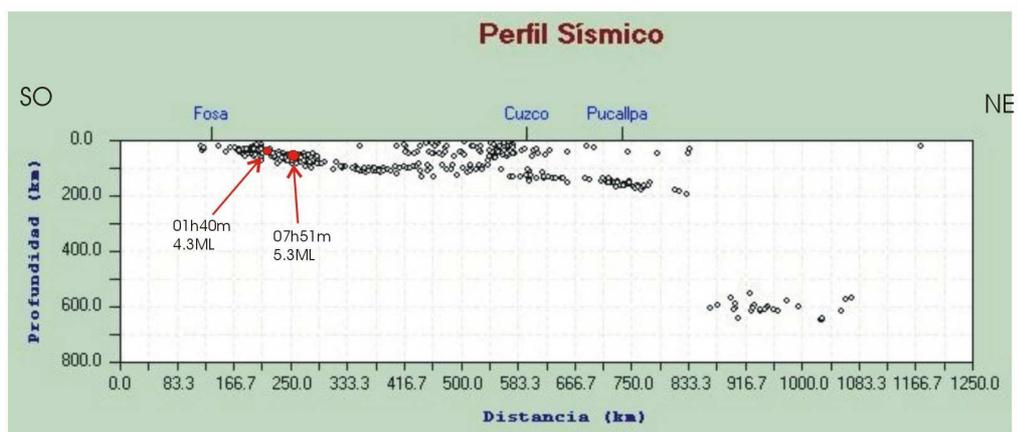
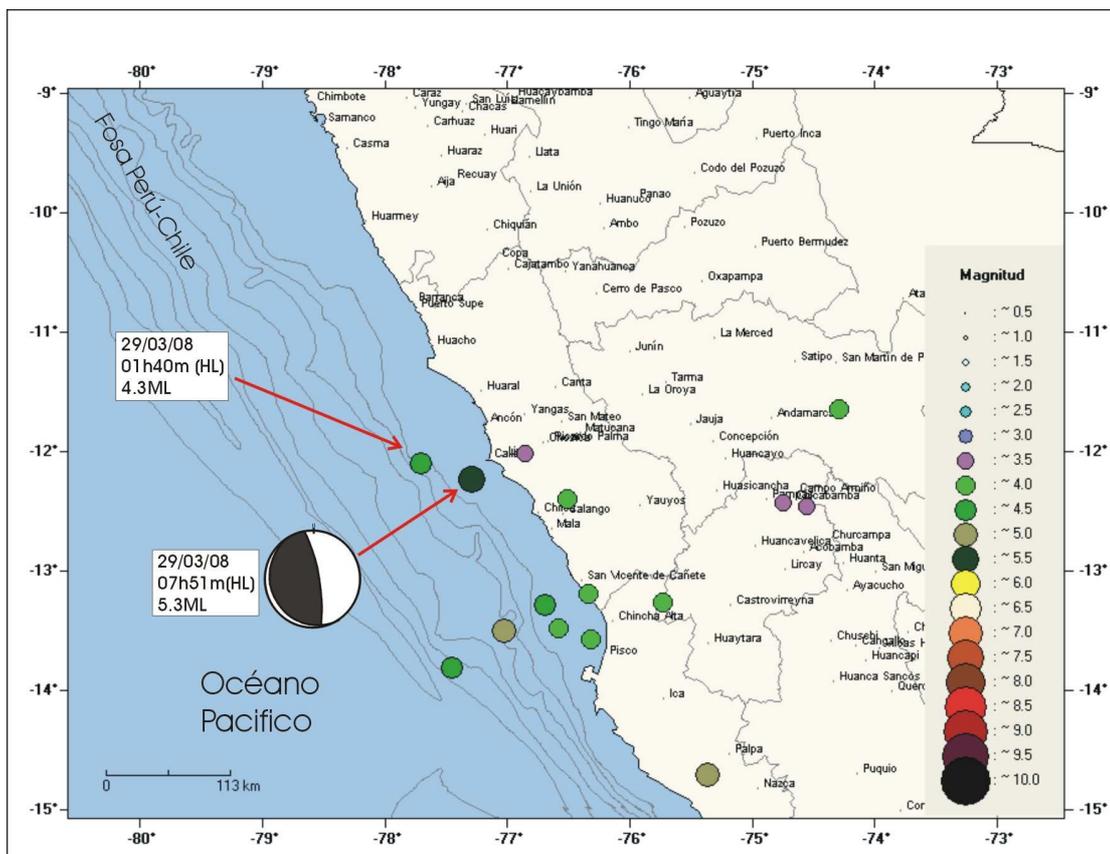


Figura 1.- Distribución espacial de los sismos sensibles ocurridos en la región central de Perú durante el año 2008 y ubicación epicentral de los sismos ocurridos el 29 de Marzo de 2008. En la sección vertical se muestra los hipocentros sobre la tendencia media de la sismicidad en la región central de Perú.

Intensidades

Después de ocurrido el sismo del 29 de Marzo de 2008, se procedió a realizar las evaluaciones de los efectos y daños causados por el sismo en los departamentos de Lima, Ica, Junin y Ancash. Estas evaluaciones fueron hechas por el personal del Servicio de Emergencia Sísmica del IGP (SES-DIRSIS) mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de las localidades mayores de cada departamento y la información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 2). La descripción más resaltante de los daños y efectos se describe a continuación:

Provincia Constitucional del Callao: Sentido fuerte por todos, algunas personas entraron en pánico y salieron corriendo. Las personas indican haber sentido el sismo como una explosión. Algunas viviendas antiguas y de adobe sufrieron daños hasta desplomarse, una de ellas en pleno centro del Callao (Jirón Mariscal Millar). En la zona de costa se produjeron deslizamiento de menor envergadura (San Miguel).

Ciudad de Lima: Sentido fuerte por todos y la mayoría de las personas salieron a la calle. En algunas viviendas de El Agustino se presentaron fisuras en las paredes y asentamientos de suelo (Solar El Buque). Personas indican que movimiento fue brusco y fuerte. En el distrito de Chorrillos se produjo el desplome de una casona de adobe.

Localidad de Ancon: Sentido por todos. En algunas viviendas cayeron cosas, vibración de ventanas y paredes con desplazamiento de cuadros.

Localidad de Matucana: Sentido por todos. En algunas viviendas cayeron cosas con vibración de muebles. En la carretera central se produjeron derrumbes.

En las localidades aledañas como Chilca, Huaraz, Cañete, Yauyos, el sismo fue sentido fuerte por toda la población produciendo pánico. Muchos indican que sus teléfonos y celulares no funcionaron. El sismo fue sentido como moderado y suave en localidades como Huacho, Chíncha, Barranca, Huarmey, Ica, Pisco, Tarma, Jauja, etc.

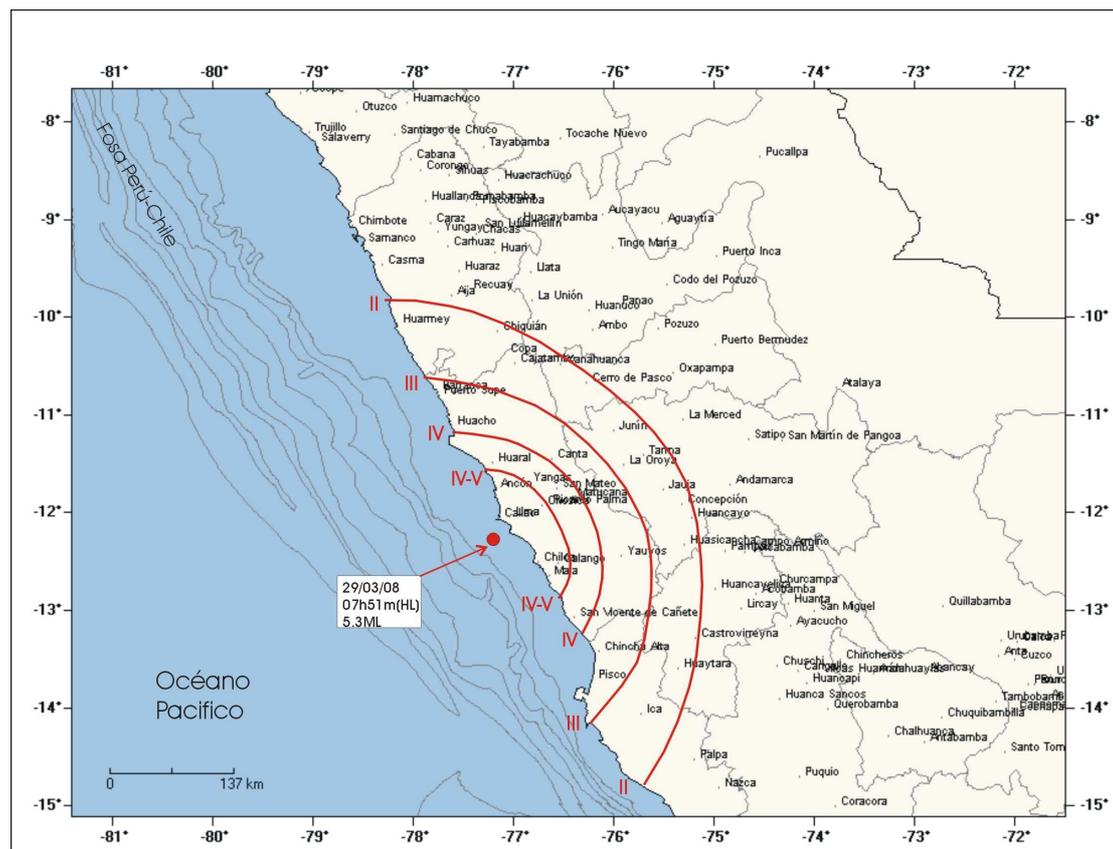


Figura 2.- Mapa de intensidades del sismo del 29 de Marzo de 2008 en Mercalli Modificada

En la Figura 2 se presenta el mapa de intensidades del sismo del 29 de Marzo en la escala Mercalli Modificada y en ella se observa que el área de mayor intensidad considera un radio de 70 km con centro en el epicentro del sismo. En general, el sismo fue sentido desde la ciudad de Ica por el sur, hasta la localidad de Huarmey por el norte y hasta la ciudad de Tarma por la zona andina.

Los mayores daños producidos por el sismo fueron en la Costa Verde, exactamente en la Av. Costanera en donde se produjo desprendimientos de rocas y tierra a la altura de la Playa Waikiki y en San Miguel. Del mismo modo, en los distritos de Chorrillos, Breña, La Molina, Surco, Magdalena, Independencia, Lurin y Chosica, algunas viviendas antiguas y construidas con adobe se desplomaron y otras presentaron daños parciales en paredes y ventanas; además de la caída de paredes de adobe y/o construidas sin base ni columnas (Figura 3).



Figura 3.- Desprendimientos de rocas y tierra en la Av. Costanera, y casas desplomadas y dañadas en Chosica y Chorrillos.

Intensidades en Callao

Para la Provincia Constitucional del Callao, por estar cerca del epicentro del sismo de Lima del 29 de Marzo, fue necesario realizar en detalle la evaluación de daños y efectos causados por el sismo. En general, la población del Callao sintió fuerte el sismo con el consecuente vibrar de las ventanas y puertas de sus viviendas, además de la oscilación de adornos y cuadros. En La Punta se reportó que el nivel medio del mar no presentó anomalías. En algunos solares con casas antiguas se observó daños parciales, principalmente en las construidas con adobe. Según la Figura 4 la intensidad evaluada en el Callao fue de IV MM (escala de Mercalli Modificada) y solo en Ventanilla podría haber llegado a IV-V MM.



Figura 4.- Valores de intensidad evaluadas para la Provincia Constitucional del Callao.

Orientación de la Fuente

La orientación preliminar para la fuente del sismo de Lima del 29 de Marzo fue obtenida a partir de los primeros movimientos de la onda P registrado en las estaciones de la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú.

En la Figura 5 se presenta el mecanismo focal para el sismo, siendo este de tipo inverso con planos nodales N-S y ejes de máxima presión orientado en dirección Este-Oeste. Esta solución para el mecanismo de la fuente presenta el plano con buzamiento en dirección Oeste cercano a la vertical, contrario a lo observado para otros sismos de magnitud moderada a grandes ocurridos en la misma fuente sismogénica (ver Figura 9). La solución obtenida sugiere que el sismo del 29 de Marzo no se habría producido por la fricción de placas, sino por posibles procesos de deformación ocurridos en el interior de la placa oceánica o en la superficie inferior de la misma. Esto podría confirmarse con la profundidad estimada para el foco, tal como se observa en la Figura 1. Esta solución para el mecanismo es coherente con la obtenida por el USGC.

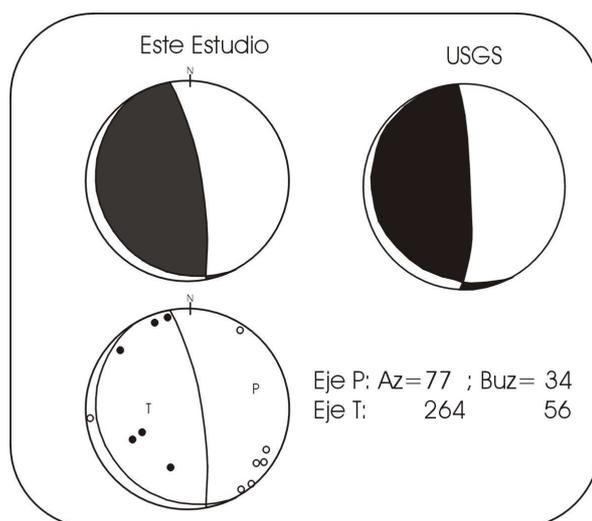


Figura 5.- Mecanismo focal obtenido para el sismo del 29 de Marzo de 2008. Se incluye la solución propuesta por el USGS.

Parámetros de la Fuente

Los parámetros de la fuente para el sismo de Lima del 29 de Marzo de 2008 fueron estimados a partir de las características del espectro de amplitud del desplazamiento del suelo registrado en la estación de Huancayo (HUA). Según la Figura 6, la parte plana del espectro permite estimar un momento sísmico del orden de $9.5E+23$ dina-cm. Utilizando las relaciones propuestas por Kanamori (1977) y Brune (1980), se obtiene una magnitud momento de 5.3Mw y un radio de fractura de 4 km.

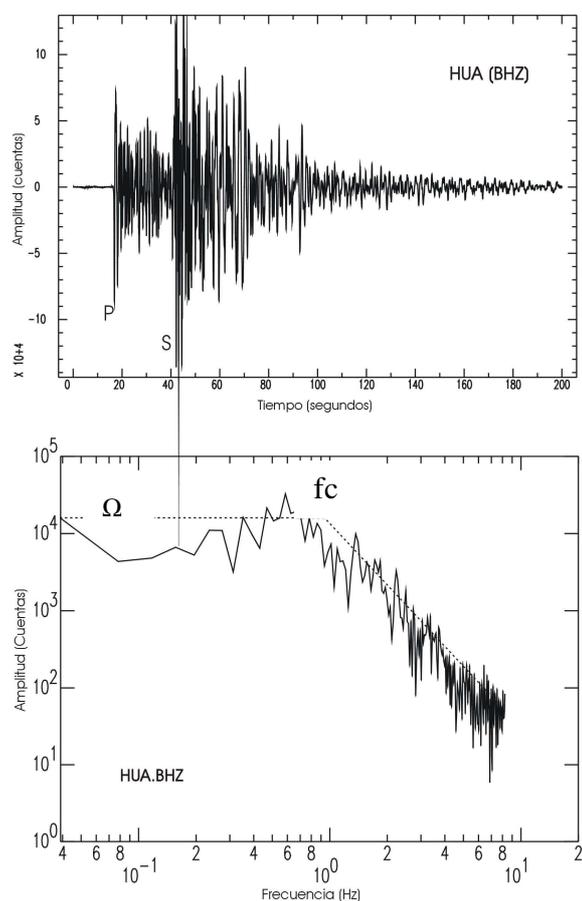


Figura 6.- Registro sísmico en velocidad del sismo de Lima del 29 de Marzo 2008 en la estación HUA y espectro de amplitud del desplazamiento del suelo (onda P). Ω es la parte plana del espectro y f_c , la frecuencia esquina.

Replicas...?

Después de producirse un sismo de magnitud moderada con origen en la superficie de fricción de placas, es frecuente registrarse un gran número de réplicas; sin embargo, para el sismo ocurrido el día 29 de Marzo, esto no ocurrió. En la Figura 7, se presenta el sismograma de la estación Quilmana (QUI) ubicada a 120 km en dirección Sur del epicentro del sismo y en ella se observa, que en las siguientes 12 horas de ocurrido el sismo no se ha registrado ninguna réplica, tampoco para el sismo que se produjo a las 1h40m (HL). Esta característica, indicaría que el sismo del 29 de Marzo no habría tenido lugar en la superficie de fricción de placas, sino posiblemente en la deformación interna de la placa oceánica con una ruptura instantánea. Para confirmar la no existencia de réplicas, mas adelante se procederá a analizar en detalle la estación sísmica de banda ancha instalada en la localidad de Ñaña (NN).

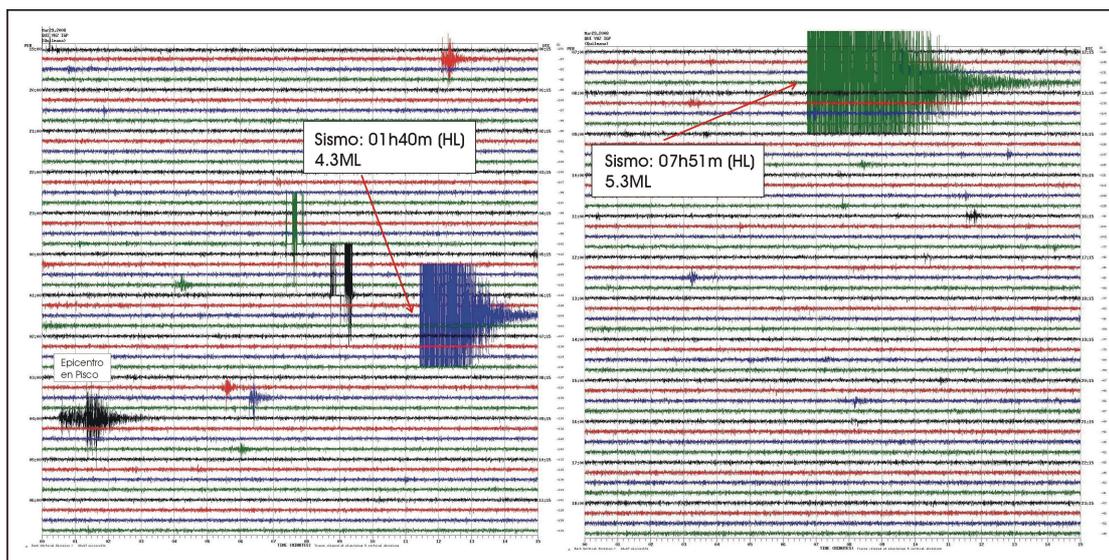


Figura 7.- Sismogramas de la estación Quilmana (QUI) ubicada a 120 km en dirección sur del epicentro del sismo de Lima del 29 de Marzo. Se observa el registro del sismo y del evento ocurrido 6 horas antes. Entre ambos sismos y durante las 12 horas siguientes, no se tiene el registro de réplicas.

ACELERACIONES MAXIMAS

El sismo de Lima del 29 de Marzo de 2008 fue registrado por un total de 6 acelerómetros pertenecientes a la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP, a CERESIS y a la PUCP. Todos estos acelerómetros, se encuentran ubicados en Lima Metropolitana; es decir, próximos a la zona epicentral, a excepción del ubicado en el distrito de Ancón (ANC), el más distante a la zona epicentral. La información disponible permitió conocer las aceleraciones máximas registradas por las estaciones acelerométricas y será utilizada para construir y discutir las características de los espectros de respuesta elaborados para cada componente de registro.

Los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento en series de tiempo permiten realizar estudios del movimiento del terreno, describiendo así las características básicas del fenómeno sísmico en el punto de registro. En tal sentido, cada sismo analizado presenta información con características diferentes asociadas a diversos escenarios, siendo esta información importante al momento de la toma de decisiones dentro del campo de la ingeniería sísmica. Los registros de aceleración del sismo de Lima ocurrido el día 29 de agosto del 2008, fueron corregidos por instrumento y línea base, antes de proceder a identificar los picos máximos de aceleración sin la aplicación de ningún tipo de filtro. En la Figura 8 se muestra el mapa con la distribución de las estaciones respecto al epicentro con sus respectivos registros de aceleración. Estos registros muestran claramente su variación en amplitud que pueden ser asociados a factores de atenuación o amplificación debido a las propiedades físicas del suelo o medio en el cual se propaga la onda.

Según la Figura 8 y Tabla 1, el sismo de Lima generó aceleraciones máximas del terreno de 172 cm/seg^2 en la estación RIN ubicada sobre suelo blando en la

Urbanización Rinconada (Distrito de La Molina). La aceleración mínima de 64.6 cm/seg² se registró en la estación LMO ubicada sobre suelo rocoso en la Universidad Agraria de La Molina (Distrito La Molina). Estas diferencias en amplitud se deben a que las estaciones se encuentran ubicadas en diferente tipo de suelo.

En las estaciones de ANC y ANR se registraron aceleraciones del orden de 92 y 76 cm/seg² respectivamente y en las estaciones de MAY y CER del orden de 120 cm/seg². Estas estaciones se encuentran ubicadas sobre suelos de conglomerado, de ahí que no exista mucha diferencia entre sus valores de aceleración.

Tabla 1. Valores de aceleración máxima (Amax) registrados por las diferentes estaciones acelerométricas ubicadas en la ciudad de de Lima Metropolitana.

Estaciones IGP		Aceleraciones máximas cm/seg ²			Amax
Código	Localidad	Comp. V	Comp. N-S	Comp. E-O	Amax
Est./Ica	Nombres	cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²
ANC	Ancón	46.9	92.7	79.3	92.7
MAY	Mayorazgo	58.5	116.9	120.1	120.1
LMO	La Molina	29.5	64.6	61.8	64.8
RIN	Rinconada	74.3	136.2	172.2	172.2
CER	Ceresis	46.6	99.6	123.1	123.1
ANR	Asam.Nac.Rec.	45.0	38.5	76.1	76.1

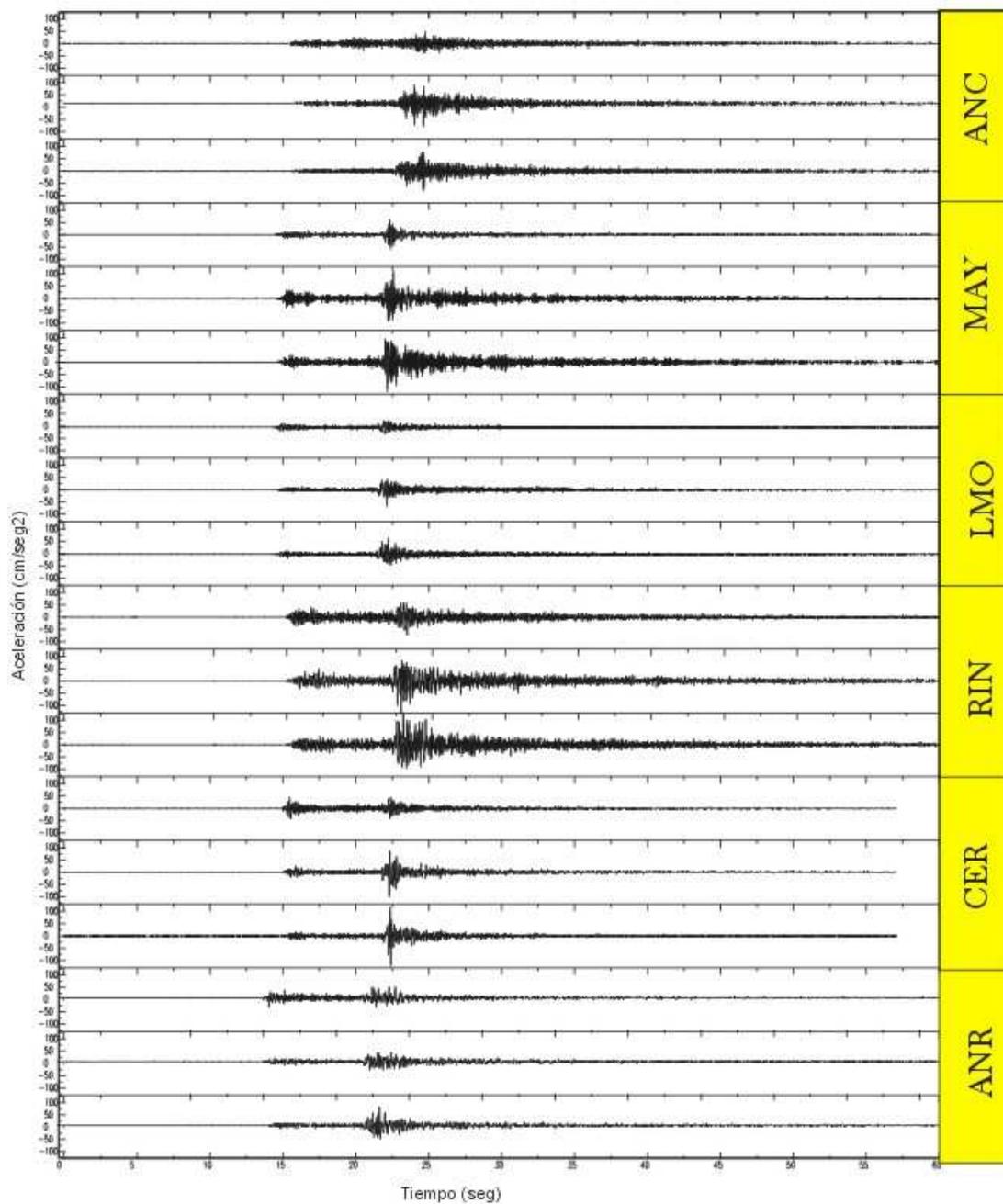


Figura 8.- Registros de aceleración obtenidos de las diferentes estaciones acelerométricas utilizadas en este estudio. Los registros para cada estación son presentados en sus tres componentes: V, NS y EO.

Espectros de Respuesta

Para los registros del sismo de Lima del 29 de Marzo de 2008 se han obtenido sus espectros de respuesta a fin de tener una representación gráfica de la “respuesta elástica máxima del suelo” para una serie de osciladores de un grado de libertad con un amortiguamiento del 5% (ver Anexo).

Tabla 2. Valores de aceleración máxima espectral (A_{max}) y periodos (seg) identificados en los espectros de respuesta obtenidos para cada componente (v, N-S y E-O).

Estaciones IGP		Aceleraciones máximas espectrales (cm/seg ²)			Max Valores
Código	Localidad	Comp. V	Comp. N-S	Comp. E-O	
Est./Ica	Nombres				
ANC	Ancón	134	144	105	144
		0.05	0.039	0.07	0.039
MAY	Mayorazgo	242	267	342	342
		0.08	0.08	0.08	0.08
LMO	La Molina	82.9	2.8	148	148
		0.19	0.04	0.1	0.1
RIN	Rinconada	212	304	349	349
		0.2	0.08	0.14	0.14
CER	Ceresis	152	342	342	342
		0.08	0.14	0.08	0.08
ANR	Asam.Nac.Rec.	68.9	133	285	285
		0.37	0.10	0.09	0.09

Las aceleraciones espectrales máximas registradas por las estaciones acelerométricas consideradas en este estudio se presentan en la Tabla 2, siendo mayor en la estación RIN con un valor de 349 cm/seg² para un periodo de 0.14 segundos y la mínima, en la estación LMO con un valor de 82.9 cm/seg² para un periodo de 0.19

segundos. Estas dos estaciones se encuentran ubicadas en el mismo distrito, pero sobre suelos diferentes (sedimentos y roca), de ahí que a pesar que muestran los mismos periodos, su mayor diferencia se da en los valores de amplitud espectral.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El sismo del 29 de Marzo de 2008 presentó una magnitud moderada (5.3 ML) y su epicentro fue localizado a 25 km al sur-oeste de la Provincia Constitucional del Callao. En general, el sismo causó alarma en la población de Lima y el Callao, siendo los daños parciales en algunas viviendas antiguas; sin embargo, estos alarmaron a los pobladores de ambas ciudades. El sismo fue sensible desde Ica por el sur del Perú hasta Huarney por el norte.

. En la Figura 9 se presente los mecanismo focales de los grandes sismos asociados al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, además del correspondiente al sismo de Lima. Obsérvese que el mecanismo focal del sismo de Lima no sigue el mismo patrón de deformación. De acuerdo a estas características (mecanismo focal con posible plano de falla casi vertical), el sismo del 29 de Marzo tendría su origen en la deformación interna de la corteza oceánica (placa de Nazca) y no en la superficie de fricción de placas, razón por la que no habría producido replicas

Por la ubicación de su epicentro, el sismo se habría producido dentro del área de ruptura del sismo de Lima de 1974 (7.5Mw). El sismo del 29 de Marzo, presento una magnitud momento de 5.3Mw con foco ubicado a una profundidad de 51 km. La forma de onda del sismo en la estación de Huancayo (HUA) indicaría que el proceso de ruptura habría tenido un tiempo de duración de 2 segundos; es decir, mucho menor que los correspondientes a los grandes sismos como el de Pisco del 2007 que duro 110 segundos. Este sismo fue precedido por otro de magnitud 4.3ML (6 horas antes) que

En la actualidad, se ha procedido a realizar un estudio más detallado del sismo que incluye el análisis de sus formas de onda a fin de conocer con mayor precisión su proceso de ruptura. Del mismo modo, complementar la base de datos con evaluaciones de intensidades para Lima complementado con el análisis en detalle de los valores de aceleración registrados en todas las estaciones acelerométricas de la Red Sísmica Nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Dr. Ronald Woodman para el estudio de los procesos de ruptura de grandes sismos ocurridos en Perú. Al personal de Redes Geofísicas por el esfuerzo de mantener operativa la Red Sísmica Nacional. A CERESIS y PUCP por la disponibilidad de los datos de aceleración, y a H. Salas y B. Herrera por su apoyo en la preparación de datos y soporte gráfico.

BIBLIOGRAFIA

- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990a). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 551-576.
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). Decelerating Nazca_south America and Nazca-Pacific plate motions. *Geophys. Res. Lett.* 26, 3405-3408.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. *Journal of Seismology*, 5, 519-540.

Anexo 1.

Registros de aceleración en sus tres componentes (V, NS y EO) obtenidos de las estaciones acelerométricas pertenecientes a la Red Sísmica Nacional con su respectivo Espectro de Respuesta con amortiguamiento del 5%.

