

Características Ingenieriles del Terremoto de Ocoña del 23 de Junio de 2001

Rubén Boroschek¹, Diana Comte², Alexis Morales¹

¹Departamento de Ingeniería Civil, rborosch@ing.uchile.cl

²Departamento de Geofísica, dcomte@dgf.uchile.cl

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

Resumen

Los Departamentos de Ingeniería Civil y Geofísica de la Universidad de Chile en conjunto con instituciones internacionales poseen redes sismológicas y de movimiento fuerte en el norte de Chile. Estas redes registraron el terremoto del 23 de Junio del 2001 de Magnitud $M_w=8.4$ ocurrido en el Sur del Perú que es a su vez el mayor detectado en los últimos 25 años en la zona. El evento en la zona norte de Chile presenta importantes aceleraciones y velocidades máximas considerando que la zona está a más de 400 km de distancia del epicentro y 200 km de la zona de ruptura y espectros de respuesta muy cercanos a la demanda elástica establecida en la norma chilena de diseño NCh 433 of 96.

Abstract

The Civil Engineering and Geophysics Department of the University of Chile together with international institutions have seismic and strong motion stations in the northern part of Chile. These networks register the June 23, 2001 Magnitude $M_w=8.4$ event that occurred in Southern Peru, which is the strongest event in the last 25 years. This earthquake presented in the Northern Chilean region relatively large maximum velocities and accelerations although the recording sites are more than 400 km away from the epicentral region and 200 km of the rupture zone. Elastic response spectra from these records are close to the elastic demand established in the Chilean NCh 433 of 96 design code.

Introducción

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile a través de sus Departamentos de Ingeniería Civil y Geofísica han mantenido un programa permanente de instrumentación en la brecha sísmica del norte del país con el objeto de determinar las características sismotectónicas de esta región, el análisis del movimiento sísmico y su relación con el daño en infraestructura.

La red sismológica del norte de Chile fue instalada a través de un proyecto conjunto entre el Departamento de Geofísica, el Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS-Francia), el Institut de Recherche pour le Développement (IRD-Francia), el Centro Sismológico de la Universidad de Tarapacá (Arica) y el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad Católica de Antofagasta. La

Red de Movimiento Fuerte, acelerógrafos, fue instalada por el Departamento de Ingeniería Civil desde los años 70 y posee instrumentos en Putre, Arica, Cuya, Pisagua, Iquique, El Loa, Tocopilla y Antofagasta. Estas redes han permitido el monitoreo permanente de la actividad sísmica y han ayudado a mitigar el riesgo sísmico nacional.

Tabla 1.
Aceleración y Velocidad Máxima Horizontal

Registro	Acel. Max [g]	Vel. Max [cm/seg]
Cuya	0.14	8.62
	0.16	9.39
Pisagua	0.03	2.94
	0.04	4.26
Putre	0.20	11.74
	0.19	10.65
Arica Casa	0.27	19.86
	0.32	32.64
Arica Costa	0.34	26.00
	0.27	25.17
Arica Hospital	0.21	19.17
	0.28	19.10
Poconchile	0.25	29.21
	0.26	29.06

Tabla 2.
Aceleración y Velocidad Máxima Vertical

Registro	Acel. Max [g]	Vel. Max [cm/seg]
Cuya	0.07	4.40
Pisagua	0.04	5.01
Putre	0.10	5.50
Arica Casa	0.18	18.55
Arica Costa	0.09	13.05
Arica Hospital	0.14	15.64
Poconchile	0.15	14.90

Estas redes registraron el sismo principal y las numerosas réplicas asociadas al terremoto del 23 de Junio del 2001 que tuvo una magnitud $M_w=8.4$ y que corresponde al sismo más grande registrado en los últimos 25 años en la zona. El análisis desde un punto de vista sismológico de este evento se presenta en Comte et al., (Ref. 1).

Implicancias para la Ingeniería Sismorresistente

El terremoto del sur del Perú se registró en siete estaciones de acelerógrafos en el norte de Chile (Ref 2). La Figura 1 presenta el registro obtenido en el acelerógrafo digital de Arica instalado al amparo del proyecto conjunto IRD-UCh-IPGS. Las aceleraciones y velocidades máximas horizontales y verticales observadas se presentan en las Tablas 1 y 2 y los espectros de respuesta asociados a un 5% de razón de amortiguamiento crítico en las Figura 2, 3 y 4. Se ha clasificado preliminarmente el tipo de suelo de cada estación con el fin de comparar los espectros elásticos con los requisitos de la norma NCh 433 of 96. Para esta clasificación se ha utilizado como referencia el período correspondiente al máximo valor del espectro y antecedentes geotécnicos parciales. En el caso de la Estación Arica Hospital existe una clasificación geotécnica que lo ubica como de borde entre Tipo de Suelo II y III.

Si se considera que la distancia epicentral promedio entre las estaciones de registros es cercana a los 450 kilómetros, los valores de velocidades y aceleraciones máximas obtenidas son considerablemente mayores a los observados en otros eventos sísmicos nacionales. Por ejemplo las aceleraciones máximas registradas en las tres estaciones de Arica, 0.28, 0.32 y 0.34 g, son mayores a las que se estiman con las curvas de atenuación usualmente utilizadas, aunque dichas curvas normalmente no consideran distancias superiores a los 300 km.

Un valor particularmente superior a lo esperado es la velocidad máxima observada a distancias mayores de 400 km con respecto a lo registrado a distancias mucho menores. Por ejemplo, en las estaciones de Arica este valor es cercano a los 30 cm/seg, en contraste con la velocidad que se obtuvo en el sismo del 3 de Marzo de 1985 en Melipilla, 33 cm/seg y en Llolleo 40 cm/seg, ubicadas a distancias epicentrales menores de 100 km.

Con estos nuevos datos, para suelos tipo I y II e incluyendo solamente los datos de los terremotos de 1985 y 1995, una proposición preliminar de curva de atenuación es la siguiente, Figuras 8 y 9:

$$\text{Aceleración Máx. Horizontal} = \frac{0.002 \cdot e^{M_w}}{(R + 60)^{0.59}}$$

$$\text{Aceleración Máx. Vertical} = \frac{0.002 \cdot e^{0.97M_w}}{(R + 60)^{0.66}}$$

Estas curvas se deben corregir al incorporar información sobre las características del suelo, antecedentes de aceleración a distancias menores para este sismo, que en estos momentos no están disponibles y otros eventos de subducción chilenos.

En la Figura 5 a y b se presenta la aceleración máxima de los registros comparada con la aceleración efectiva, derivada del espectro de respuesta. De esta figura se aprecia que la razón entre los valores efectivos y máximos de aceleración es cercana a 0.90, lo que es similar al valor observado con los registros de aceleración de los años 85 y 95.

En Arica (Intensidad VII) este terremoto generó espectros de respuesta elástica muy cercanos al de diseño de la norma NCh433. La norma en general fue superada en el rango de periodos mayores a 0.8 segundos, en suelo equivalente tipo II y en zona sísmica 3. En los otros casos, de los cuales se poseen antecedentes instrumentales, la norma no se vio superada, pero si igualada, Figura 4.

Al comparar este evento con el que ocurrió el 8 de agosto de 1987, cerca de la costa y de la desembocadura del río Camarones, a aproximadamente 50 kilómetros de distancia hipocentral de la ciudad de Arica se observa que los máximos fueron similares: Intensidad VI-VII, aceleración 0.28 g y velocidad 21 cm/seg (González y Saragoni, Ref 2). En la Figuras 7 se comparan los espectros de respuesta para la Estación Arica Casa - Cementerio para ambos eventos. En esta se observa que el evento del Sur del Perú generó demandas mayores que las del 1987, para periodos superiores a 0.25 segundos y presenta una banda espectral más amplia.

Después de ocurrido este evento los Departamentos de Geofísica e Ingeniería Civil colocaron 11 acelerógrafos digitales adicionales en la zona, lo que permitirá reforzar la capacidad de evaluación en la primera y segunda región del país.

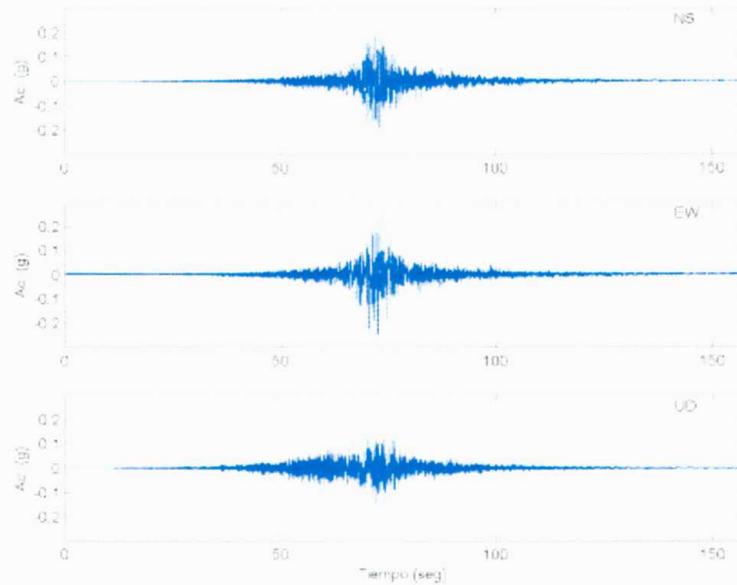


Figura 1: Acelerograma Estación Hospital Arica

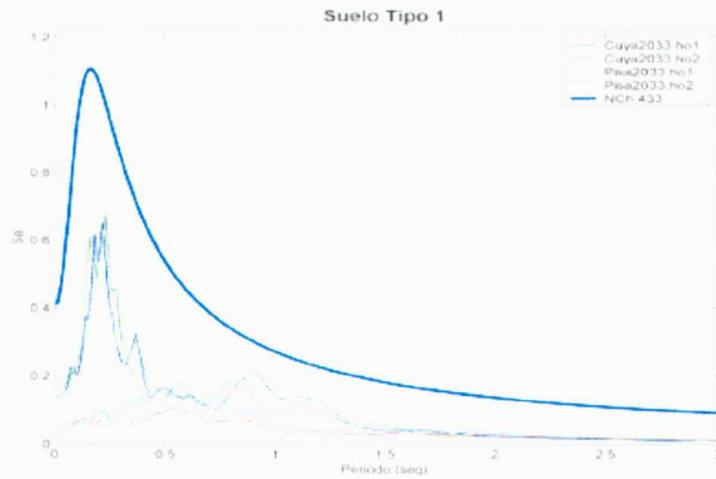


Figura 2: Espectro de respuesta 5% amortiguamiento, Zona 3, Suelo I (clasificación por máximo valor espectral) y comparación con requisito elástico de la Norma NCh433.of96.

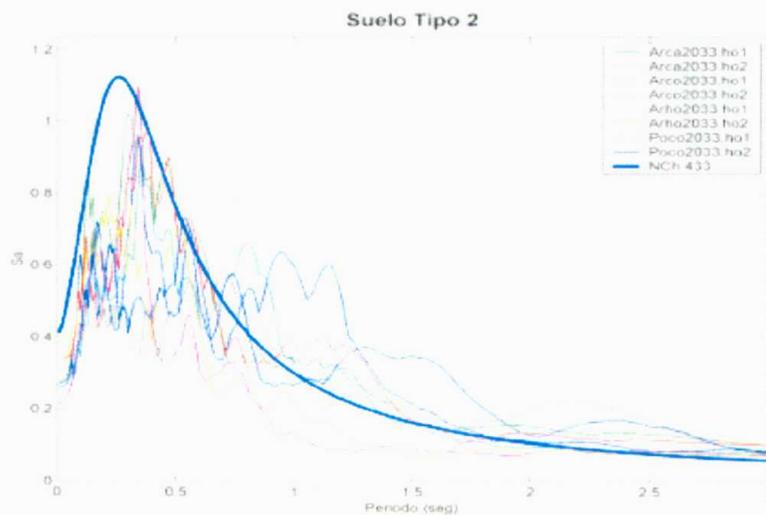


Figura 3: Espectro de respuesta 5% amortiguamiento, Zona 3, Suelo II (clasificación por máximo valor espectral) y comparación con requisito elástico de la Norma NCh433.of96.

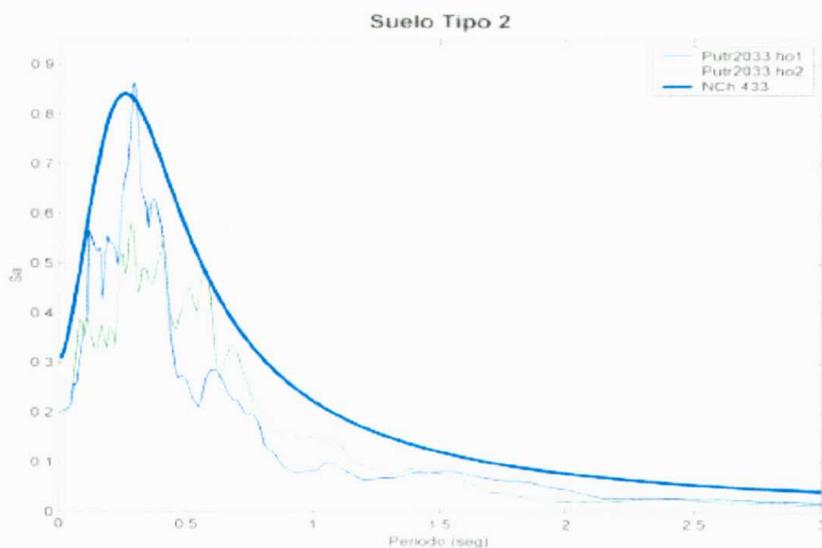


Figura 4: Espectro de respuesta 5% amortiguamiento, Zona 2, Suelo II (clasificación por máximo valor espectral) y comparación con requisito elástico de la Norma NCh433.of96.

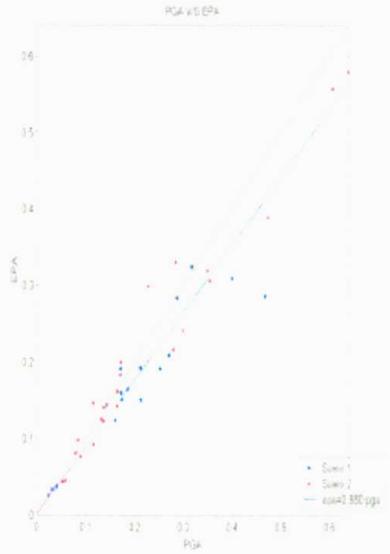


Figura 5.a: Comparación entre aceleraciones horizontales efectivas y aceleraciones máximas del registro. Sismos de 1985 y 1995

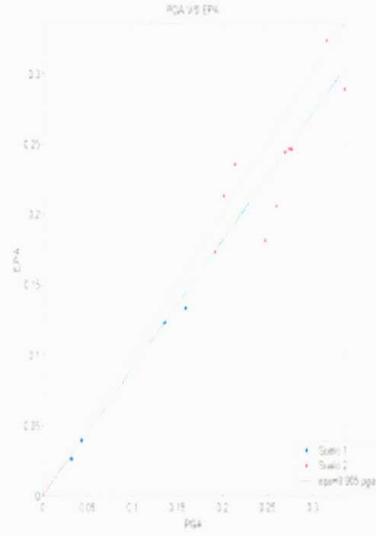


Figura 5.b: Comparación entre aceleraciones horizontales efectivas y aceleraciones máximas del registro. Sismo Sur Perú

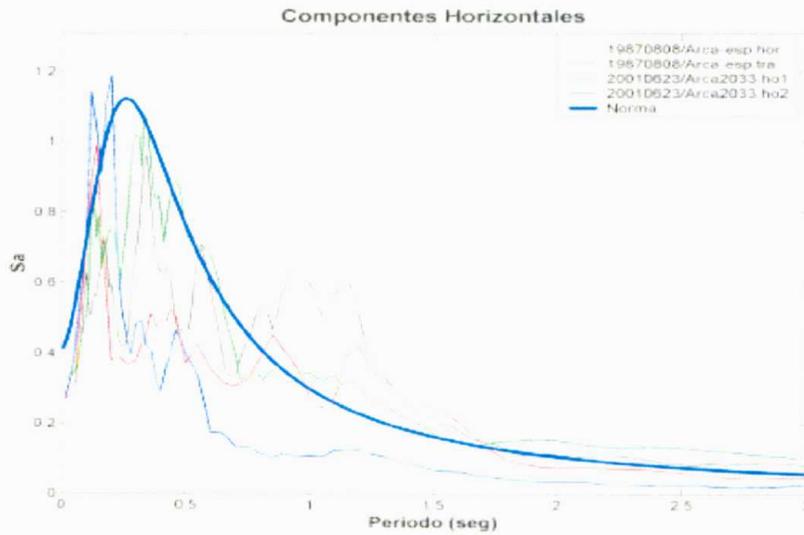


Figura 6: Comparación de Espectro de Respuesta Terremoto de Arica 1987 y Terremoto Sur Perú 2001 en la Estación Casa-Cementerio en la ciudad de Arica. Registros horizontales.

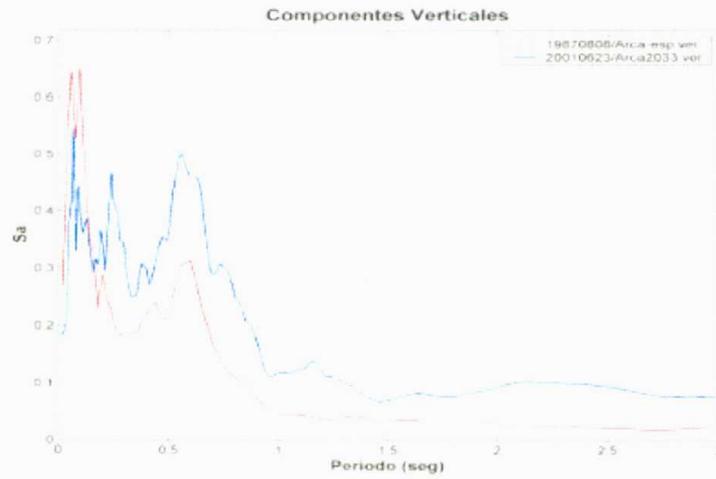


Figura 7: Comparación de Espectro de Respuesta Terremoto de Arica 1987 y Terremoto Sur Perú 2001 en la Estación Casa-Cementerio en la ciudad de Arica. Registros verticales.

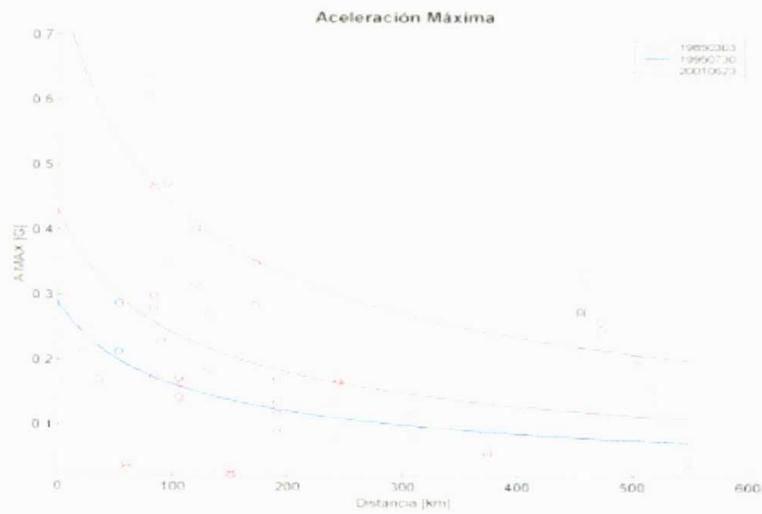


Figura 8: Curvas de atenuación para aceleración máxima horizontal

- datos locales". VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Chile, 2002.
2. González, E. y Saragoni, G. R. "Análisis de los acelerogramas del sismo del Arica del 8 de Agosto de 1987". 5 Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Agosto 1989.
 3. Red Nacional de Acelerógrafos, "Registros en el Norte de Chile, Terremoto del Sur del Perú, 23 de Junio 2001, Mw=8.4", Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, RENADIC 01/04.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a los Drs. Ronald Woodman y Hernán Montes, Presidente Ejecutivo y Director Técnico del IGP, por el apoyo brindado al Centro Nacional de Datos Geofísicos (CNDG) para proceder a atender la emergencia producida por el terremoto del 23 de Junio de 2001 en la región sur del Perú. A los Ings. Jorge Espinoza (Jefe de Redes Geofísicas), David Portugal y Sr. Edmundo Vila, y demás personal de Redes Geofísicas que apoyaron en la preparación de los equipos de campo y posterior instalación. A la Dirección de Administración por el importante apoyo logístico en el desarrollo de las campañas de campo y edición del presente informe.

Asimismo, a todas las personas entrevistadas en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, que a pesar de las circunstancias en que se encontraban, permitieron el acceso a sus viviendas a fin de ser evaluadas y respondieron cordialmente a nuestras preguntas.

A las autoridades de la Ciudad de Arequipa que nos brindaron todas las facilidades del caso para realizar los trabajos de campo. Al Dr. Orlando Macedo de la Oficina del IGP en Arequipa, por su apoyo con el material fotográfico. Al Arq. Gina Valdivia (Moquegua), Ings. Luis Vera Abarca y Jorge Barriga (Tacna), Arq. Enrique Schiaffino (Ilo) y Arq. Salvador Zavala (Mollendo) por su importante apoyo a fin de conseguir los respectivos mapas catastrales de cada ciudad y localidad encuestada. A los Ing. Elías Adriazola, Jorge Bedoya (Ilo), Bertha Arias y Luis Alxrto Guccione (Valle Algarrobal) por su ayuda en la toma de datos y en la obtención de material fotográfico.

Finalmente, nuestro agradecimiento a Rafael Alvarado por su apoyo en la traducción de los resúmenes de cada artículo al idioma inglés.



PERSONAL

**CENTRO NACIONAL DE DATOS
GEOFISICOS - SISMOLOGIA**

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

Lima, Abril de 2002



- 1 .- Ing. Hector Aleman Hidalgo
- 2 .- Bach. Renzo Vilca Valencia
- 3 .- Bach. Freddy Ccallo Huaquisto
- 4 .- Dr. Hernando Tavera (*Director del CNDG*)
- 5 .- Sr. Henry Salas Vasquez
- 6 .- Bach. Igor Valdivia Polanco
- 7 .- Lic. Simeón Rodríguez Cancán
- 8 .- Ing. Hernán Heras Muchica
- 9 .- Lic. Luis Vilcapoma Lazaro
- 10.- MsC. Yolanda Zamudio Diaz
- 11.- Bach. María Manrique Rivera
- 12.- Ing. Isabel Bernal Esquia
- 13.- Ing. Yanet Antayhua Vera
- 14.- Sra. Yvonne Pérez-Pacheco Ramírez
- 15.- Bach. Julia Carpio Llerena
- 16.- Sra. Consuelo Agüero Alberco
- 17.- Ing. Efraín Fernández Aguilar