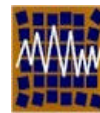




**Universidad de Concepción**  
**Departamento de Ingeniería Civil**



**Asociación Chilena de Sismología e**  
**Ingeniería Antisísmica**

**N° A 01-05**

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS DE LOS SISMOS CHILENOS DE SUBDUCCIÓN DEL TIPO INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA**

**Maximiliano Astroza I.<sup>1</sup>, Marcelo Sandoval H.<sup>2</sup> y Edgar Kausel V.<sup>3</sup>**

- 1. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile  
Avda. Blanco Encalada 2002. 4º Piso. Santiago. Chile  
email: [mastroza@ing.uchile.cl](mailto:mastroza@ing.uchile.cl)*
- 2. Ingeniero Civil. Universidad de Chile  
email: [msandoval@lagos-ing.com](mailto:msandoval@lagos-ing.com)*
- 3. Departamento de Geofísica. Universidad de Chile  
Avda. Blanco Encalada 2002. 3º Piso. Santiago. Chile  
email: [ekausel@dgf.uchile.cl](mailto:ekausel@dgf.uchile.cl)*

### **RESUMEN**

En este trabajo se comparan los efectos que producen los terremotos chilenos de subducción del tipo interplaca con los efectos de los terremotos chilenos de subducción de tipo intraplaca de profundidad intermedia. Con este propósito se determinan las curvas de atenuación de intensidad de cuatro eventos del tipo intraplaca, como son: los terremotos de Chillán de 1939 ( $M_s=7.8$ ), de La Ligua de 1965 ( $M_s=7.1$ ) y de Punitaqui de 1997 ( $M_s=6.7$ ) y del sismo de Santiago de 1945 ( $M_s=7.1$ ), las cuales se comparan con las curvas de atenuación de intensidad que resultan al aplicar la fórmula propuesta por Barrientos, fórmula que representa la atenuación de intensidad de los eventos del tipo interplaca.

De la comparación se concluye que los daños producidos por estos cuatro terremotos chilenos del tipo intraplaca de profundidad intermedia en las zonas cercanas al epicentro son mayores que los daños producidos por los sismos del tipo interplaca de igual magnitud. Además se observan diferencias en las

curvas de atenuación de intensidad de los eventos del tipo intraplaca de profundidad intermedia ubicados en la zona comprendida entre los paralelos 28° y 33° de latitud sur (Terremoto de La Ligua y Punitaqui) y los ubicados al sur del paralelo 33° sur (Sismo de Santiago y terremoto de Chillán).

*Palabras Clave: Sismos de Subducción, Intensidad Sísmica, Fórmulas de Atenuación*

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile se reconoce la existencia de tres zonas de generación de sismos que controlan el diseño sísmico de las obras civiles ubicadas entre la Primera y la Undécima Región. Estas zonas dan lugar principalmente a sismos interplaca de fallamiento inverso que se producen a lo largo de la costa, eventos de profundidad intermedia ( $> 70$  km) que ocurren dentro de la placa de Nazca que subducta y eventos superficiales ( $< 20$  km) en la región cordillerana de Chile Central (Alvarado, 1998).

En los últimos 15 años, ha sido reconocido el peligro sísmico que representan los terremotos del tipo intraplaca de profundidad intermedia, eventos que se producen por el fallamiento dentro de la placa de Nazca a profundidades que varía entre los 70 y 110 km, con altos valores de caída de tensión (Kausel, 1991). Ejemplos de estos eventos son el terremoto de Calama de 1950 (Kausel y Campos, 1992), el terremoto de Chillán de 1939 (Campos y Kausel, 1990, Beck *et al.*, 1993), el sismo de Santiago del 13 de septiembre de 1945 (Barrientos *et al.*, 1997) y el terremoto de Punitaqui de 1997 (Pardo *et al.*, 2002).

Teniendo en cuenta que el reconocimiento de estos sismos de profundidad intermedia es reciente, es necesario desarrollar nuevas fórmulas de atenuación de intensidad, como lo sugiere Barrientos (Barrientos, 1998), de modo de cuantificar el incremento de los daños observados en ellos para magnitudes menores o comparables con las de sismos de subducción del tipo interplaca.

Para establecer las fórmulas de atenuación de los sismos del tipo intraplaca de profundidad intermedia, es necesario tener en cuenta la profundidad del hipocentro dentro de la placa que subducta, placa de Nazca, reconociendo que la zona comprendida entre los paralelos 28° y 31.5° de latitud sur presenta diferencias desde este punto de vista (Cahill e Isacks, 1992).

Para cumplir con los objetivos del trabajo, se determinan y se comparan las curvas que representan la atenuación de intensidad de cuatro sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia: el terremoto de Chillán de 1939, el sismo de Santiago de 1945, el terremoto de La Ligua de 1965 y el terremoto de Punitaqui de 1997. Además se comparan los efectos de estos sismos con los de los sismos chilenos de subducción del tipo interplaca, considerando que estos últimos quedan representados por la fórmula de atenuación de intensidad propuesta por Barrientos (Barrientos, 1980).

Como resultado de esta comparación se obtiene información sobre la extensión del área de daños y de la zona de sensibilidad de ambos tipos de eventos de subducción (Sandoval, 2004).

## 2. EFECTOS DE LOS SISMOS CHILENOS DE SUBDUCCIÓN DEL TIPO INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA.

En la Tabla 2.1 se entregan las fórmulas de la atenuación de intensidad de cuatro eventos del tipo intraplaca de profundidad intermedia que han ocurrido en Chile durante los últimos 65 años y que han causado daños en las construcciones (Sandoval, 2004). Estos eventos son los sismos de Santiago del 13 de septiembre de 1945, de Punitaqui del 14 de octubre de 1997, de La Ligua del 28 de marzo de 1965 y de Chillán del 24 de enero de 1939. De la Tabla 2.1 se aprecia que las magnitudes de los eventos de Santiago, La Ligua y Punitaqui son similares; en cambio, el terremoto de Chillán es el evento de mayor magnitud de los cuatro. Además se observa que la profundidad focal (H) de los sismos de La Ligua y Punitaqui son menores, del orden de los 70 km.

Las fórmulas de atenuación de la Tabla 2.1 corresponden a las curvas que representan el mejor ajuste entre el grado intensidad, I, y el valor promedio de la distancia hipocentral,  $D_h$ , asociada con el grado de intensidad. Las fórmulas indicadas en la Tabla 2.1 se muestran en la Fig. 2.1, destacando con una línea horizontal los grados de intensidad que representan los límites asociados al inicio del daño estructural en construcciones de adobe sin diseño sísmico (I=5,5) y en construcciones de hormigón armado con diseño sísmico (I=8,0). La selección de estos dos valores del grado de intensidad está de acuerdo con la descripción del grado de intensidad en función de la distribución del daño que experimentan distintos tipos de construcciones según la Escala Europea de Intensidades (Grünthal, 1998).

TABLA 2.1. Fórmula de atenuación de intensidad (Sandoval,2004).

Evento	Fórmula	Ms	Mw	H [Km]
Santiago 1945	$I = 20,357 - 7,122 * \log_{10}(D_h) + 0,0017 * D_h$	7,1	7,1	90
Punitaqui 1997	$I = 27,262 - 10,388 * \log_{10}(D_h) + 0,0056 * D_h$	6,7	7,1	68
La Ligua 1965	$I = 28,364 - 10,200 * \log_{10}(D_h) + 0,0047 * D_h$	7,1	---	73
Chillán 1939	$I = 29,688 - 10,458 * \log_{10}(D_h) + 0,0049 * D_h$	7,8	---	90

$D_h$ = distancia hipocentral [Km].

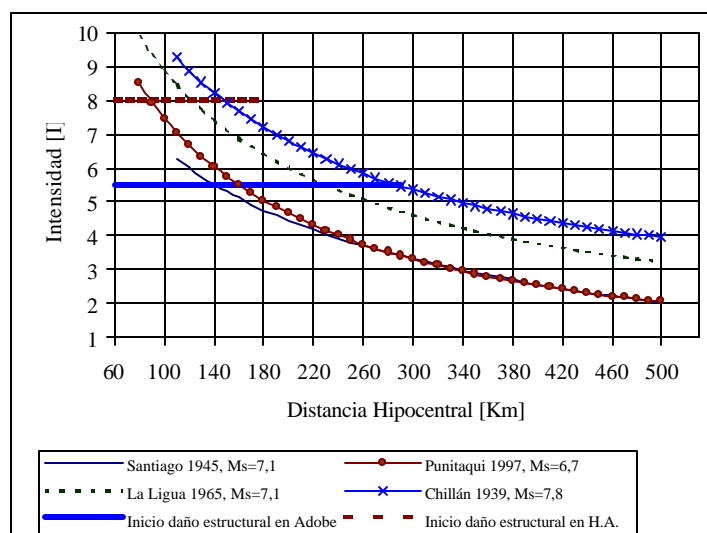


Figura 2.1. Atenuación de intensidad de los eventos del tipo intraplaca de profundidad intermedia.

De la Fig. 2.1 se puede obtener la distancia epicentral que delimita la zona de “inicio de daño”, tanto para las construcciones de adobe y de hormigón armado, para los cuatro eventos, valores que se indican en la Tabla 2.2. Además, de la Fig. 2.1 se observa que para el sismo de Santiago de 1945 no se alcanzan las intensidades que producen daño en las estructuras de hormigón armado con diseño sísmico, lo que se pudo verificar del estudio de los daños de este evento (Sandoval, 2004).

TABLA 2.2. Distancia epicentral que limita la zona de daño en construcciones de uso habitacional de adobe y de hormigón armado con diseño sísmico.

Evento	Distancia Epicentral ( Km)	
	IMM=5,5	IMM=8
Santiago 1945	95,2	---
Punitaqui 1997	133,6	39,9
La Ligua 1965	207,9	84,5
Chillán 1939	262,1	104,0

Considerando la ubicación de los epicentros de los cuatro eventos, información entregada en la Tabla 2.3, es destacable el efecto que esta ubicación tiene en los daños observados. Los eventos que se encuentran al norte del paralelo 33° latitud Sur, zona donde se produce una disminución de la profundidad focal, han producido daños mayores que los sismos de magnitudes similares ubicados al sur de este paralelo. Lo anterior queda confirmado cuando se comparan las intensidades de los sismos de Punitaqui de 1997 y de Santiago de 1945 en la zona de daños, ver Fig. 2.2.

Teniendo en cuenta estos resultados, se puede establecer como hipótesis de trabajo que en Chile existen por lo menos dos zonas en las que se pueden esperar distintos efectos de los sismos de subducción del tipo

intraplaca de profundidad intermedia de una misma magnitud. Para la zona comprendida entre el paralelo 28° Sur y el 33° Sur se han observado daños mayores y una zona de daño más extensa en comparación con los resultados de los eventos intraplaca que han ocurrido en la zona ubicada al sur del paralelo 33°.

TABLA 2.3. Ubicación de los epicentros de los eventos intraplaca de profundidad intermedia.

Evento	Coordenadas del Epicentro	
	Latitud Sur [°]	Longitud Oeste [°]
Santiago 1945	33,80	70,50
Punitaqui 1997	31,02	71,23
La Ligua 1965	32,49	71,36
Chillán 1939	36,25	72,25

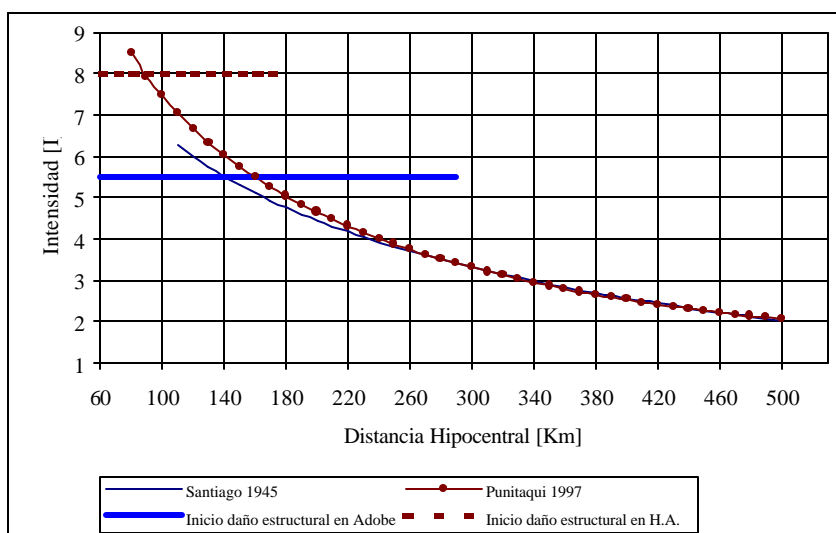


Figura 2.2 Atenuación de intensidad para el sismo de Punitaqui de 1997 ( $M_s=6.7$ ) y de Santiago de 1945 ( $M_s=7.1$ ).

Para esta última zona, la información disponible permite establecer con mayor certeza los efectos de un evento del tipo intraplaca de profundidad intermedia que representa el umbral del daño, como es el sismo de Santiago de 1945, y los efectos de un evento que representa el estado de colapso, como es el sismo de Chillán. Con este propósito se puede utilizar la Fig. 2.3.

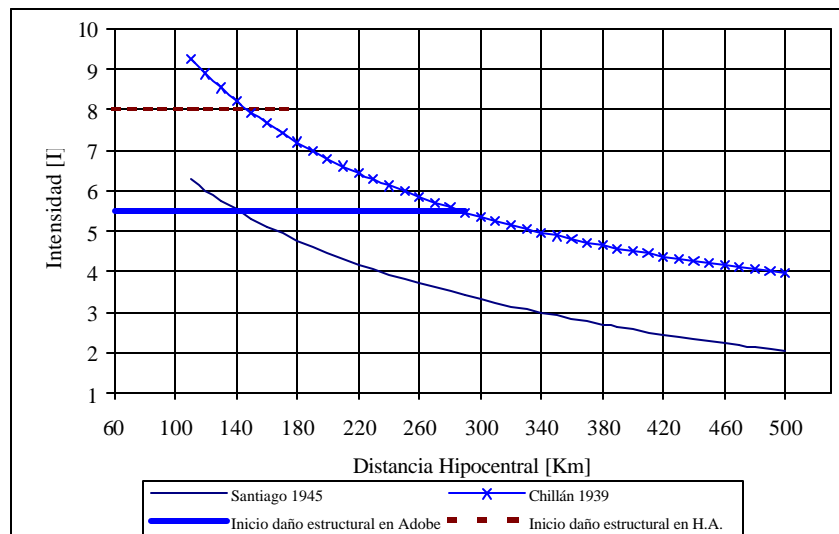


Figura 2.3. Intensidades para el sismo del tipo intraplaca de profundidad intermedia que representa el umbral del daño y el colapso para la zona comprendida entre los paralelos 33° y 36° de latitud Sur.

Para la zona comprendida al norte del paralelo 33°, la información disponible no permite obtener una información como la de la Fig. 2.3 y tampoco permite contar con información que pueda ser reconocida como representativa del sismo tanto de umbral de daño como el de colapso. Por ahora, sólo se puede destacar que la magnitud del sismo que representa el umbral de daño es menor que la del terremoto de Punitaqui y la magnitud del sismo de colapso es mayor que la del terremoto de La Ligua, en la medida que se pueda producir una magnitud mayor de acuerdo con el mecanismo que genera este tipo de terremoto en esta zona.

### 3. COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE SISMOS CHILENOS DE SUBDUCCIÓN DEL TIPO INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA Y DEL TIPO INTERPLACA

Para comparar los efectos de los sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia y del tipo interplaca, se acepta que la atenuación de intensidad de los sismos chilenos de subducción del tipo interplaca queda representada por la fórmula propuesta por Barrientos (Barrientos, 1980), la cual se obtuvo de una muestra de 74 eventos sísmicos ocurridos en Chile entre 1906 y 1974, y de los cuales el mayor porcentaje corresponde a eventos del tipo interplaca.

La fórmula propuesta es (Barrientos, 1980):

$$I = 1,3844 M - 3,7355 \log_{10}(r) - 0,0006 r + 3,8461 \quad (3.1)$$

donde:

- I : Grado de intensidad.
- r : Distancia hipocentral [Km]
- M : Magnitud  $M_s$ .

En las figuras Fig. 3.1 y Fig. 3.2 se grafican las fórmulas de atenuación de intensidad de los eventos subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia junto con la curva obtenida con la fórmula de

Barrientos para dos magnitudes. En la Fig. 3.1 se compara la atenuación de intensidad del terremoto de Chillán de 1939 con la curva obtenida de la fórmula de Barrientos para la misma magnitud  $M_s$  ( $M_s=7,8$ ), y en la Fig. 3.2 se compara la atenuación de intensidad de los sismos de La Ligua y de Santiago con la curva de Barrientos para una magnitud  $M_s=7,1$ .

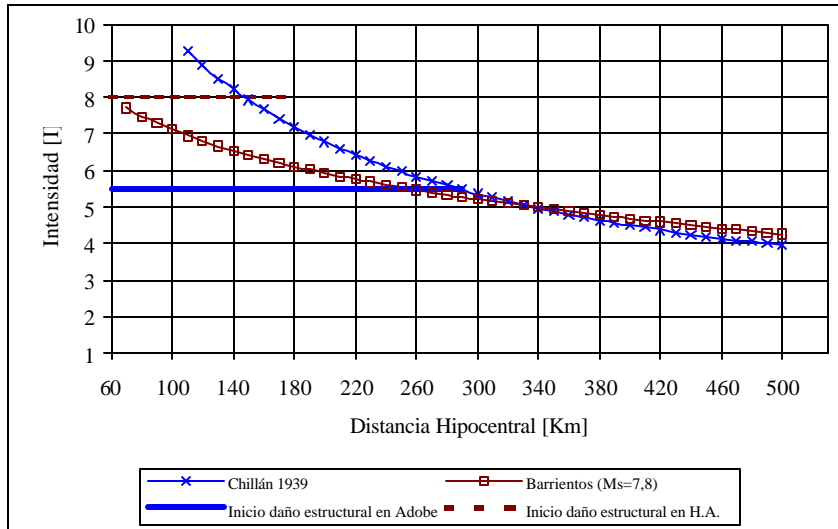


Figura 3.1 Comparación entre la curva de atenuación de intensidad del terremoto de Chillán 1939 y la curva de atenuación de intensidad de Barrientos, para  $M_s=7.8$ .

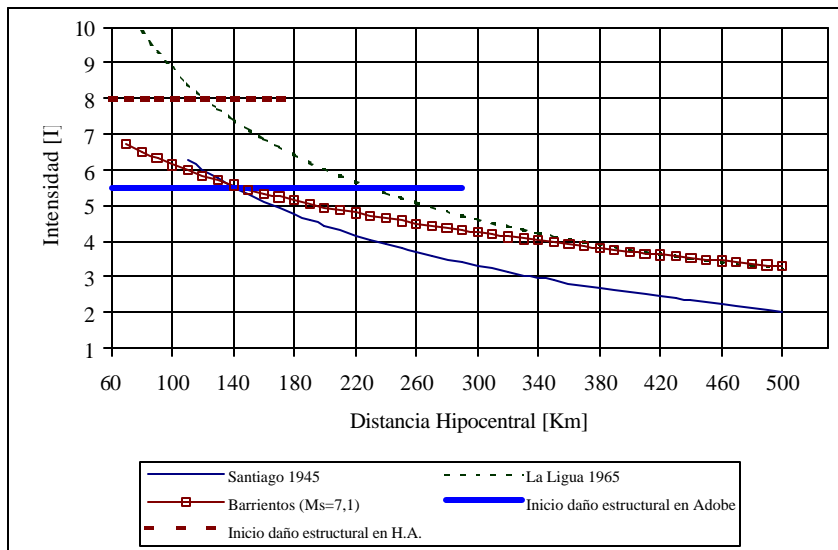


Figura 3.2. Comparación de las curvas de atenuación de intensidad de los eventos de Santiago 1945 y de La Ligua 1965 y la curva de atenuación de intensidad de Barrientos, para  $M_s=7.1$ .

De estas dos figuras se comprueba que en la zona de daños, las intensidades obtenidas con la fórmula propuesta por Barrientos, para una magnitud  $M_s = 7.8$  o  $M_s = 7.1$ , se encuentran siempre por debajo de las intensidades de los eventos intraplaca. Además se observa que para las localidades ubicadas al interior del continente, es decir en el Valle Central o en los Valles Transversales, las intensidades máximas quedan

controladas por los eventos del tipo intraplaca de profundidad intermedia, eventos para los cuales la distancia hipocentral mínima está entre 70 y 100 Km, distancia para la cual las intensidades obtenidas con la fórmula de Barrientos, para eventos del tipo interplaca, se han atenuado considerando que estos eventos se ubican costa afuera a profundidades del orden de 30 km.

Además, en estas dos figuras se comprueba que las intensidades de los eventos del tipo intraplaca de profundidad intermedia presentan una tasa de atenuación, es decir una caída de la intensidad por unidad de incremento de la distancia hipocentral, mayor que los sismos del tipo interplaca. Esto significa que:

- Las curvas se cruzan a una determinada distancia hipocentral debido a que los eventos intraplaca de profundidad intermedia tienen mayores intensidades en la zona epicentral. El punto de cruce está siempre fuera del área de daños para las dos magnitudes consideradas.
- El área de la región en la cual el evento es percibido es mayor en los eventos interplaca que en los intraplaca de profundidad intermedia.

#### **4. COMPARACIÓN ENTRE LAS INTENSIDADES Y LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA) DE LOS SISMOS CHILENOS DE SUBDUCCIÓN DEL TIPO INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA Y DEL TIPO INTERPLACA**

Para los efectos de hacer esta comparación se considera que la magnitud del terremoto de Chillán ( $M_s = 7.8$ ) representa la magnitud del terremoto de diseño para los sismos del tipo intraplaca de profundidad intermedia y que  $M_s = 8.5$  es la magnitud del terremoto de diseño para los sismos del tipo interplaca. En la Fig. 4.1 se muestran en una misma gráfica las curvas que resultan al aplicar las fórmulas de atenuación tanto de intensidad como de la aceleración máxima del suelo (Ruiz, 2002) para los terremotos de diseño.

De las curvas de atenuación de la Fig. 4.1, se puede destacar:

- a. Considerando los valores del grado de intensidad, el terremoto de diseño de los sismos del tipo intraplaca de profundidad intermedia produce mayores daños que el terremoto de diseño de los sismos del tipo interplaca para una distancia hipocentral menor que 150 km. Por lo tanto dentro de esta distancia el sismo de diseño del tipo intraplaca de profundidad intermedia controla el diseño de los edificios de altura reducida, lo que queda corroborado con los daños observados en el terremoto de Chillán (Astroza et al., 2002, Moya, 2001).
- b. El área de la zona de daño, zona delimitada por el grado VI de intensidad, es mayor para el terremoto de diseño de los sismos del tipo interplaca. Es decir, para este tipo de terremoto se puede esperar que se produzcan daños menos severos pero la zona afectada es más extensa.



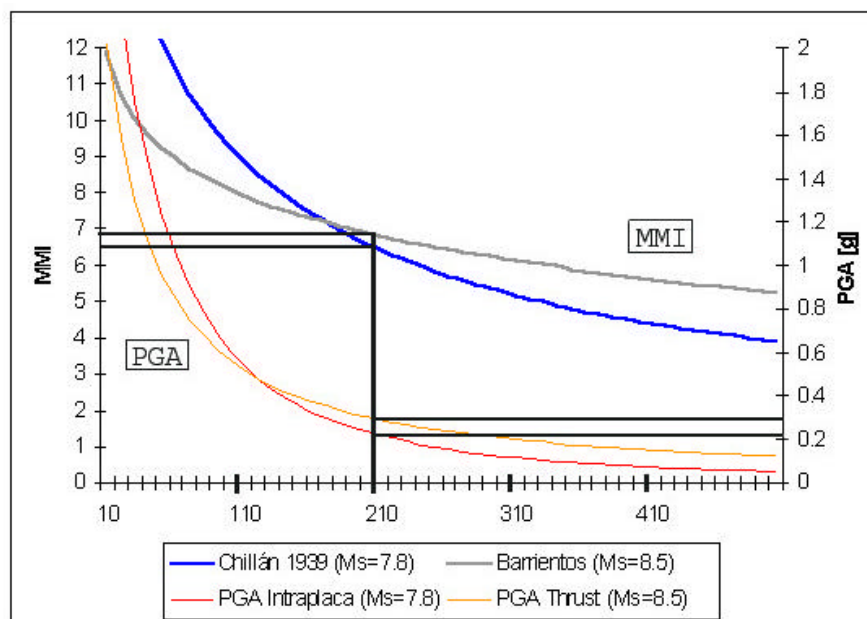


Figura 4.1. Comparación entre la atenuación de intensidad y de la aceleración máxima del suelo para el terremoto de diseño del tipo intraplaca e interplaca (Saragoni *et al.*, 2004).

- c. Para el caso de los eventos interplaca, el grado VI de intensidad (Umbral del daño) se produce para una distancia hipocentral para la cual el PGA esperado es del orden de 0.2 [g]. En cambio un grado VIII de intensidad, que representa el inicio del daño estructural en construcciones de hormigón armado con diseño sísmico, se produce para una distancia hipocentral para la cual el PGA esperado es mayor o igual a 0.4 [g].
- d. Si se considera que para una ciudad ubicada en el Valle Central del país la distancia al hipocentro es del orden de 100 km para ambos tipos de eventos, para el terremoto de diseño de los sismos del tipo intraplaca de profundidad intermedia se obtiene una intensidad entre IX y X y una aceleración máxima del suelo de 0,6 g, y para el terremoto de diseño de un sismo del tipo interplaca se obtiene una intensidad VIII y una aceleración máxima del suelo de 0,56 g. A pesar que los valores del PGA esperado son prácticamente iguales, el daño que produce el terremoto de diseño del tipo intraplaca de profundidad intermedia es mayor, resultado que debe ser considerado cuando se establece la demanda sísmica para estas ciudades.

## 5. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

- De los resultados de este estudio, así como de la observación de los efectos de los sismos, se comprueba que los daños que producen los sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia en las zonas cercanas al epicentro son mayores que los daños producidos por los sismos chilenos de subducción de magnitud semejante del tipo interplaca. Este resultado se ha observado tanto en Chile como en otras zonas de subducción, por ejemplo en México durante los terremotos de Oaxaca del 15 de enero de 1931 y del 30 de septiembre de 1999 (Rodríguez, 2004).
- Según Singh *et al.* (2000), los terremotos del tipo intraplaca son de mayor energía en altas frecuencias que los terremotos del tipo interplaca de magnitud comparable. Esto explicaría los graves daños

observados en los edificios de albañilería y de adobe durante el terremoto de Chillán de 1939 (Moya, 2002) y de Punitaqui de 1997 (Díaz, 2001).

- La situación destacada obliga a contar con fórmulas de atenuación que deben diferenciar si los sismos son del tipo interplaca o intraplaca de profundidad intermedia para cada región de la subducción de la costa del Pacífico del continente americano. Para los sismos de subducción del tipo intraplaca, debe considerarse el efecto de la profundidad a la que se ubica el foco de los terremotos dentro de la placa que subducta. En particular para Chile se observan diferencias en las curvas de atenuación de intensidad para los eventos intraplaca ubicados en la zona comprendida entre los paralelos 28° y 33° de latitud sur y en la zona ubicada al sur del paralelo 33° Sur.
- Las características destacadas deben tenerse presente cuando se realizan estudios de riesgo sísmico relacionados con el desarrollo urbano y regional, estudios para estimar las pérdidas económicas u otros estudios que deban trabajar con el impacto de terremotos.
- Teniendo en cuenta las intensidades máximas esperadas para el terremoto de diseño de subducción del tipo intraplaca, deben revisarse las recomendaciones de la norma chilena NCh433 en relación con la posibilidad de construir edificios de comportamiento frágil como pueden ser los edificios de adobe y de albañilería con escasa cuantía de refuerzo o contruidos con unidades de reconocida fragilidad o de baja adherencia. Según la redacción actual de esta norma no hay restricción de uso de estos sistemas.
- Considerando que la cantidad de información utilizada en este estudio es reducida, para obtener una fórmula de atenuación de intensidad que represente los sismos intraplaca de profundidad intermedia es necesario reunir mayor información sobre este tipo de eventos. Con este propósito deben identificarse en la sismicidad histórica de Chile, los eventos de este tipo que han ocurrido desde 1570.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación forma parte del trabajo desarrollado en el marco de la Iniciativa Científica Milenio Nucleo en Sismotectónica y Peligro Sísmico.

## **REFERENCIAS**

Alvarado, P. (1998). Sismicidad superficial de Los Andes Centrales (33°-35°S, 69,5°-70,5°W), Tesis de Magister en Ciencias, mención Geofísica, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Astroza, M., A. Moya y S. Sanhueza. (2002). Estudio comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán de 1939 y de Talca de 1928, VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile, 25 al 27 de abril del 2002.

Barrientos S., E. Kausel y J. Campos. (1997). Sismicidad de profundidad intermedia y peligro sísmico en Santiago, VIII Congreso Geológico Chileno, Simposio de Geofísica "Lautaro Ponce Mori", Vol. I, 645-649, octubre 1997, Antofagasta, Chile.

Barrientos, S. (1998). Earthquake Hazard in Central Chile: Quantification of non-thrust seismogenic regions, Conferencia Internacional: Sistemas Modernos de Preparación y Respuesta ante riesgos sísmicos, volcánicos y tsunamis, Abril 1998, Santiago, Chile.

- Barrientos, S. (1980). Regionalización sísmica de Chile, Tesis para optar al grado de magister en Ciencias con mención Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Beck, S.L., T. Wallace, M. Reyes, E. Kausel and S. Barrientos. (1993). The 1928 and 1939 subduction zone earthquakes along the coast of southern Chile, *Seim. Res. Lett.*, 64,13
- Cahill, T. and B. Isacks. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate, *J. Geophys. Res.*, 97, pp 17503-17529.
- Campos, J. And E. Kausel. (1990). The large 1939 intraplate earthquake of southern Chile, *Seismological Research Letters*, 61, 43.
- Díaz, O. (2001). Estudio de los efectos de las condiciones locales en el terremoto de Punitaqui de 1997, Memoria para optar al título de ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Grünthal,G.(Editor). (1998). *European Macroseismic Scale 1998*, European Seimological Commission, Subcommission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volum 15, Luxemburgo.
- Kausel, E. (1991). The influence of large thrust and normal earthquakes in the assessment of the seismic hazard, Workshop: New Horizons in Strong Ground Motion: Seismic Studies and Engineering Practice, Santiago, Chile.
- Kausel, E. And J. Campos. (1992). The M=8.0 tensional earthquake of December 9, 1950 of northern Chile and its relation to the seismic potential of the region, *Phys. Earth Planet. Int.*, 72, 220-235.
- Moya , A. (2002). Estudio de los daños del terremoto de Chillán de 1939, Memoria para optar al Título de Ingeniero, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Abril 2002.
- Pardo, M., D. Comte, T. Monfret, R. Boroschek and M. Astroza. (2002). The October 15, 1997 Punitaqui Earthquake (Mw= 7.1: A destructive event within the subducting Nazca plate in Central Chile, *Tectonophysics*, V.345/1-4, pp 199-210.
- Rodriguez, M. (2004). Un enfoque alternativo para la evaluación y diseño de edificaciones de mampostería en zonas sísmicas, *Revista de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, N° 70, 27-58.
- Ruiz, S. (2002). Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y los efectos del suelo y las asperezas, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, noviembre, 2002.

Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica  
IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción - Chile

Sandoval , M. (2004). Estudio de los efectos del sismo fuerte de Santiago del 13 de septiembre de 1945, Memoria para optar al Título de Ingeniero, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Agosto 2004.

Saragoni, G.R., M. Astroza I. and S. Ruiz. (2004). Comparative study of subduction earthquake ground motion of North, Central and South America, 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper N° 104.

Singh, S.K., M. Ordaz, L. Alcántara, N. Shapiro, V. Kostoglodov, J. Pacheco, S. Alcocer, C. Gutierrez, R. Quaas, T. Mikumo y E. Ovando. (2000). The Oaxaca Earthquake of 30 September 1999 (Mw= 7.5): a normal-faulting event in the subducted Cocos plate, Seismological Research Letters, Vol 71, N°1, pp 67-77.