



# **INTENSIDADES SISMICAS EN EL AREA DE DAÑOS DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010**

**POR**

Maximiliano Astroza I., Francisco Cabezas M., María Ofelia Moroni Y,  
Leonardo Massone S., Sergio Ruiz T., Elizabeth Parra, Felipe Cordero O., Anna  
Mottadelli S.

**Departamento de Ingeniería Civil  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Universidad de Chile**

**SANTIAGO-CHILE**

**2010**

## 1. INTRODUCCION

Las intensidades que se entregan en este informe corresponden a las obtenidas en 98 localidades ubicadas en el área de daños producto del terremoto del 27 de febrero del 2010. Para determinar estas intensidades se hizo una inspección de los daños en terreno entre el día martes 9 de marzo y el domingo 21 de marzo del 2010.

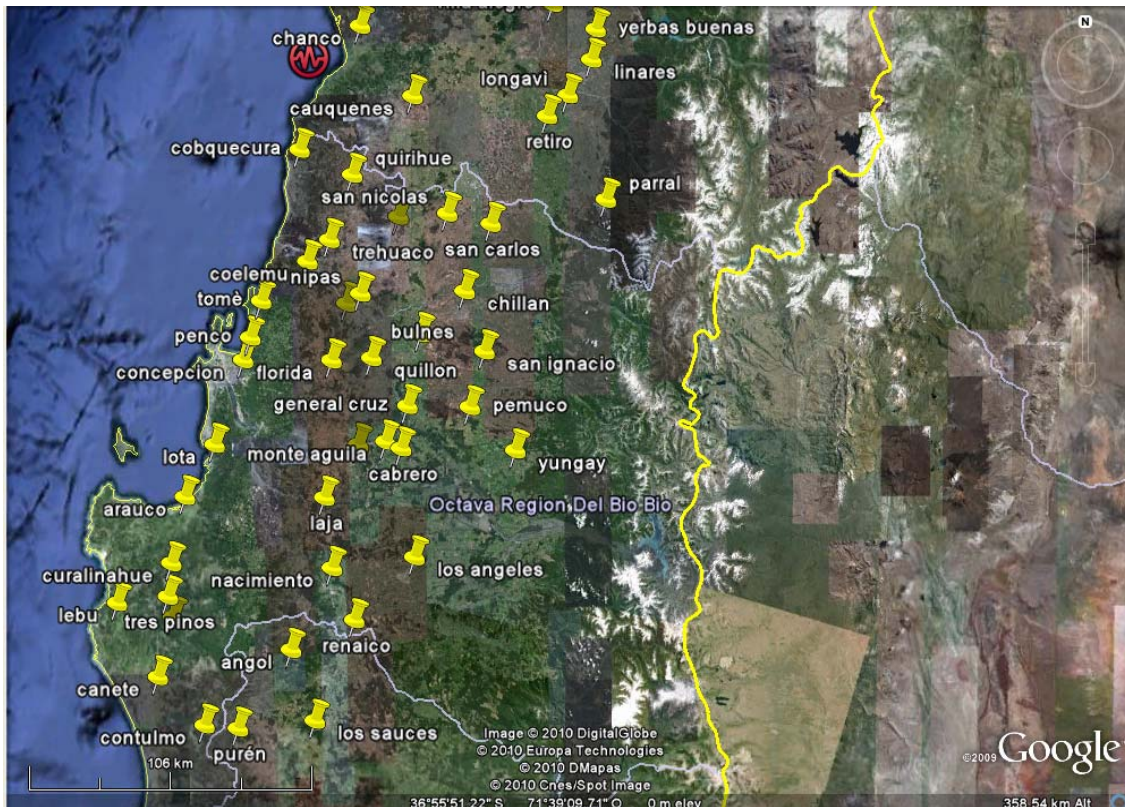
Los lugares visitados se ubican en las regiones V, VI, VII, VIII, IX y Metropolitana. Según los datos del censo del 2002, en estas regiones habitan 12.202.858 personas, lo que representa el 79,5% de la población del país, de la cual un 86.5% es población urbana y un 11.4% es mayor de 60 años.

Las localidades visitadas se distribuyen a lo largo y a lo ancho del territorio nacional logrando una cobertura casi completa de la zona de daños del terremoto como se aprecia en la Figuras 1 y 2. En la Tabla 1 se indican los pueblos y ciudades visitadas destacando la provincia a la cual pertenecen.



**Figura 1. Localidades visitadas entre Santiago y Linares**

No se visitaron los pueblos ubicados al pie de la Cordillera de Los Andes debido a que por su lejanía a la zona de ruptura del evento en ellos no hubo daños reportados. Tampoco se visitaron los pueblos ubicados a lo largo de la costa que se vieron afectados por el maremoto debido a que en ellos resulta muy difícil identificar los daños causados en los edificios sólo por el movimiento del suelo, información fundamental para determinar el grado de intensidad sísmica.



**Figura 2. Localidades visitadas entre Linares y Contulmo.**

La intensidad sísmica se determina a partir de los daños que produce el terremoto en las viviendas del tipo unifamiliar de uno y dos pisos usando el método propuesto por Monge y Astroza (1989), el cual se basa en la escala de intensidades MSK-64 (Medvedev et al., 1964). Con este propósito, los daños en estas viviendas se clasifican de acuerdo con la escala de daños usada por la escala de intensidad sísmica MSK-64, la cual reconoce 6 grados, cuya descripción se entrega en la Tabla 2.

## **2. EDIFICIOS REVISADOS Y DAÑOS OBSERVADOS**

En la zona existe un número importante de viviendas de adobe y de albañilería de ladrillo cerámico cuya estructura resistente está constituida por muros los cuales se ubican de preferencia por el exterior, existiendo un número reducido de ellos por el interior de la vivienda. Las características de estas viviendas se describen a continuación.

### **2.1 Viviendas de adobe**

#### **2.1.1 Características**

Durante la inspección se pudo comprobar que este tipo de vivienda es mayoritariamente de un piso y se construye con unidades de barro hechas a mano secadas al

aire libre fabricadas con una mezcla de tierra arcillosa y paja, las que se unen con un mortero de barro fabricado con la misma mezcla usando un aparejo de cabeza o sogá. El resultado es una albañilería de baja resistencia muy degradable con el tiempo en la medida que no se proteja de la humedad.

La estructura resistente de estas construcciones está compuesta por muros con una altura de piso que puede variar entre 2.5 a 4 metros. Las alturas mayores se encuentran en las viviendas con más de 70 años, muchas de ellas reconstruidas después de los terremotos de 1928 y 1939. La existencia de ellas ha hecho que algunas localidades de la VI y VII Región han sido declaradas “zonas típicas”.

De acuerdo con el aparejo usado en la construcción del muro, el espesor del muro puede ser de 60 cm o 30 cm.

Los refuerzos de las aberturas de puertas y ventanas sólo son dinteles construidos con piezas de madera que penetran por lo menos entre 40 cm y 60 cm en el muro. No existen elementos de refuerzo vertical en torno de las aberturas.

Los espacios interiores de la vivienda se distribuyen usando tabiques divisorios de 15 cm a 20 cm de espesor formados por un bastidor de madera arriostrado con piezas diagonales y rellenos con unidades de adobe colocadas de panderete. Tanto los tabiques como los muros se revisten con un estuco de barro o cemento con un espesor que varía entre 3 cm y 5 cm. Este estuco se caracteriza por una mala adherencia con la cara del muro sobre la cual se coloca.

La techumbre de estas viviendas está formada por vigas o cerchas de madera cubiertas por tejas de arcilla (“teja pierna”) o planchas metálicas. Las tejas se caracterizan por su peso, del orden de 3 kilos, y por estar colocadas sobre un entablado en una capa de barro sin amarrar lo que favorece su corrimiento. En algunos casos la techumbre se extiende más allá del plano de los muros exteriores formando un corredor techado con lo cual se protegen los muros de las lluvias, evitando la degradación de los adobes con la humedad. La terminación por el interior de estas techumbres es un “cielo” construido con tablas de madera clavadas a las cerchas de la techumbre o a las vigas dispuestas con ese propósito. Muchas veces este “cielo” se cubre por el interior de la techumbre con una capa de barro para lograr aislación térmica.

Las fundaciones sobre las que se ubican los muros son del tipo corrido o continuo y están construidas con piedra o ladrillos unidos con morteros de barro, de cal o de cemento. Estos cimientos sobresalen del nivel del suelo con el propósito de aislar el muro de la humedad del suelo.

Otra característica de estas viviendas de adobe, es la nula o débil unión entre los elementos que forman el sistema estructural, es decir la unión entre los muros, entre los muros y los tabiques divisorios y entre la techumbre y los muros. Como consecuencia de esto, el sistema estructural no tiene “integridad global”.

Además del déficit destacado, se pudo comprobar que las viviendas de adobe se construyen sin ningún tipo de refuerzo que permita conservar la “integridad local” de los muros una vez que se produce su agrietamiento.

La falta de integridad global y local produce inevitablemente el colapso parcial o total de la vivienda. El colapso de los muros y el derrumbe de las techumbres produjeron algunas víctimas.

En la Figura 3 se muestran viviendas de adobe de la zona visitada.



*Vivienda de adobe en Lolol*



*Vivienda de adobe en Marchigüe*



*Vivienda de adobe en Marchigüe*



*Vivienda de adobe en Paredones*

### **Figura 3. Viviendas de adobe**

En relación con los detalles de construcción de este tipo de vivienda, en muchos casos los antepechos de las ventanas se construyen en una etapa posterior al muro sin unirlos, esto representa una junta de construcción la cual se manifiesta con un agrietamiento vertical del estuco a ambos lados de la abertura de la ventana. Detalles como éste y otros se muestran en la Figura 4.

La mantención de estas viviendas es escasa, lo que hace que los daños sean mayores especialmente en viviendas abandonadas o habitadas por personas de bajos ingresos. Estos daños se deben al mal estado en que se encuentran las piezas de madera que forman los dinteles sobre las aberturas, las cerchas o vigas de la techumbre, el bastidor de los tabiques

divisorios y los pilares de los corredores, por efecto de la humedad y del ataque de las termitas. Las instalaciones eléctricas o las bajadas de agua mal construidas también generan zonas debilitadas.



*Dintel de madera sobre abertura de ventana*



*Tabique divisorio*



*Apoyo cercha de madera sobre tabique divisorio*



*Detalle antepecho de ventana*

**Figura 4. Detalles de construcción de las viviendas de adobe**

### **2.1.2 Daños en las viviendas de adobe**

Los daños en las viviendas de adobe se deben principalmente a la escasa integridad global, y se manifiestan como grietas verticales en el encuentro de muros y vaciamiento parcial o total de los muros fuera de su plano, agrietamiento del tabique en su encuentro con los muros y vaciamiento o daño local del muro por falta de un elemento que sirva de apoyo de la techumbre e impida que los efectos de la vibración de la techumbre se traspasen directamente al muro.

Otro aspecto que es destacable al analizar el origen de los daños, es la mala adherencia entre el estuco y el muro de adobe, lo que produce el desprendimiento de grandes trozos de estuco, especialmente cuando su espesor es importante. Esta situación, aún cuando no

compromete al sistema estructural, genera inseguridad en los habitantes de la vivienda, declarándose inhabitable lo que significa que en muchos casos termina demoliéndose.

En la Figura 5 se muestran algunos de los daños observados en las viviendas de adobe de las localidades visitadas. Entre paréntesis se indica el grado de daño de acuerdo a la Tabla 2.



*Desprendimiento de estuco (G2) en Lolol.*



*Grietas verticales en encuentro de muros (G2) en Peralillo.*



*Grietas diagonales en muro (G3) en Pichidegua.*



*Colapso de más de un muro (G5) en Peralillo*

**Figura 5. Daños en viviendas de adobe**

## **2.2 Viviendas de albañilería**

En la zona visitada se encuentra un número importante de viviendas de albañilería construidas principalmente con ladrillos cerámicos de fabricación artesanal o hechos a máquina. La mayor parte de ellas se han construido los últimos 30 años por sus propietarios o por empresas constructoras cuando se trata de viviendas que cuentan con financiamiento de algún programa habitacional.

Estas viviendas se caracterizan por tener algún tipo de refuerzo sin cumplir muchas veces con las limitaciones recomendadas por las normas chilenas de diseño y cálculo

(NCh2123, 2003, NCh1928, 2003). A pesar de ello, los refuerzos colocados permiten garantizar la integridad global del sistema estructural reduciendo su vulnerabilidad si se compara con las viviendas de adobe.

### **2.2.1 Viviendas de albañilería sin refuerzo**

Estas viviendas se construyeron la primera mitad del siglo pasado y por lo mismo sólo se encuentran en las capitales regionales de las regiones visitadas. Las principales características de estas viviendas son las siguientes:

- a. Muros contruidos con ladrillos cerámicos hechos a mano a la vista, dispuestos en un aparejo de cabeza o de sogá y unidos con un mortero de cal o cemento.
- b. El espesor de los muros que forman el sistema estructural es de 40 cm o 20 cm según el aparejo usado y su altura varía entre los 3m y 4 m.
- c. Los dinteles de los vanos de puertas y ventanas son vigas rectas de hormigón armado o bien arcos de albañilería contruidos con unidades dispuestas en forma vertical.
- d. Los encuentros de muros se unen trabando las hiladas, unión que es más ineficiente en la medida que aumenta el espesor de los muros.
- e. Las fundaciones corresponden a cimientos corridos de hormigón con bolón desplazador y sobrecimiento de hormigón o de albañilería para aislar el muro de la humedad del suelo.
- f. La techumbre está formada por cerchas o vigas de madera cubierta con tejas de arcilla las cuales se amarran a los listones de madera sobre los que se colocan o con planchas metálicas que se clavan a costaneras de madera.
- g. Los cielos interiores están contruidos con tablas clavadas a la cuerda inferior de las cerchas.
- h. Los tabiques divisorios de los espacios interiores están contruidos con una estructura de madera rellena con adobes recubierta con un estuco de barro y cemento (polvillo). Estos tabiques no se unen a los muros que forman la estructura resistente.
- i. Uso de antetechos, tímpanos y muros cortafuego de albañilería sin refuerzo.

En la Figura 6 se muestran algunos ejemplos de estas construcciones.



*Vivienda en Santiago*



*Vivienda en Santiago*



*Vivienda en Santiago*



*Vivienda en Linares*

**Figura 6. Viviendas de albañilería sin refuerzo**

***Daños en las viviendas de albañilería sin refuerzo***

Al igual que en las viviendas de adobe, los daños en este tipo de vivienda se deben principalmente a la debilidad de la unión entre los muros y a la falta de un elemento que sirva de apoyo de la techumbre y que impida que la acción inercial de la techumbre se transmita directamente al muro. Por lo anterior, en este tipo de vivienda uno de los daños más observados es el agrietamiento en el encuentro entre muros y las grietas en los muros bajo el cielo cuando hay una viga de apoyo de la techumbre que rodee completamente la vivienda.

En la Figura 7 se muestran algunos de los daños observados en este tipo de vivienda.



*Caída de antetecho (G3) en Santiago*



*Grieta en encuentro de muros (G2) en Santiago*



*Caída de parte de un muro (G4) en Angol.*



*Caída de dos muros (G5) en Parral.*

**Figura 7. Daños en viviendas de albañilería sin refuerzo.**

### 2.2.2 Viviendas de albañilería confinada

La mayor parte de estas viviendas son de uno y dos pisos y cuentan con refuerzos de hormigón armado que rodean los paños de albañilería sin cumplir muchas veces con las limitaciones que establece la norma de diseño y cálculo de edificios de albañilería confinada, especialmente en lo relacionado con los refuerzos de aberturas. Esta situación se produce debido a que en la mayoría de los casos estas viviendas han sido construidas por sus propietarios sin asesoría técnica.

Las principales características de estas viviendas son las siguientes:

- j. Muros están contruidos con ladrillos cerámicos hechos a mano a la vista, dispuestos en un aparejo de sogá y unidos con un mortero de cemento o de cemento y cal.
- k. El espesor de los muros que forman el sistema estructural es de 15 cm o 20 cm y su altura es del orden de 2.5 m.
- l. Existe una cadena de hormigón armado sobre todos los muros la que forma un emparrillado continuo con uniones rígidas sobre el cual se apoya la techumbre y que a su vez sirve de dintel en la zona de los vanos de puertas y ventanas.
- m. Los encuentros de muros se unen trabando las hiladas, unión que es más eficiente por el espesor de los muros, o bien a través del pilar de confinamiento que se coloca en estos encuentros.
- n. Las fundaciones corresponden a cimientos corridos de hormigón con bolón desplazador y un sobrecimiento de hormigón para aislar el muro de la humedad del suelo.
- o. La techumbre está formada por cerchas o vigas de madera cubierta con planchas metálicas clavadas a las costaneras de madera sobre las que se colocan.
- p. Los cielos interiores están contruidos con planchas de yeso o tablas de madera.
- q. Los tabiques divisorios de los espacios interiores son del tipo liviano y están contruidos con un bastidor de madera revestidos con planchas de yeso o cemento de un espesor menor que 10 cm.
- r. Uso de tímpanos y muros cortafuego de albañilería con o sin refuerzo.

El uso de elementos de refuerzo es una cualidad destacable ya que con ello se logra que la estructura tenga integridad global y local una vez que se produce el agrietamiento de los paños de albañilería. Esto es efectivo en la medida que no se presenten defectos en los empalmes y anclajes de las armaduras de los elementos de hormigón armado que se usan como refuerzo y en el tratamiento de las juntas de construcción de los elementos de confinamiento.

En la Figura 8 se muestran algunos ejemplos de estas construcciones.



*Vivienda en Chanco*



*Vivienda en Ñipas*



*Vivienda en Quirihue*



*Vivienda en Pichidegua*

**Figura 8. Viviendas de albañilería confinada.**

### ***Daños de las viviendas de albañilería confinada***

A diferencia de las viviendas de adobe y albañilería sin refuerzo, los daños en este tipo de vivienda se deben principalmente a la mala calidad de la albañilería y/o a la falta de refuerzos en torno de las aberturas. Por lo anterior, en este tipo de vivienda el daño más observado es el agrietamiento en los muros bajo el nivel del cielo.

En la Figura 9 se muestran algunos de los daños observados en este tipo de vivienda.



*Agrietamiento antetecho (G2) en Cauquenes*



*Agrietamiento típano (G2) en Cauquenes*



*Grietas diagonales en muro (G3) en  
Cauquenes*



*Caída de parte de un muro y grieta en zona  
crítica del pilar (G5) en un edificio de 3 pisos  
en Cauquenes.*

**Figura 9. Daños en viviendas de albañilería confinada**

### **3. INTENSIDADES SISMICAS EN LA ZONA DE DAÑOS**

Para determinar la intensidad sísmica se usa la relación entre la distribución de los diferentes grados de daño de la Tabla 2 y la intensidad sísmica para las clases A y C de vulnerabilidad. Esta relación se detalla en la Tabla 3 (Monge y Astroza, 1989); los porcentajes de la Tabla 3 corresponden a los valores recomendados por Kárník et al. (1984).

Esta metodología ha sido utilizada tanto en Chile como en otros países en los últimos 40 años, aceptando que las viviendas de adobe pertenecen a la Clase A de vulnerabilidad, las viviendas de albañilería sin refuerzo a la Clase B de vulnerabilidad y las viviendas de albañilería con refuerzo a la Clase C de vulnerabilidad (Monge y Astroza, 1989).

Las intensidades en las 98 localidades visitadas se determinaron por inspección visual de los daños de una muestra de viviendas de adobe y albañilería confinada ubicadas en un sector vecino a la plaza de armas de cada localidad por lo cual el valor estimado es representativo de las condiciones locales del sector revisado. Las intensidades sísmicas que resultan al aplicar el método se indican en la Tabla 4.

Por lo anterior se debe tener en cuenta que el valor estimado de la intensidad sísmica puede sufrir variaciones al cambiar de sector producto de los cambios de las condiciones locales relacionadas con la profundidad del nivel freático, especialmente cuando éste se ubica a menos de 10 m (Medvedev, 1965), y con el origen y grado de consolidación de los depósitos sobre los que se encuentra ubicada la ciudad respectiva.

Además se debe destacar que en la determinación de la intensidad sísmica no se consideraron los daños en los sectores donde se produjo licuación, asentamiento (rellenos artificiales no controlados) y deslizamiento de laderas de cerros. Estas situaciones se observaron en las localidades de Retiro, Constitución, Concepción, Yungay, Curalinahue y Arauco, entre otras.

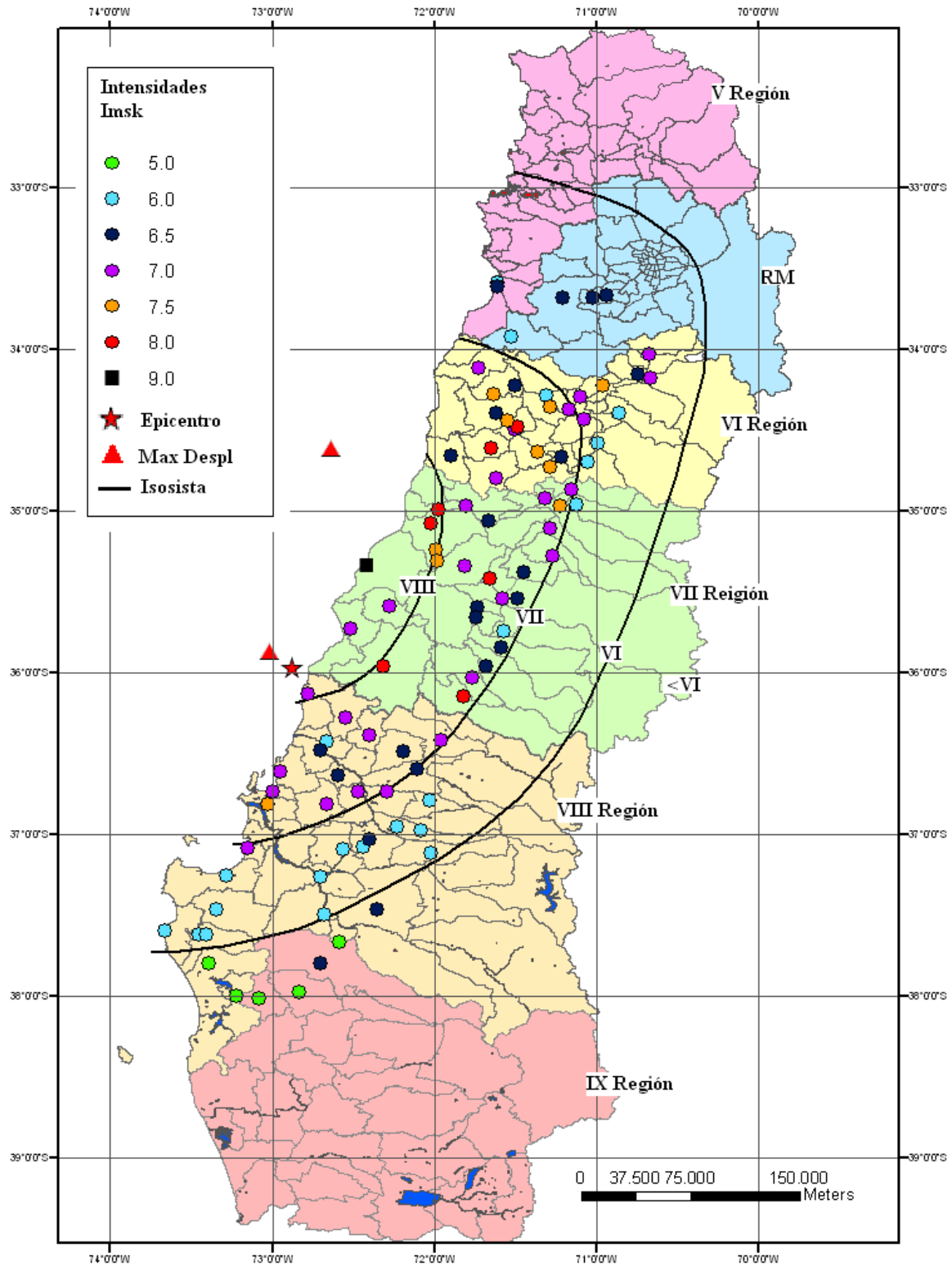
Los valores estimados en las ciudades de Santiago ( $I_{MSK}=6.5$ ) y Concepción ( $I_{MSK}=7.5$ ) se deben analizar considerando que corresponden al sector nor-poniente de la comuna de Santiago y al sector comprendido entre las calles Manuel Rodríguez, Angol, Cruz y Rengo de Concepción. Teniendo en cuenta la microzonificación sísmica de estas dos ciudades, estos valores variarán en otros sectores de estas ciudades como se observó en los terremotos del 3 de marzo de 1985 en Santiago (Astroza et al., 1989, Astroza y Monge, 1991) y del 21 de mayo de 1960 en Concepción (Oppliger, 1968). En particular para la ciudad de Santiago se ha iniciado un estudio para cuantificar estas variaciones teniendo en cuenta los daños producidos por el terremoto del 27 de febrero de 2010.

En la Figura 10 se muestran las intensidades de la Tabla 4 y las curvas isosistas que se pueden trazar con estas intensidades. Estas isosistas representan las intensidades en un suelo Tipo II según la clasificación de la norma NCh433 (1996) y por ello su forma es regular al no considerarse los efectos beneficiosos o desfavorables que produce en los daños la presencia de otro tipo de suelo, por ejemplo roca o depósitos de cenizas volcánicas. En relación con esto último, se debe destacar que la alta intensidad en la ciudad de Talca y de Parral ( $I_{MSK}= 8.0$ ) se puede deber a la presencia de depósitos de cenizas volcánicas (Morales y Sapaj, 1996), como ocurrió durante el terremoto de 1985 en sectores ubicados sobre este tipo de depósitos en la ciudad de Santiago (Astroza et. al., 1989).

En la Figura 10 se observa que las localidades con la intensidad sísmica más alta se encuentran en la VI y VII Región, zona en la cual habita el 11,2% de la población de Chile, y que 5 de las 7 localidades con una intensidad igual a 8 grados están en la VII Región. Con la información reunida se comprueba que la longitud de la zona donde se produce una intensidad sísmica de 8 grados es del orden de 240 km, ubicándose aproximadamente entre las latitudes 34,5° Sur y 36,5° Sur.

De acuerdo con la Figura 10, la zona de daños del terremoto ( $I_{MSK} \leq 6.0$ ) se extiende aproximadamente entre el paralelo 33,5 ° y 38° de latitud sur, lo que representa una zona con una longitud del orden de 500 km. Además se observa que el daño se atenúa rápidamente hacia el sur del epicentro, lo que es consecuencia de que la ruptura del contacto entre la placa de Nazca y Sudamericana se produjo mayoritariamente hacia el norte del epicentro como se muestra en la Figura 11.

Es interesante destacar que el área de daños del terremoto del 27 de febrero del 2010 corresponde en su parte norte al área de daños del terremoto del 3 de marzo de 1985, la cual se extendió hasta la ciudad de Cauquenes (Menéndez, 1991,) y en su parte sur, al área de daños del terremoto del 21 de Mayo de 1960, la cual se extendió aproximadamente hasta la misma ciudad (Lazo, 2008). Esta situación podría significar que algunas construcciones estuviesen dañadas y ello podría explicar el número de localidades de la VI Región con una intensidad de 7.5 grados, especialmente aquellas ubicadas al oeste del meridiano 71.5° Oeste.



Universidad de Chile  
M. Astroza - S. Ruiz

Figura 10. Intensidades e isosistas en la zona de daños del terremoto del 27 de febrero de 2010.

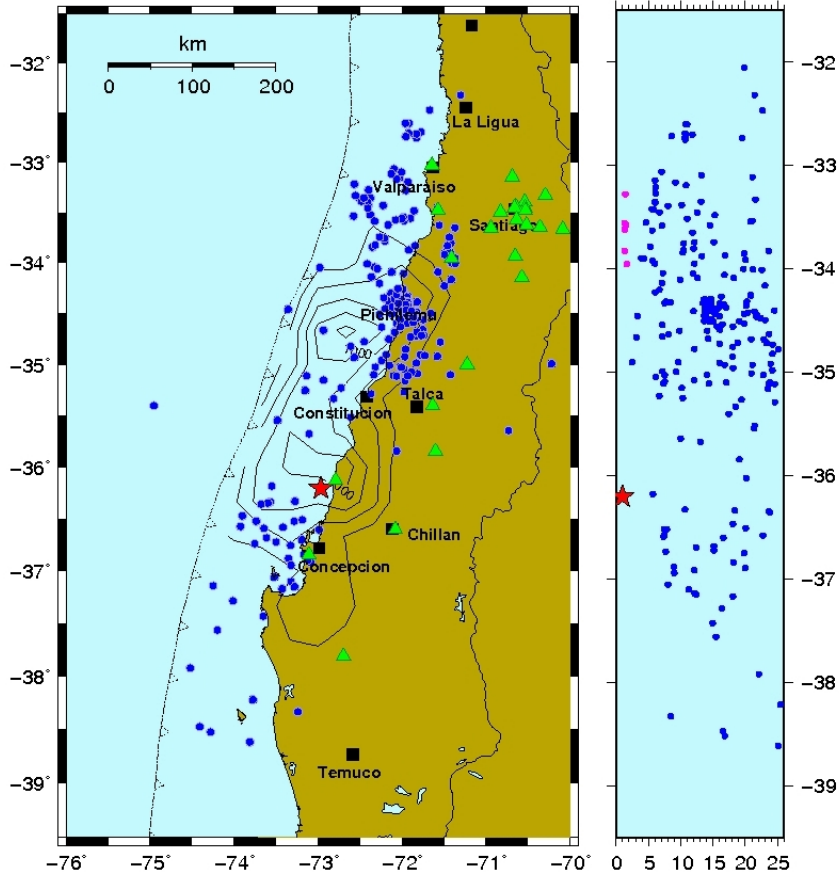


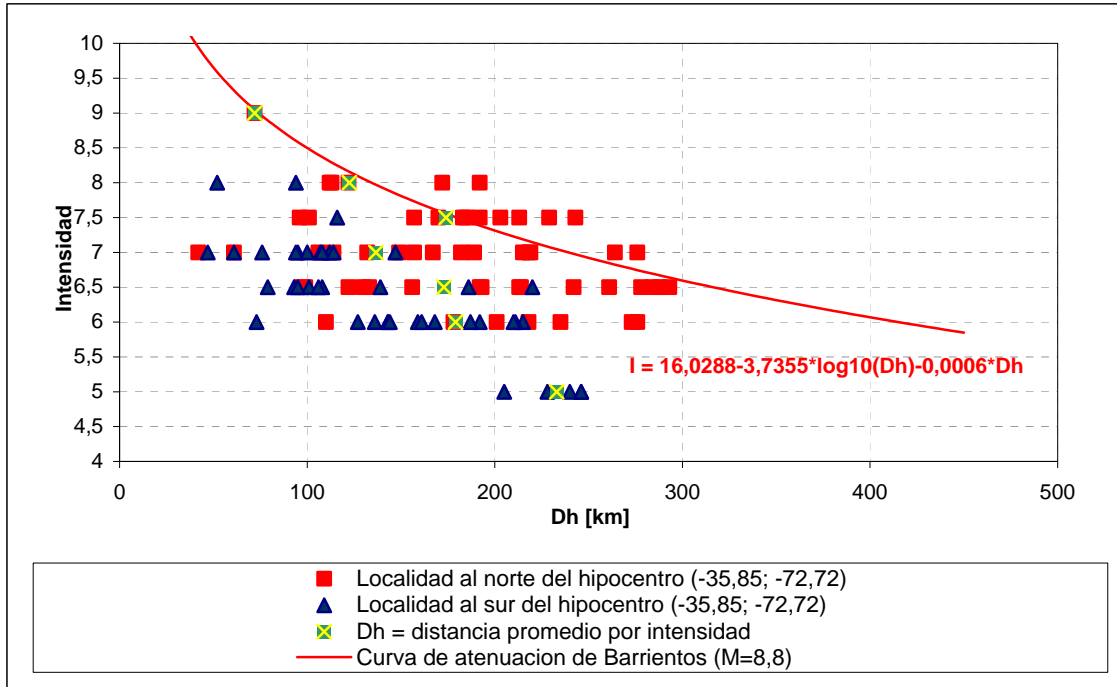
Figura 11. Ubicación de réplicas y de las zonas de máximo deslizamiento del área de ruptura del terremoto del 27/02/2010, basado en datos publicados por el USGS en NEIC.usgs.gov (Servicio Sismológico, 2010.).

#### 4. ATENUACIÓN DE LAS INTENSIDADES

La atenuación de las intensidades se analiza considerando la distancia al hipocentro para lo cual se usan los parámetros focales de la Tabla 5 y la distancia a la aspereza más próxima para lo cual se usa la ubicación de las zonas de máximo deslizamiento de la Figura 11.

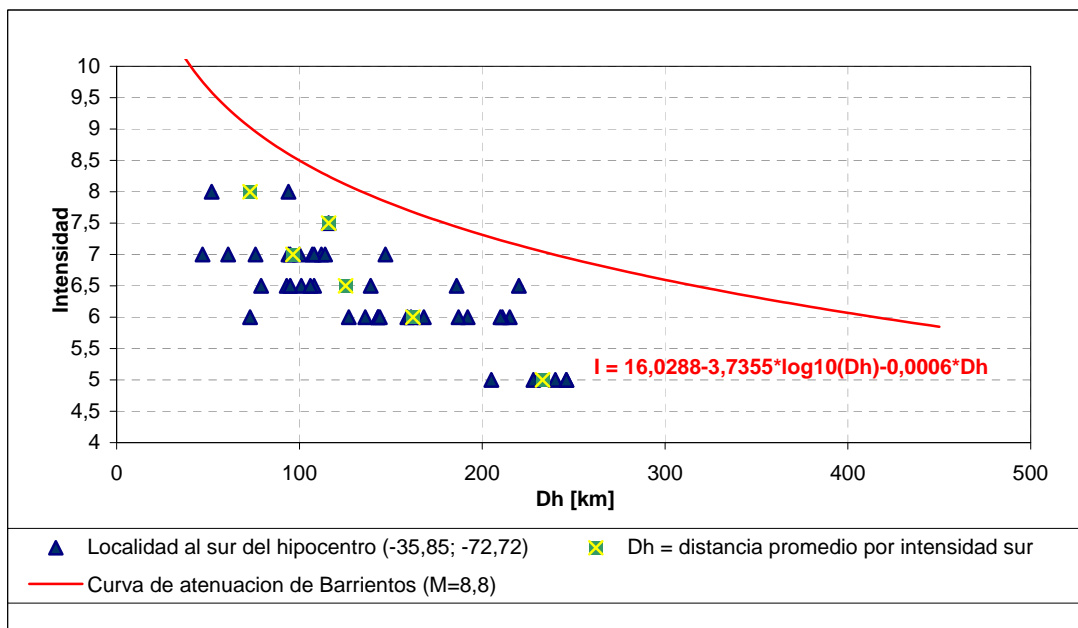
##### 4.1 Atenuación de las intensidades con la distancia al hipocentro

En la Figura 12 se grafican las intensidades sísmicas de la Tabla 4 en función de la distancia al hipocentro, junto con ellas se dibuja la curva de atenuación de la intensidad sísmica que se obtiene al usar la ecuación propuesta por Barrientos (1980) para una magnitud  $M_w = 8.8$  grados. De la Figura 12 se observa que la fórmula propuesta por Barrientos sobreestima las intensidades iguales o menores que 7.0 grados al usar la distancia al hipocentro promedio por intensidad.

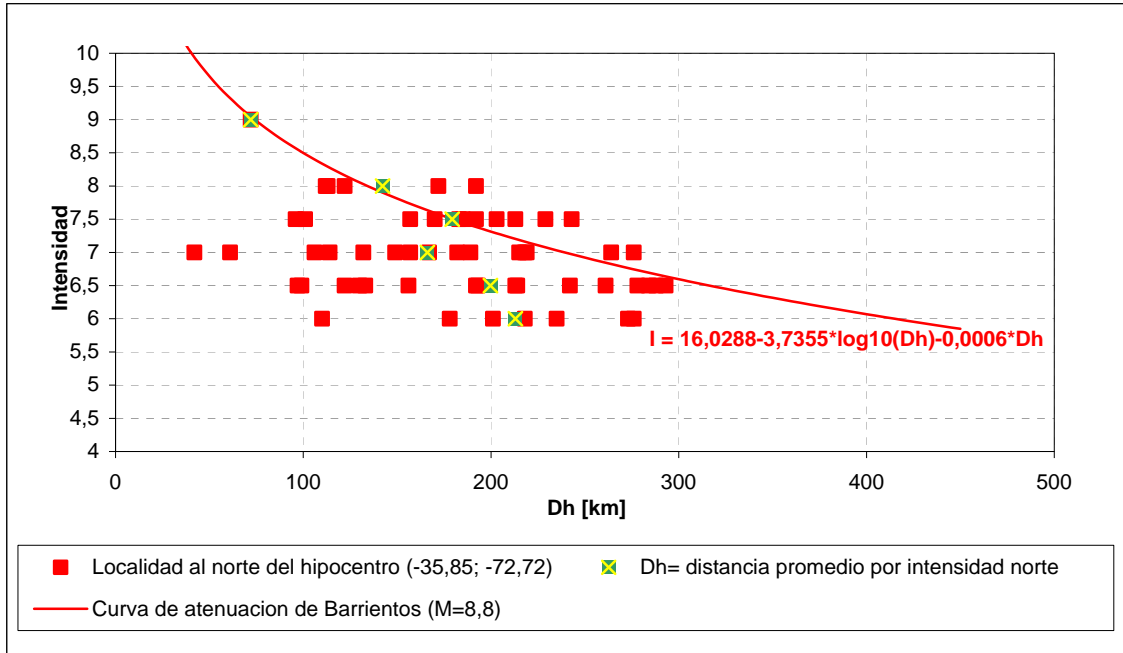


**Figura 12. Atenuación de las intensidades sísmicas del terremoto del 27 de febrero con respecto a la distancia al hipocentro.**

Al graficar las intensidades sísmicas separando las localidades ubicadas al sur y al norte del hipocentro se obtienen las Figuras 13 y 14, observándose que la atenuación de la intensidad sísmica de las localidades ubicadas al sur del hipocentro es mayor que la observada en las localidades ubicadas al norte del hipocentro.



**Figura 13. Atenuación de las intensidades sísmicas de las localidades ubicadas al sur del hipocentro.**



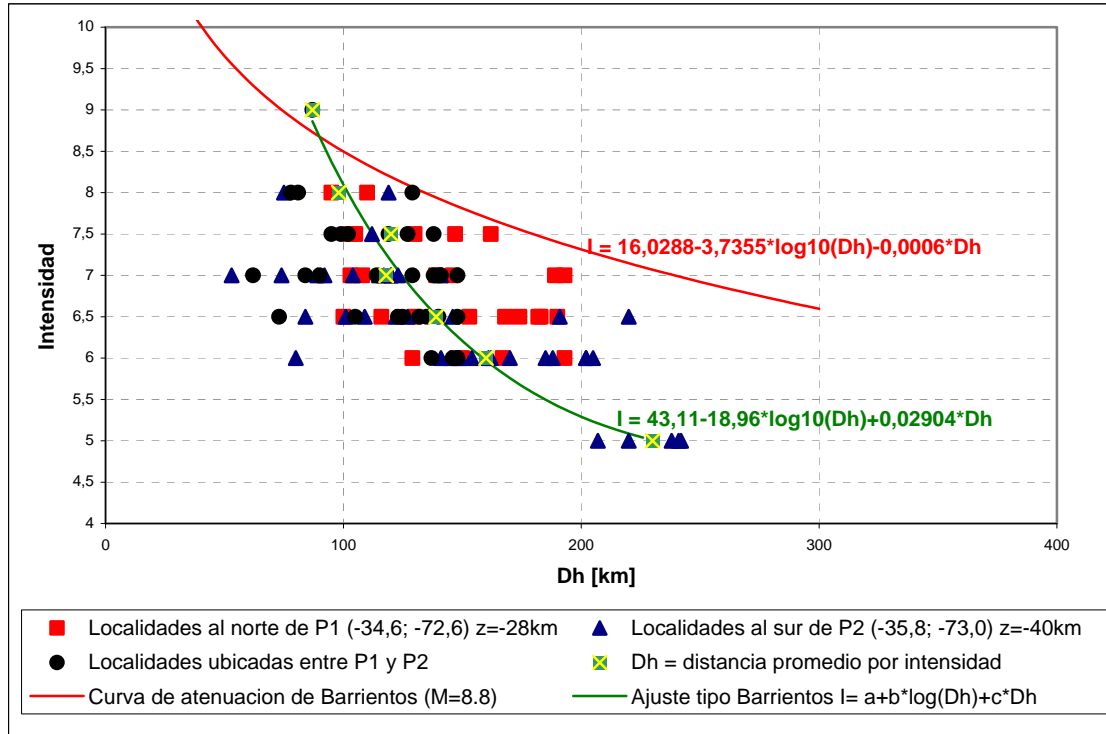
**Figura 14. Atenuación de las intensidades sísmicas de las localidades ubicadas al norte del hipocentro.**

#### 4.2 Atenuación de las intensidades con la distancia a la aspereza más próxima

Teniendo en cuenta que la ruptura del contacto entre placas no es puntual sino que es un área dentro de la cual el deslizamiento no se distribuye de forma uniforme sino que se concentra en zonas definidas como “asperezas”, se estudió la atenuación de las intensidades sísmicas midiendo la distancia del lugar a la “aspereza” más próxima.

Para determinar la ubicación de las “asperezas” se usa la información de la Figura 11 (S.S., 2010), considerando que la ubicación de los puntos asociados a la zona de máximo deslizamiento del área de ruptura del contacto entre las placas (Puntos P1 y P2 en la Figura 10) es la indicada en la Tabla 6.

La atenuación de las intensidades sísmicas del terremoto del 27 de febrero del 2010 con respecto a la distancia a estas asperezas se muestra en la Figura 15. De la Figura 15 se comprueba que para este “megasismo” ( $M_w = 8.8$ ) el uso de la distancia a la aspereza más próxima disminuye la dispersión de las distancias asociadas a los distintos valores de la intensidad.



**Figura 15. Atenuación de las intensidades sísmicas con respecto a la distancia a la aspereza más próxima**

Al ajustar una ecuación del tipo:  $I = A + B \cdot \log_{10}(D_h) + C \cdot D_h$  por los puntos que representan la distancia a la aspereza más próxima promedio para un valor dado de la intensidad sísmica, la ecuación que se obtiene para el terremoto del 27 de febrero del 2010 es la siguiente:

$$I_{27-02-2010} = 43.11 - 18.96 \cdot \log_{10}(D_h) + 0.02904 \times D_h \quad (\text{Ec. 1})$$

Al comparar la curva de atenuación obtenida con la fórmula propuesta por Barrientos (1980) utilizando como variable la distancia promedio a la aspereza más próxima, se comprueba que la ecuación de Barrientos entrega una menor atenuación de la intensidad a medida que el punto de observación se aleja de la aspereza más próxima.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile por otorgar los recursos económicos para realizar la campaña de terreno necesaria para determinar las intensidades sísmicas del terremoto del 27 de febrero del 2010. Igualmente se agradece la colaboración de los coautores de este informe con quienes se intercambiaron opiniones y apreciaciones sobre los daños y efectos observados durante la inspección.

Especialmente se agradece al Dr. Sergio Barrientos P. la revisión de este informe.

## 6. REFERENCIAS

Astroza, M., J. Monge y J. Varela, 1989, *Zonificación sísmica de la Región Metropolitana*, 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Volumen 1, Santiago, Chile, Agosto, pp 493-503.

Astroza, M. y J. Monge, 1991, *Seismic microzones in the city of Santiago. Relation damage-geological unit*, Proceedings Fourth International Conference on Seismic Zonation, Volume III, Stanford, California, USA, pp 595- 601.

Barrientos S., 1980, *Regionalización Sísmica de Chile*, Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Geofísica, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Kárník V., Z. Schenková and V. Schenk, 1984, *Vulnerability and the MSK Scale*, Engineering Geology, 20, pp 161-168.

Lazo R, 2008, *Estudio de los daños de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Medvedev, S., Sponheur, W., Karnik, V., 1964, *Neu Seismische Skala*, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Heft 77, Akademie Verlag.

Medvedev S.V., 1965, *Engineering Seismology*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.

Menéndez P., 1991, *Atenuación de las intensidades del sismo del 3 de marzo de 1985 en función de la distancia a la zona de ruptura y del tipo de suelo*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Monge J. y M. Astroza, 1989, *Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños*, 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol. 1, Santiago, Chile, pp 483-492.

Morales D. y R. Sapaj, 1996, *Riesgo Sísmico de las ciudades de Curicó, Molina, Talca, San Clemente, Constitución, Linares, San Javier, Parral y Cauquenes*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

NCh433, 1996, *Norma Chilena NCh433, Diseño sísmico de edificios*, Primera Edición, Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile.

NCH2123, 2003, *Norma Chilena NCh2123.Modificada en 2003, Albañilería confinada-Requisitos de diseño y cálculo*, Segunda Edición, Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile.

NCh1928, 2003, *Norma Chilena NCh1928. Modificada en 2003, Albañilería armada-Requisitos para el diseño y cálculo*, Segunda Edición, Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile.

Oppliger G. 1968, *Microregionalización sísmica de la ciudad de Concepción*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Servicio Sismológico, 2010, *Informe Técnico Terremoto Cauquenes 27 Febrero 2010*, Servicio Sismológico, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

**TABLA 1. Localidades visitadas**

<b>N°</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>N°</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>N°</b>	<b>PROVINCIA</b>
	<b>San Antonio</b>	37	La Huerta del Mataquito		<b>Concepción</b>
1	San Antonio	38	Licantén	76	Lota
2	Llolleo	39	Romeral	77	Penco
	<b>Talagante</b>	40	Molina	78	Tome
3	Talagante		<b>Talca</b>	79	Florida
4	El Monte	41	Talca	80	Concepción
	<b>Melipilla</b>	42	San Clemente		<b>Arauco</b>
5	Melipilla	43	Empedrado	81	Cañete
6	San Pedro	44	Constitución	82	Los Alamos
98	Pomaire	45	Galleco	83	Lebu
	<b>Cachapoal</b>	46	Curepto	84	Curanilahue
7	Codegua	47	Batuco	85	Arauco
8	Rancagua	48	Pencahue	86	Contulmo
9	Machali	49	Pelarco	87	Tres Pinos
10	Rengo	50	Cumpeo (Río Claro)		<b>Bio-Bio</b>
11	Reguinoa		<b>Linares</b>	88	Cabrero
12	Doñihue	51	Linares	89	General Cruz
13	Coltauco	52	Longaví	90	Yumbel
14	Las Cabras	53	Retiro	91	Laja
15	Peumo	54	Parral	92	Nacimiento
16	San Vicente de Tagua Tagua	55	San Javier	93	Los Angeles
17	Pichidegüa	56	Bobadilla		<b>Malleco</b>
18	San José de Marchihue	57	Villa Alegre	94	Angol
19	Las Pataguas	58	Yerbas Buenas	95	Renaico
	<b>Colchagua</b>		<b>Cauquenes</b>	96	Los Sauces
20	San Fernando	59	Chanco	97	Purén
21	Chimbarongo	60	Cauquenes		
22	Peralillo		<b>Nuble</b>		
23	Población	61	Cobquecura		
24	Pumanque	62	Quirihue		
25	Lolol	63	Trehuaco		
26	Santa Cruz	64	Coelemu		
27	Chepica	65	San Ignacio		
28	Nancagua	66	Ranquil - Ñipas		
	<b>Cardenal Caro</b>	67	Chillan		
29	Marchihue	68	Quillón		
30	Esperanza	69	Bulnes		
31	Paredones	70	Pemuco		
32	Litueche	71	Yungay		
	<b>Curico</b>	72	Monteaguila		
33	Curicó	73	Ninhue		
34	Teno	74	San Nicolás		
35	Rauco	75	San Carlos		
36	Hualañe				

**Tabla 2: Clasificación de los daños**

<b>Grado</b>	<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
<b>G0</b>	<i>Sin daño</i>	No hay daño de ningún tipo
<b>G1</b>	<i>Daños Leves</i>	<i>Grietas finas en estucos. Caída de pequeños trozos de estuco.</i>
<b>G2</b>	<i>Daños Moderados</i>	Grietas horizontales en antetechos, tímpanos chimeneas. Grietas pequeñas en los muros bajo el nivel del cielo. Grietas verticales en encuentro de muros. <i>Caída de grandes trozos de estuco. Corrimientos de tejas. Grietas en las chimeneas e incluso derrumbes parciales en las mismas.</i>
<b>G3</b>	<i>Daños Severos</i>	Grietas diagonales largas y profundas en los muros bajo el nivel del cielo. Grietas verticales en encuentro de muros con separación, indicando desaplomo. <i>Caída de antetechos, tímpanos o chimeneas. Grietas en tabiques divisorios.</i>
<b>G4</b>	<i>Destrucción Parcial</i>	Caída de un muro o parte de un muro bajo el nivel del cielo. <i>Tabiques divisorios y rellenos de la estructura se derrumban.</i>
<b>G5</b>	<i>Colapso</i>	Caída de más de un muro. Destrucción total del edificio.

**Tabla 3. Distribución del daño en función del grado de intensidad sísmica para cada clase de vulnerabilidad.**

<b>Grado de Intensidad</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>
5	5% Grado 1 95% Grado 0	100% Grado 0	100% Grado 0
6	5% Grado 2 50% Grado 1 45% Grado 0	5% Grado 1 95% Grado 0	100% Grado 0
7	5% Grado 4 50% Grado 3 35% Grado 2 10% Grado 1	50% Grado 2 35% Grado 1 15% Grado 0	50% Grado 1 50% Grado 0
8	5% Grado 5 50% Grado 4 35% Grado 3 10% Grado 2	5% Grado 4 50% Grado 3 35% Grado 2 10% Grado 1	5% Grado 3 50% Grado 2 35% Grado 1 10% Grado 0
9	50% Grado 5 35% Grado 4 15% Grado 3	5% Grado 5 50% Grado 4 35% Grado 3 10% Grado 2	5% Grado 4 50% Grado 3 35% Grado 2 10% Grado 1
10	75% Grado 5 25% Grado 4	50% Grado 5 35% Grado 4 15% Grado 3	5% Grado 5 50% Grado 4 35% Grado 3 10% Grado 2
11	100% Grado 5	75% Grado 5 25% Grado 4	50% Grado 5 50% Grado 4

Tabla 4. Intensidades estimadas en las localidades visitadas

N°	PROVINCIA	I <sub>MSK</sub>	N°	PROVINCIA	I <sub>MSK</sub>	N°	PROVINCIA	I <sub>MSK</sub>
	<b>San Antonio</b>		37	La Huerta del Mataquito	<b>6.5</b>		<b>Concepción</b>	
1	San Antonio	<b>6.0</b>	38	Licantén	<b>8.0</b>	76	Lota	<b>7.0</b>
2	Llolleo	<b>&lt; 7.0</b>	39	Romeral	<b>6.0</b>	77	Penco	<b>7.0</b>
	<b>Talagante</b>		40	Molina	<b>7.0</b>	78	Tome	<b>7.0</b>
3	Talagante	<b>6.5</b>		<b>Talca</b>		79	Florida	<b>7.0</b>
4	El Monte	<b>6.5</b>	41	Talca	<b>8.0</b>	80	Concepción	<b>7.5</b>
	<b>Melipilla</b>		42	San Clemente	<b>6.5</b>		<b>Arauco</b>	
5	Melipilla	<b>6.5</b>	43	Empedrado	<b>7.0</b>	81	Cañete	<b>5.0</b>
6	San Pedro	<b>6.5</b>	44	Constitución	<b>9.0</b>	82	Los Alamos	<b>6.0</b>
98	Pomaire	<b>6.5</b>	45	Gualleco	<b>7.5</b>	83	Lebu	<b>6.0</b>
	<b>Cachapoal</b>		46	Curepto	<b>8.0</b>	84	Curanilahue	<b>6.0</b>
7	Codegua	<b>6.0</b>	47	Batuco	<b>7.5</b>	85	Arauco	<b>6.0</b>
8	Rancagua	<b>6.5</b>	48	Pencahue	<b>7.0</b>	86	Contulmo	<b>5.0</b>
9	Machali	<b>7.0</b>	49	Pelarco	<b>6.5</b>	87	Tres Pinos	<b>6.0</b>
10	Rengo	<b>7.0</b>	50	Cumpeo	<b>7.0</b>		<b>Bio-Bio</b>	
11	Requínoa	<b>6.0</b>		<b>Linares</b>		88	Cabrero	<b>6.5</b>
12	Doñihue	<b>7.5</b>	51	Linares	<b>6.5</b>	89	General Cruz	<b>6.0</b>
13	Coltauco	<b>7.5</b>	52	Longaví	<b>6.5</b>	90	Yumbel	<b>6.0</b>
14	Las Cabras	<b>6.0</b>	53	Retiro	<b>7.0</b>	91	Laja	<b>6.0</b>
15	Peumo	<b>7.0</b>	54	Parral	<b>8.0</b>	92	Nacimiento	<b>6.0</b>
16	San Vicente Tagua-Tagua	<b>7.0</b>	55	San Javier	<b>6.5</b>	93	Los Angeles	<b>6.5</b>
17	Pichidegüa	<b>7.5</b>	56	Bobadilla	<b>7.0</b>		<b>Malleco</b>	
18	San José Marchihue	<b>6.5</b>	57	Villa Alegre	<b>6.5</b>	94	Angol	<b>6.5</b>
19	Las Pataguas	<b>7.0</b>	58	Yerbas Buenas	<b>6.0</b>	95	Renaico	<b>5.0</b>
	<b>Colchagua</b>			<b>Cauquenes</b>		96	Los Sauces	<b>5.0</b>
20	San Fernando	<b>6.5</b>	59	Chanco	<b>7.0</b>	97	Purén	<b>5.0</b>
21	Chimbarongo	<b>6.0</b>	60	Cauquenes	<b>8.0</b>			
22	Peralillo	<b>8.0</b>		<b>Ñuble</b>				
23	Población	<b>7.5</b>	61	Cobquecura	<b>7.0</b>			
24	Pumanque	<b>8.0</b>	62	Quirihue	<b>7.0</b>			
25	Lolol	<b>7.5</b>	63	Trehuaco	<b>6.0</b>			
26	Santa Cruz	<b>7.5</b>	64	Coelemu	<b>6.5</b>			
27	Chepica	<b>7.5</b>	65	San Ignacio	<b>6.0</b>			
28	Nancagua	<b>6.5</b>	66	Ranquil - Nipas	<b>6.5</b>			
	<b>Cardenal Caro</b>		67	Chillan	<b>6.5</b>			
29	Marchihue	<b>6.5</b>	68	Quillón	<b>7.0</b>			
30	Esperanza	<b>7.5</b>	69	Bulnes	<b>7.0</b>			
31	Paredones	<b>6.5</b>	70	Pemuco	<b>6.0</b>			
32	Litueche	<b>7.0</b>	71	Yungay	<b>6.0</b>			
	<b>Curico</b>		72	Monteaguila	<b>6.0</b>			
33	Curicó	<b>7.5</b>	73	Ninhue	<b>7.0</b>			
34	Teno	<b>7.0</b>	74	San Nicolás	<b>6.5</b>			
35	Rauco	<b>7.0</b>	75	San Carlos	<b>7.0</b>			
36	Hualañe	<b>7.0</b>						

**Tabla 5: Parámetros focales del hipocentro del sismo del 27 de febrero del 2010 (Según NEIC).**

Latitud Sur	35.85°
Longitud Oeste	72.72°
Profundidad	35 km
Magnitud	8.8 M <sub>W</sub>

**Tabla 6. Ubicación de las asperezas de la zona de ruptura del contacto entre las placas.**

<b>Aspereza</b>	<b>Latitud (°)</b>	<b>Longitud (°)</b>	<b>Profundidad (km)</b>
<b>P1</b>	34.62	72.63	28
<b>P2</b>	35.87	73.01	40