

**INFORME DE AVANCE  
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD  
DEL  
HOSPITAL SAN MARTIN DE QUILLOTA**

**RESUMEN**

El presente informe de avance corresponde a la primera entrega del estudio de Vulnerabilidad Física del Hospital San Martín de Quillota.

En esta etapa se han realizado los puntos 1 y 2 del proyecto a cargo de la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile, lo cual corresponde a:

1. Estimación básica del peligro sísmico de la región.
2. Estudio de los efectos de sismos severos en la región y en el hospital en particular.

Como resultado de esta etapa se ha determinado que el peligro sísmico de la región está asociado a la ocurrencia de eventos en la zona costera del país. Esto conlleva a una estimación de la magnitud máxima esperada de 8.5 grados de la escala de Richter y una intensidad máxima en la zona de Quillota de 8 en la escala de Mercalli Modificada. Esto implica que para el sismo máximo esperado se produzcan daños en la ciudad, especialmente en estructuras que no han sido diseñada adecuadamente para resistir sismos y se esperan pocos daños en aquella en la cuales se han tomado las precauciones necesarias a nivel estructural y no estructural.

En particular la estructura principal del hospital no ha sufrido daño estructural serio debido a sismos. Si se han detectado problemas recurrentes asociados al funcionamiento del hospital durante y después de eventos sísmicos severos.

## CAPITULO I

### ESTIMACION BASICA DEL PELIGRO SISMICO DE LA REGION

La sismicidad de la zona donde se ubica la ciudad de Quillota está determinada por una actividad sísmica costera relativamente superficial, ligada al movimiento de convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica.

La subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana genera sismos interplaca a lo largo del plano inclinado de contacto entre ambas placas (plano de Benioff), los que pueden llegar a tener una magnitud máxima de 8.5 (magnitud de Richter) en la medida que se ubiquen en la porción más superficial de la subducción, debido a que en esta zona existe un mayor acoplamiento entre las placas (Kausel et al., 1993). La figura 1.1 resume esquemáticamente la situación descrita.

Con la información de magnitud máxima esperada se puede estimar la intensidad máxima en la ciudad de Quillota. Para esto es necesario una relación entre intensidad y magnitud, apropiada a la zona. De un estudio de varias relaciones se determinó que la más apropiada es la fórmula de atenuación propuesta por Barrientos (1980), la que tiene la siguiente forma:

$$I(r) = a_1 M + a_2 \log r + a_3 r + a_4 \quad (1.1)$$

en que:

$I(r)$  = es la intensidad de Mercalli Modificada en el sitio ubicado a una distancia hipocentral  $r$ (km).

$M$  = es la magnitud de Richter.

$a_i$  = constantes, cuyos valores fueron determinados por Barrientos a partir de una base de datos de intensidades de sismos chilenos de acuerdo con criterios de mínimos cuadrados ( $a_1 = 1.3844$ ,  $a_2 = -3.7355$ ,  $a_3 = -0.0006$ ,  $a_4 = 3.8461$ ).

Esta fórmula permite cuantificar la intensidad del movimiento del suelo a una cierta distancia de las fuentes sísmicas, en función de la distancia hipocentral y otros parámetros de la fuente. Barrientos utilizó 73 sismos de los archivos del Departamento de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile para determinar la relación de atenuación, reuniendo 945 datos de intensidades referidos a la escala de Mercalli Modificada. La distancia entre el foco del sismo y el sitio en el cual se mide la intensidad, fue calculada de diferente manera dependiendo de la magnitud del evento. Para aquellos eventos cuya magnitud es inferior a 7.5 se consideró la distancia desde el hipocentro al sitio, en tanto que, para los eventos que poseen una magnitud igual o superior a 7.5, la distancia epicentral corresponde a la distancia desde el lugar en consideración hasta la traza de la falla proyectada en superficie. La dirección de esta proyección coincide con la máxima elongación de las curvas isosistas.

#### **Cálculo de la Intensidad Máxima:**

Como se indicó anteriormente, la zona de mayor acoplamiento interplaca a lo largo del plano de Benioff corresponde a la porción más superficial de la subducción, limitada al oeste por la fosa marina y alcanzando hacia el este hasta profundidades del orden de 40 Km siguiendo la pendiente del plano de Benioff (Kausel et al., 1993). Debido a que esta superficie de contacto está limitada en profundidad, al ancho de la superficie de ruptura de los sismos mayores debe extenderse hacia la fosa, lo que en promedio se traduce en un desplazamiento hacia el oeste del baricentro de la superficie de ruptura y por consiguiente del eje hipocentral medio.

Al aplicar la fórmula de Barrientos, la distancia hipocentral para la ciudad de Quillota se calcula asumiendo que el eje hipocentral para el sismo de magnitud máxima 8.5, se ubicará a 20 Km más al oeste que el eje hipocentral del sismo del 3 de marzo de 1985 y a la misma profundidad. Según Kausel et al. (1993), el eje hipocentral del sismo del 3 de marzo de 1985 es aproximadamente de dirección paralela a la costa y se ubica a una profundidad de 20 Km y pasa por los puntos  $32^{\circ}\text{S}$ ,  $72^{\circ}\text{W}$  y  $34^{\circ}\text{S}$ ,  $72,3^{\circ}\text{W}$ .

Teniendo en cuenta lo anterior, las intensidades que se obtienen al aplicar la ecuación 1.1 para la ciudad de Quillota, tanto para el sismo de magnitud máxima  $M=8.5$  como para el sismo del 3 de marzo de 1985 de magnitud 7.8, se entregan en la tabla 1.1

**Tabla 1.1 Intensidades para  $M=8.5$  y  $M=7.8$**

Magnitud	r (km)	I (M.M.)
7.8	83.77	7.41
8.5	102.96	8.03

Detalle de estos cálculos se entregan en el Anexo A de este informe.

La fórmula de Barrientos supone un suelo uniforme, el efecto local del suelo se puede estimar modificando la intensidad máxima. Para esto generalmente es aceptado que este efecto local se traduce en una variación de la intensidad, la cual es constante para cada unidad de suelo. Este criterio corresponde a una de las dos proposiciones hechas originalmente por Medvedev (1965) y ha sido seguido por Astroza y Monge (1991) y Cochrane y Schaad (1992).

La variación de intensidad para incluir el efecto del suelo se puede obtener en nuestro caso, comparando la intensidad calculada con la fórmula de Barrientos para las características del sismo del 3 de marzo de 1985, con la intensidad determinada a partir de los daños producidos por este terremoto, 7.0 Mercalli Modificada (Menendez, 1991). Al realizar este proceso se encuentra una diferencia igual a 0.41 grados.

Teniendo en cuenta que las intensidades reportadas por Menendez (1991) para la ciudad de Quillota, se obtuvieron eliminando las viviendas que presentaban daños por sismos anteriores, lo que produce necesariamente una disminución de la intensidad en esta ciudad para el sismo del 3 de marzo de 1985, se ha considerado prudente no corregir la intensidad máxima obtenida de la fórmula de Barrientos. Lo que da como

resultado una intensidad máxima esperada de 8 en la escala de Mercalli Modificada para la ciudad de Quillota.

Este valor se compara muy bien con las líneas isosistas para el sismo de magnitud 8.5 obtenidas por Kausel et al. (1993), como se aprecia en la figura 1.2.

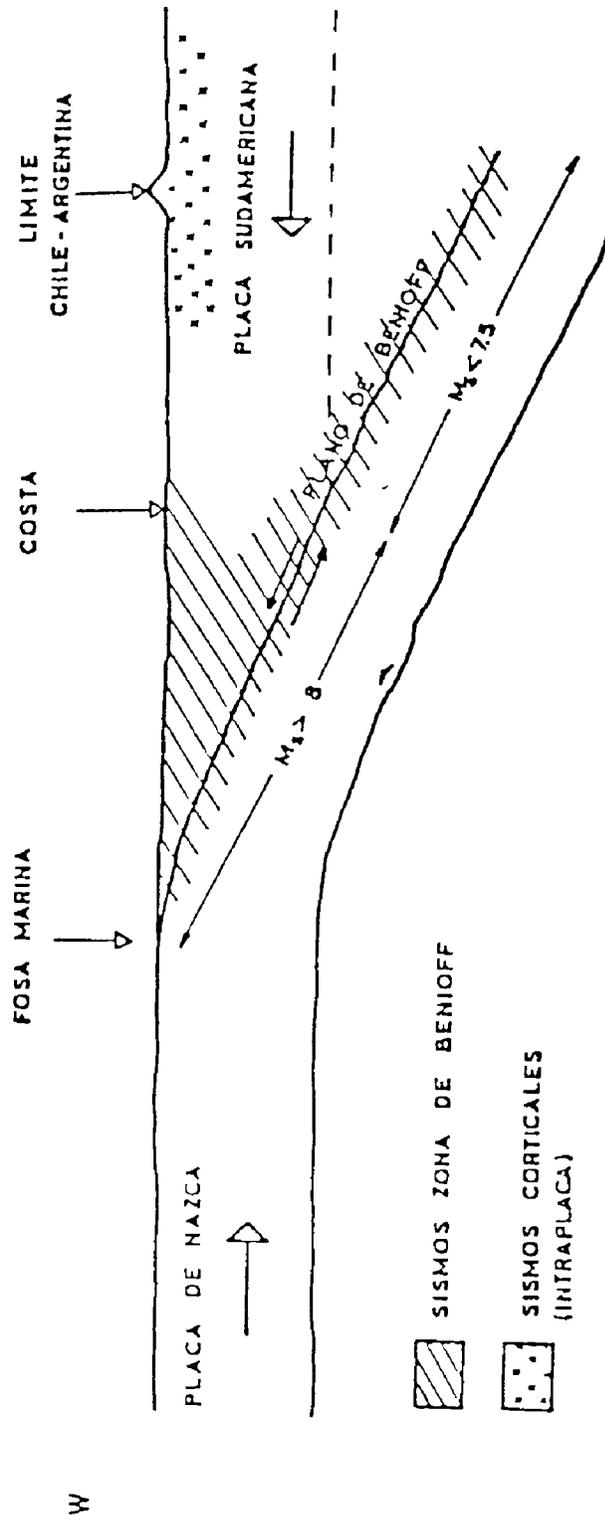


FIG. 1.1 SUBDUCCION ESQUEMATICA DE LA PLACA DE NAZCA BAJO LA PLACA SUDAMERICANA (KAUSEL ET AL., 1993).

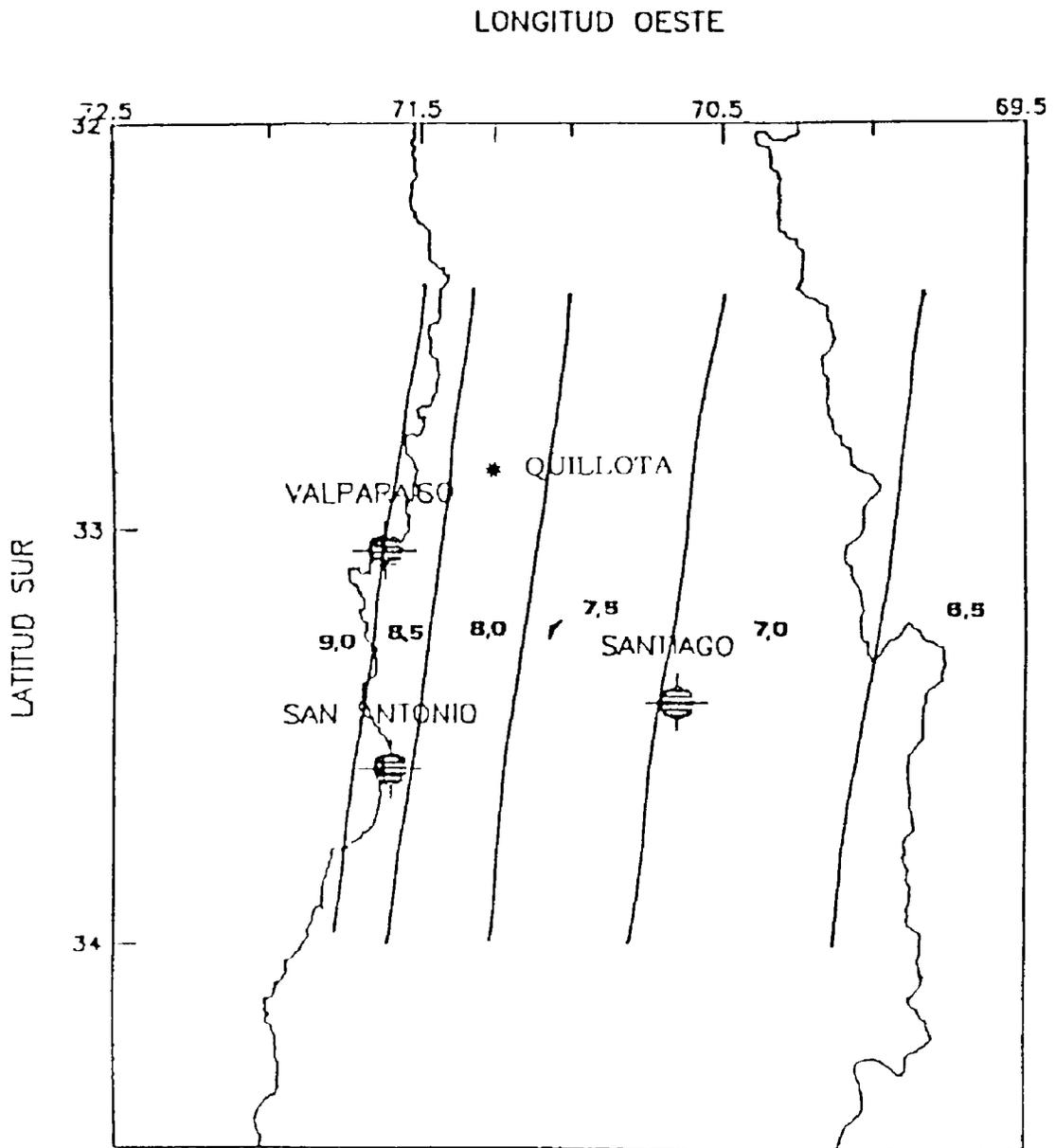


FIG. 1.2 SISMO MAXIMO  $M=8.5$   
 INTENSIDADES ESPERADAS (KAUSEL ET AL., 1993).

## CAPITULO II

### ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE SISMOS SEVEROS EN LA REGION Y EN EL HOSPITAL EN PARTICULAR

La ciudad de Quillota se ubica dentro de la zona central que ha sido azotada por grandes terremotos ubicados a lo largo de la costa y que han afectado la región comprendida desde Los Vilos hasta Constitución.

Los sismos ubicados en el tramo más superficial de la zona subducción, desde la fosa marina hasta profundidades de 40 Km, han alcanzado magnitudes de hasta 8.5 (Magnitud de Richter) y son los que han producido los mayores daños; en cambio los sismos más profundos raramente superan la magnitud 7 a 7.5, ver figura 1.1 (Kausel et al , 1993).

#### 2.1 Grandes sismos históricos

Los grandes sismos que han afectado la zona se indican en la tabla 2.1.

Dado que los sismos anteriores a 1906 no fueron registrados instrumentalmente, sus magnitudes estimadas por varios autores pueden estar erradas en más de un grado, (Kausel et al., 1993). La ubicación del epicentro y la longitud de ruptura de los sismos se indican en la figura 2.1.

**Tabla 2.1 Grandes sismos históricos (Kausel, 1986)**

Fecha	Magnitud $M_s$
13/05/1647	8.5
08/07/1730	8.75
19/11/1822	8.5
16/08/1906	8.3
03/03/1985	7.8

Los sismos ocurridos en el presente siglo y que han causado daños en la ciudad de Quillota, corresponden a aquellos de magnitud de Richter ( $M_s$ ) mayor o igual a 7.0, los que se detallan en la tabla 2.2. En la última columna de esta tabla, se indica la distancia epicentral de la ciudad de Quillota para cada uno de estos eventos.

**Tabla 2.2: Sismos ocurridos en el presente siglo (Ceresis, 1985).**

Fecha	Lat. S.	Long. W	Prof. (km)	$M_s$	d (km)
16/08/1906	33.00	72.00	25	8.3	71.43
18/03/1931	32.50	72.00	--	7.1	81.25
13/09/1945	33.25	70.50	100	7.1	81.90
28/03/1965	32.42	71.10	68	7.1	51.60
08/07/1971	32.51	71.21	40	7.5	39.84
16/10/1981	33.15	73.10	18	7.2	174.93
03/03/1985	33.08	71.72	36.2	7.8	49.74

Las isosistas de algunos de estos sismos se muestran en las figuras 2.2 a 2.7. La distribución de intensidades indicada en estas figuras es global, dentro de cada zona puede haber diferencias debido a la geología local y a las características del suelo.

## **2.2 Intensidades y daños en la ciudad de Quillota.**

A continuación se entrega la información sobre la intensidad y los daños reportados en la ciudad de Quillota en sismos que han ocurrido durante el presente siglo. No obstante la descripción de daños se concentra en el presente siglo, la estimación de la intensidad máxima esperada en la ciudad de Quillota considera la historia sísmica de la región (desde 1647 al presente).

### **2.2.1 Sismo del 16 de Agosto de 1906.**

La descripción más completa de los efectos de este sismo en la ciudad de Quillota ha sido hecha por Montessus de Ballore (1915). En función de los daños ocasionados, Montessus de Ballore establece un grado de intensidad IX en la escala de Mercalli-Cancani, el cual equivale a un grado VIII de la escala de Mercalli-Modificada según Menendez (1991). En el anexo B se detalla la escala de Mercalli Modificada y la relación entre las escalas de intensidad mencionadas en este informe.

De acuerdo con la descripción realizada por Montessus de Ballore, la ciudad de Quillota está construida sobre un terreno relativamente sólido lo que disminuye el nivel de daño en los edificios. Los daños mayores, en edificios públicos y particulares, los atribuye en "parte a su mala construcción y al empleo de materiales mediocres".

Montessus de Ballore destaca que cerca del cerro Mayaca, los daños fueron mucho menores, en particular las casas de la calle Merced sufrieron mucho menos. En la figura 2.7 se indica la ubicación de esta calle.

### **2.2.2 Sismo del 28 de Marzo de 1965**

Varela, J. y Vicencio, A. (1965), determinaron las intensidades del sismo en diferentes ciudades afectadas por el sismo, con este propósito analizaron los daños en las construcciones de albañilería, las que fueron catalogadas de acuerdo con la escala descrita por Richter (1958). De acuerdo con la información recogida en la ciudad de Quillota, estos autores establecen una intensidad Mercalli Modificada igual a VII.

El valor obtenido resalta el efecto local de suelo, que en el caso de Quillota produce una reducción en la intensidad. Esto se comprueba al revisar la ubicación de la ciudad de Quillota en el mapa de isosistas del sismo 28 de marzo de 1965, figura 2.3.

Del informe de daños en algunas estructuras, preparado por el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (1965), es conveniente destacar que no se reportan daños en edificios de hormigón armado ubicados en la ciudad de Quillota, sólo se destaca en este informe los daños de un estanque para agua potable ubicado sobre un edificio de hormigón armado, el cual se muestra en la figura 2.8. El estanque se apoya sobre muros de albañilería, daños de este tipo también se observaron en la ciudad de Santiago en edificios ubicados en la población J.A. Ríos, al norte del río Mapocho donde la intensidad alcanzó valores del orden de VII (Cerna, 1970). Los daños de estos estanques se atribuyen a las amplificaciones del movimiento en el nivel superior de los edificios, lo que hace necesario incrementar los coeficientes sísmicos de diseño o bien realizar un análisis dinámico, lo cual no estaba considerado en la norma vigente en la época.

### **2.2.3 Sismo del 8 de Julio 1971.**

No se disponen de antecedentes específicos de la ciudad de Quillota para este sismo. En el informe preparado por los investigadores de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (1972), sólo se ha considerado la ciudad de La Calera ubicada al Norte de Quillota. De la visita realizada a esta ciudad y de acuerdo con los daños observados, se estimó un grado de intensidad igual a VII de la escala Mercalli Modificada. Teniendo en cuenta que la ciudad de La Calera está más cerca del epicentro de este sismo y que en sismos anteriores, como el de 1906, la intensidad ha sido mayor que en Quillota en un grado (Menendez, 1991), aún estando más distante del epicentro, se concluye que en Quillota el grado de intensidad durante el sismo del 8/7/1971 debió ser del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada.

### **2.2.4 Sismo del 3 de Marzo de 1985.**

Por corresponder a uno de los sismos de gran magnitud con epicentro costa afuera frente a Valparaíso, cuya secuencia de ocurrencia mantiene un período de

recurrencia extremadamente regular,  $82 \pm 6$  años (Kausel, 1986); sus efectos han sido estudiados en forma detallada.

Entre los estudios de los efectos del sismo se destacan las publicaciones: "El sismo del 3 de Marzo 1985-Chile", Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, la que fue auspiciada por Acero Comercial S.A., "Lecciones del Sismo del 3 de Marzo de 1985", publicado por el Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón y "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" (Menendez, 1991). Este último es un resumen de un estudio detallado de los daños observados y del grado de intensidad en sectores de ciudades y localidades rurales en toda la zona afectada por el sismo del 3 de marzo de 1985 (Illapel a Parral), los datos provienen de 42 memorias de título de Ingeniería Civil realizadas en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

De acuerdo con este último estudio, los grados de intensidad en diferentes sectores de la ciudad de Quillota variaron entre 6.5 y 7.0 grados. Nuevamente se presentó el menor daño en el sector del cerro Mayaca (Menendez, 1991).

Las intensidades se determinaron a partir de la estadística de daños de las viviendas de adobe utilizando la escala de MSK. En la base de datos no se consideraron las viviendas que presentaban daños en el momento de ocurrir el sismo de 1985, esta decisión puede representar una disminución del grado de intensidad lo que debe considerarse al analizar la información disponible de la intensidad en Quillota durante el sismo de 1985.

### **2.3 Estudio de Daños en el Hospital San Martín de Quillota.**

Desde el inicio de actividades, el Hospital San Martín de Quillota ha sido sometido a una serie de sismos. Los eventos de mayor relevancia son los ocurridos el 28 de Marzo de 1965, el 8 de Julio de 1971 y el 3 de Marzo de 1985.

Como paso inicial para el estudio de daños se solicitó al personal encargado del Hospital un recuento de las experiencias sísmicas.

De acuerdo a información proporcionada por la Sub-Directora Médica, Dra. Alma Vidales, no existe un recuento escrito de daños sísmicos sufridos (o la ausencia de los mismos) en el Hospital. Por este motivo se decidió obtener esta información a través de inspección ocular y de entrevistas al personal hospitalario que ha estado en el hospital durante la ocurrencia de los sismos severos. Los contactos con el personal se realizaron con la cooperación del director del centro hospitalario Dr. Francisco Acevedo y la Dra. Alma Vidales. El siguiente es un resumen de los puntos más relevantes tratados.

### **2.3.1 Entrevistas al personal sobre daño sísmico**

(Preliminar. Estas entrevistas se ampliarán en la medida que se entreviste a un espectro más amplio del personal)

Personal	Iris Morales : Encargada de Personal.
Entrevistado	Rosa Maturana: Auxiliar de servicios, pabellones, alimentos, banco sangre. Mercedes Ortiz: Encargada de Farmacia. Fernando Espinoza: Enfermero. Encargado de Emergencias.

Durante su estadía en el Hospital el personal ha estado en varias dependencias.

#### **2.3.1.1 Sismo de 1965.**

Durante el sismo de 1965 recuerdan que prácticamente no ocurrieron daños, o si los hubo no fueron de gran importancia. Los mayores daños se localizaron en la zona de farmacia, bodega y archivos:

**Farmacia:**

Se cayeron varios envases, lo cual provocó inconvenientes por derrames de líquidos y olores. A pesar de esto, la farmacia pudo recuperar gran parte de su funcionamiento en pocas horas.

**Archivos:**

Se produjo la caída de estantería y de parte de las fichas de pacientes. En ese momento eran aproximadamente 30.000 fichas. Gracias a que las fichas cayeron en paquetes fue posible volverlas a colocar en orden en menos de 1 día.

**Bodega:**

Hubo problemas pero no se recuerdan específicamente.

Existió problemas con el suministro de electricidad y de agua potable. No se poseía en esos momentos grupo electrógeno.

No hubo problemas en la zona de pabellones o cocina.

En general el hospital pudo funcionar normalmente después del sismo incluso se atendió a los pacientes regulares.

**2.3.1.2 Sismo de 1971.**

No hay datos específicos, sin embargo se indica que ocurrieron problemas similares a los presentados en 1965.

**2.3.1.3 Sismo de 1985.**

Se repiten los problemas de los sismo anteriores, concentrándose los daños en Farmacia y Archivos.

Farmacia:

Nuevamente se caen varios recipientes con distintas sustancias (líquidos, medicinas). Sin embargo el daño no impidió el funcionamiento de la misma.

Adicionalmente se reportan los siguientes daños:

- Rompimiento de la losa inferior de un estanque de agua. No es claro cual y las características del daño.
- Se caen algunas luces y coberturas de luces.
- Hay problemas con el suministro de electricidad.
- Existe desplazamientos del sistema de Rayos X, ya que no se encuentra fijo al piso.
- No existe problemas en el sector de Calderas.

### **2.3.2 Observaciones Generales**

La visión general del personal entrevistado es que "el Hospital antiguo es muy seguro". No recuerdan que haya ocurrido o tengan información de ningún daño serio producido por sismos.

Es muy importante recalcar las múltiples observaciones hechas por el personal en el sentido de que el comportamiento de la estructuras y servicios del hospital durante sismos es muy adecuado. La percepción generalizada es que la estructura es muy fuerte

y segura y que por tanto, según indican, poca gente huye durante un sismo y que en todo caso el hospital vuelve rápidamente a la normalidad. Esta visión del personal es muy conveniente ya que implica una seguridad personal y permite la rápida puesta en marcha de planes de emergencia y funcionamiento del sistema.

### **2.3.3 Inspección Estructural Preliminar**

Mediante una visita de inspección se observó que la estructura principal del Hospital no presenta evidencias de daños serios producidos por sismos.

**"El documento original presenta algunas figuras en mal estado"**

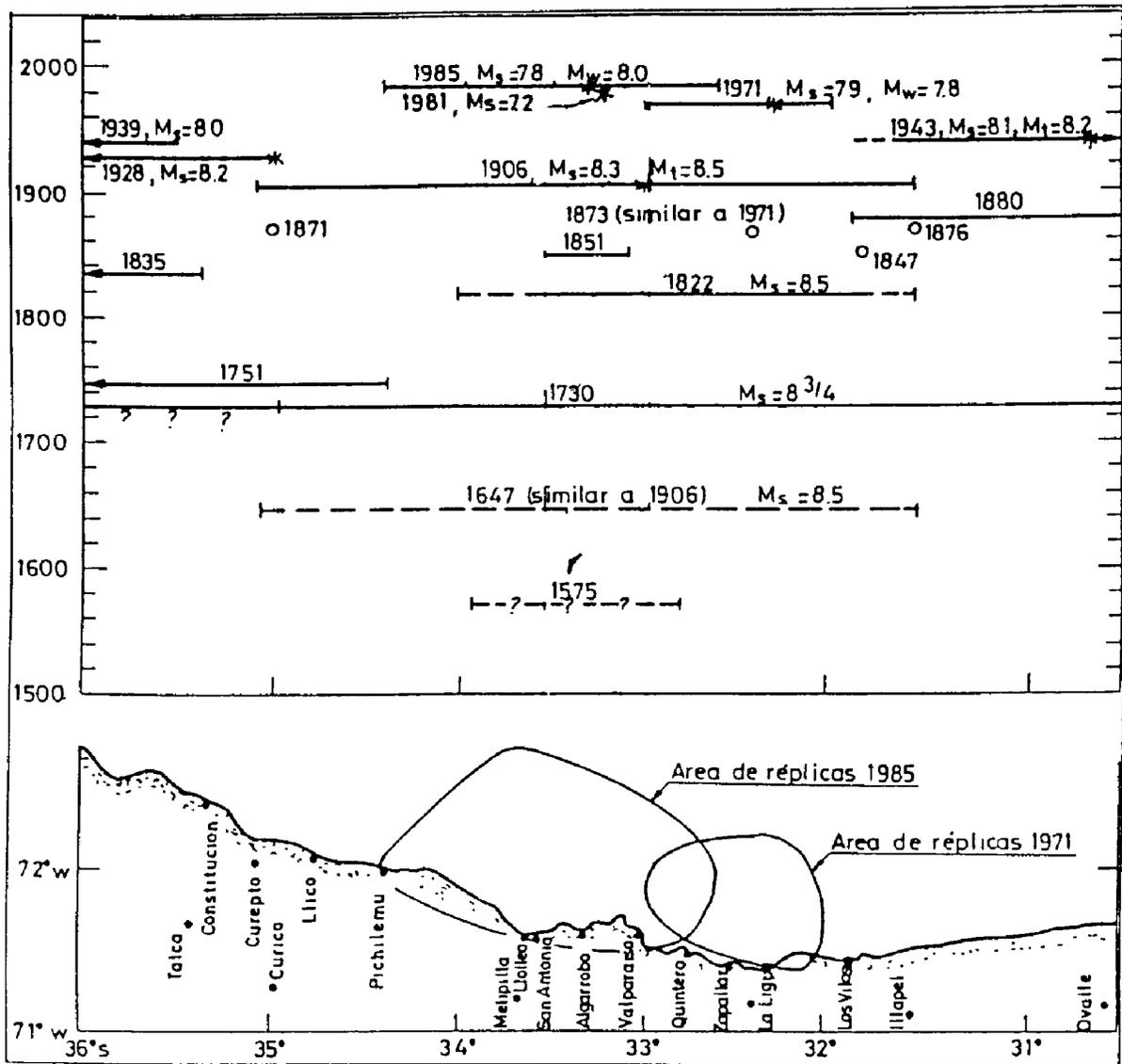


FIG. 2.1 UBICACION DEL EPICENTRO Y LONGITUD DE RUPTURA DE LOS GRANDES SISMOS HISTORICOS (KAUSEL, 1985).



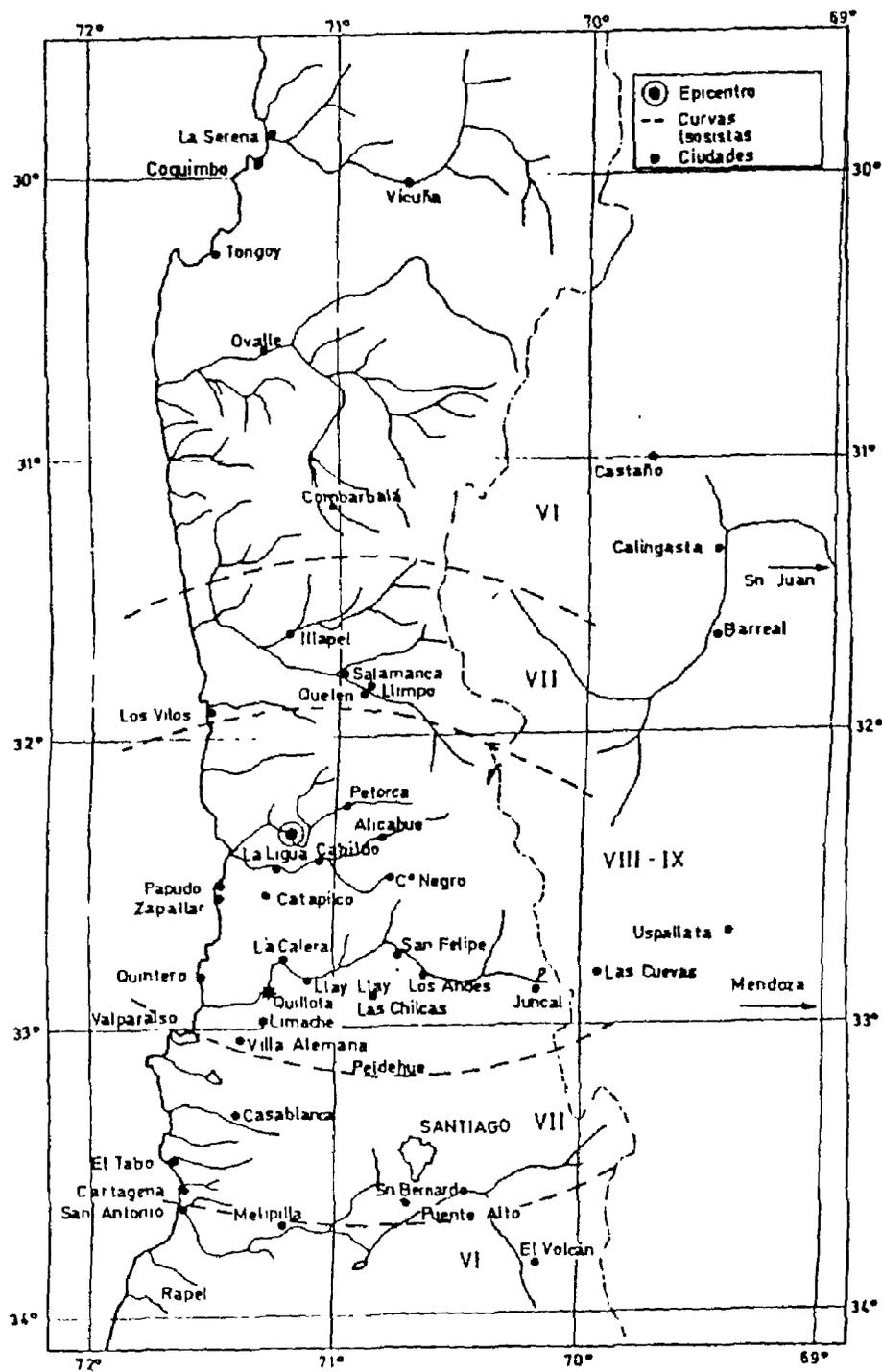


FIG. 2.3 ISOSISTAS DEL SISMO DEL 28 DE MARZO DE 1965.  
(J. MONCE ET AL., 1965).

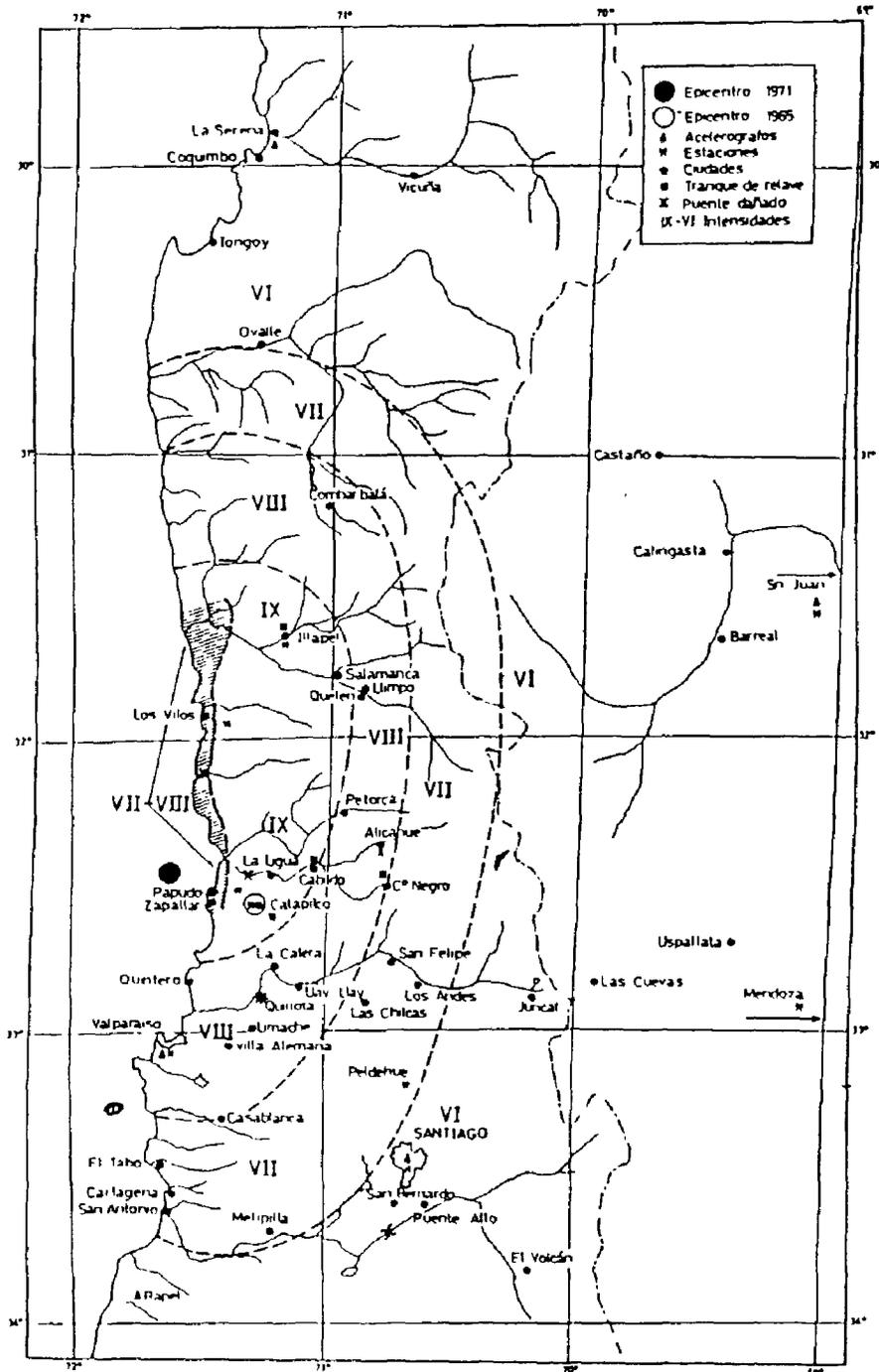


FIG. 2.4 ISOSISTAS DEL SISMO DEL 8 DE JULIO DE 1971 (R. LASTRICO ET AL., 1972).

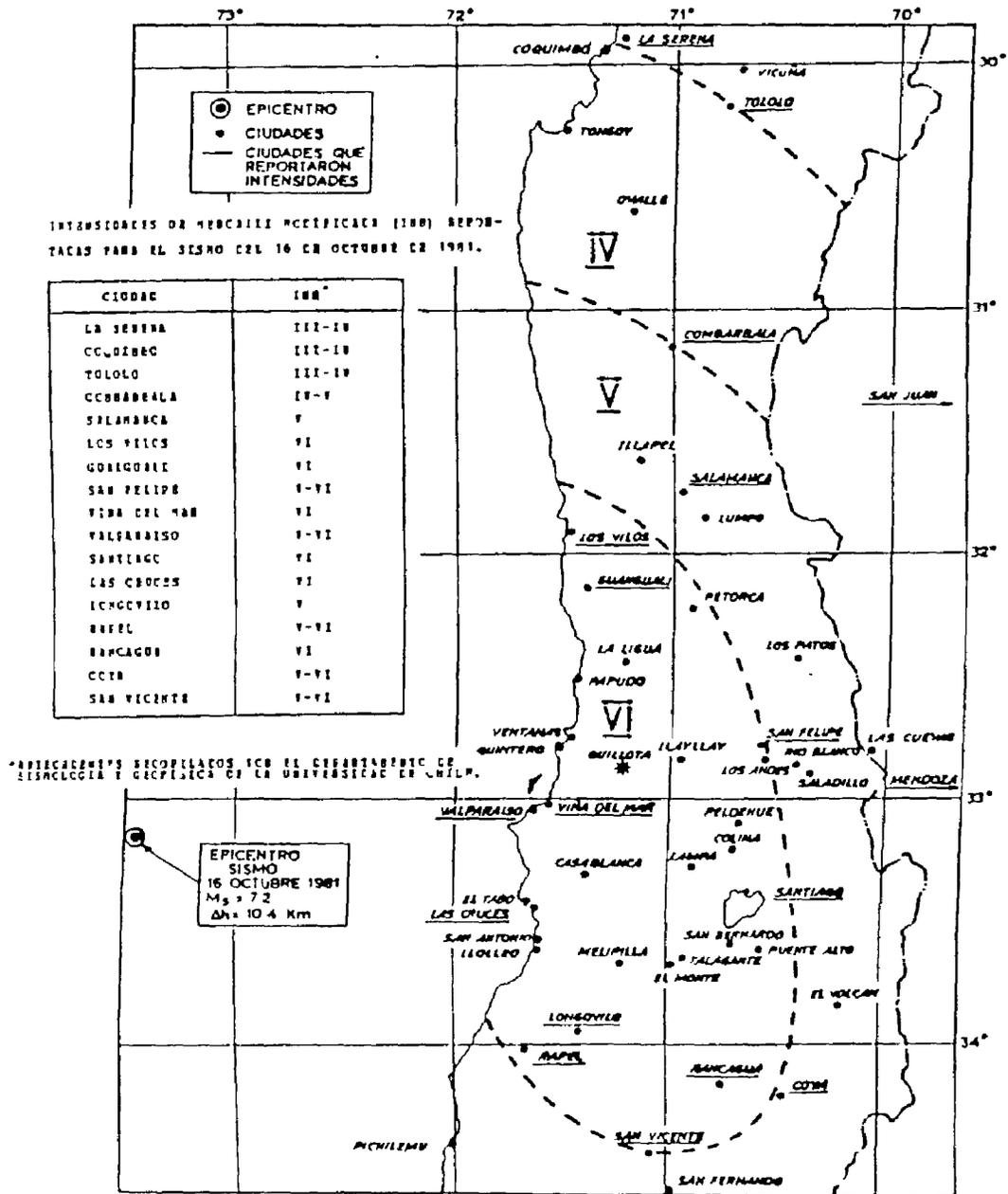


FIG. 2.5 ISOSISTAS DEL SISMO DEL 16 DE OCTUBRE DE 1981  
(M. FRESARD Y R. SARAGONI, 1986).

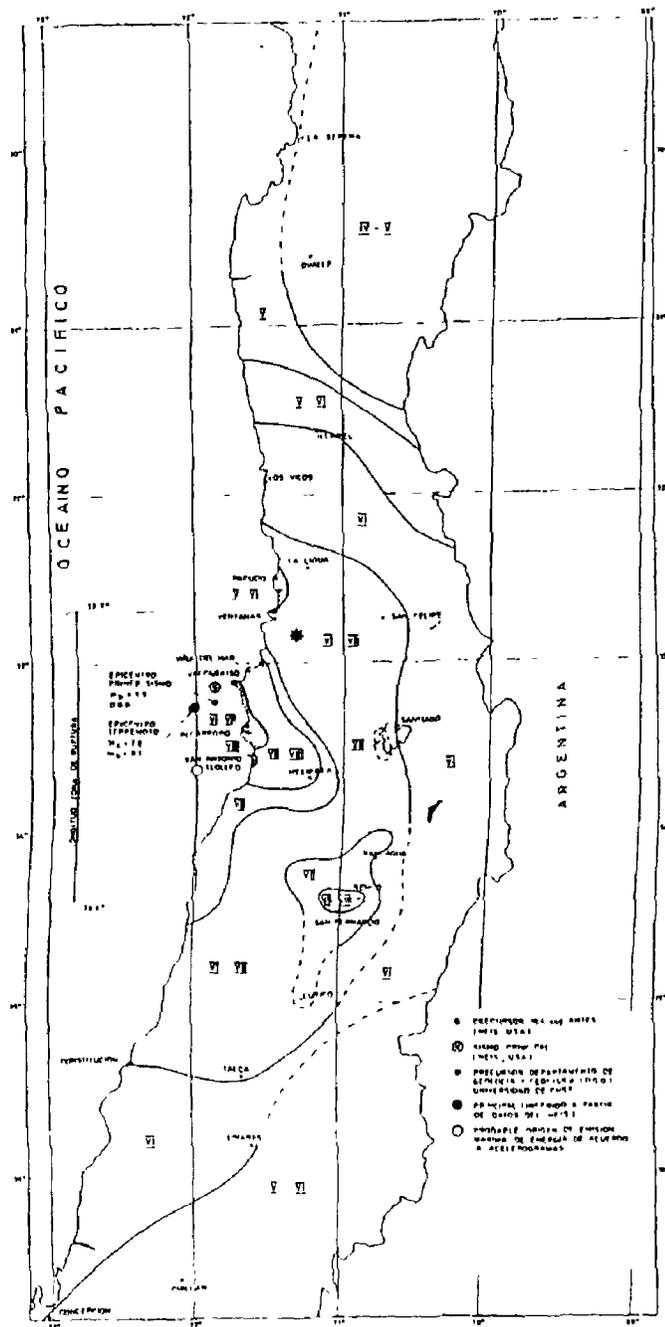


FIG. 2.6 ISOSISTAS DEL SISMO DEL 3 DE MARZO DE 1985 (KAUSEL, 1985).

**"La página 23 no se encuentra disponible en el original"**

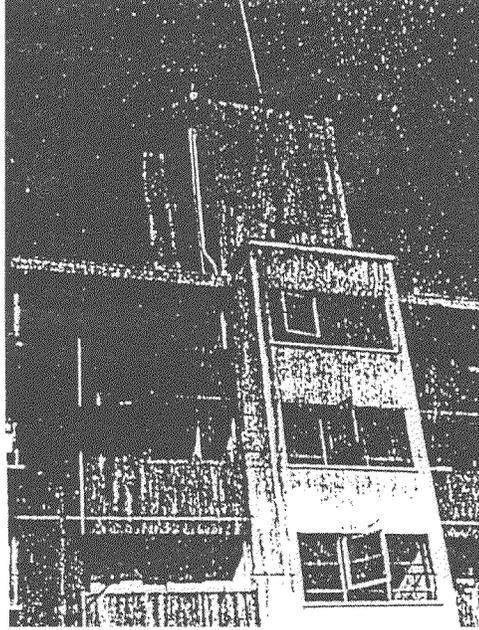


FIG. 2.8 DAÑOS DE UN ESTANQUE DE AGUA DE EDIFICIOS DE H.A., QUILLOTA 1965 (J. MONGE ET AL., 1965).

## Referencias:

1. Astroza, M., Monge, J. (1991), "Regional Seismic Zonation in Central Chile". Proc. Fourth International Conference on Seismic Zonation, California, Aug. 25-29, 1991, Vol III, pp. 487-494.
2. Barrientos, S. (1980), "Regionalización Sísmica de Chile", Tesis de Magister, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 79 pp y Apéndices .
3. Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), 1985, "Catálogo de terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Chile" Proyecto SISRA. Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la Región Andina. Vol 5.
4. Cerna, J. 1970, "Relación entre los daños del sismo del 28 de marzo de 1965 y los suelos de fundación de Santiago" Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
5. Cochrane, S.W., Schaad, W.H. (1992), "Assessment of Earthquake Vulnerability of Buildings". Proc. 10th WCEE, Madrid, España, Julio 1992, Vol 1, pp 497 - 502.
6. Fresard, M. y Saragoni, G.R. 1986, "Análisis de los acelerogramas y de los daños de los sismo de 1981 en la zona Central de Chile". 4as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Viña del Mar, Chile, Abril, pp F-93 a F-111.
7. Investigadores de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (1972) "Informe Preliminar sobre el sismo del 8 de julio de 1971" Revista del Idiem, Vol. 11, Nº 1, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales, Mayo 1972.

8. Kausel, E. 1985, "Proceso Sísmico, parámetros focales y replicas del sismo del 3 de marzo, 1985", Capítulo 2. El sismo del 3 de Marzo 1985 - Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Editor J. Monge.
9. Kausel, E., Astroza, M., Monge, J. (1993), "Sismicidad y peligro sísmico de la zona de Santiago - Valparaíso incluyendo efectos locales de suelo", Actas de las 6tas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile, Agosto 1993, pp 65 a 74.
10. Levret, A. and Mohammadioun, B. 1984, "Determination of seismic reference motion for nuclear sites in France"; Engineering Geology, 20 (1984), pp 25-28.
11. Medvedev, S.V. (1965), "Engineering Seismology". Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations.
12. Menendez, 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, Universidad de Chile, Santiago, Chile, Enero 1991.
13. Monge, J., Rosenberg, L., Vives, A., Yoma, F., "Sismo del 28 de Marzo de 1965, Chile. Informe sobre daños en estructuras". Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Obras Civiles, Laboratorio de Estructuras, Noviembre, 1965.
14. Richter, C.F., 1958, "Elementary Seismology", W.H. Freeman and Co., San Francisco, 768 p.

15. Rudolph, E. and Tans, E. 1907, "Seismogramme des Nordpasifischen und Sudamerikanishen Erdheben rom 16 August 1906", Inter. Esis. Ass, 1.E.. 98.
16. Varela, J. y Vicencio, R. (1965). "Informe sobre los efectos del sismo acaecido en la provincia de Aconcagua el 28 de Marzo de 1965". Comunicaciones de la Escuela de Geología, Nº 9. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela de Geología, Diciembre, 1965.

## ANEXO A: CALCULO DE INTENSIDADES

### QUILLOTA: Coordenadas Geográficas de la ciudad

Latitud : 32° 52' Sur = 32.867°

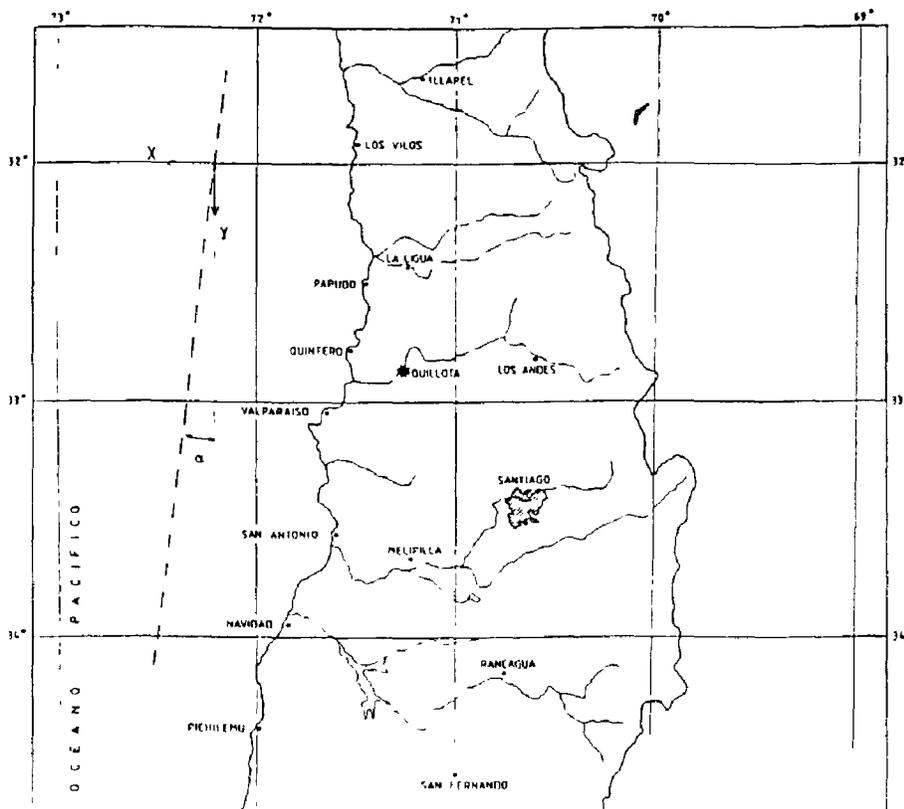
Longitud: 71° 15' Oeste = 71.25°

#### i) Sismo de magnitud máxima 8.5

La intensidad esperada para el sismo de magnitud máxima  $M=8.5$ , se calcula con la fórmula de atenuación propuesta por Barrientos (1980):

$$I_r = a_1 M + a_2 \log r + a_3 r + a_4. \quad (A-1)$$

El eje hipocentral de este evento corresponde a la línea paralela al eje definido por Kausel et al. para el sismo de 1985, que pasa por el punto de coordenadas 32° latitud sur y 72,2123° longitud oeste a una profundidad de 20 km, La proyección de esta línea en la superficie se muestra en la figura A-1.



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0.3 \cos (34^\circ)}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0.1244$$

$$\alpha = 7.0912^\circ$$

Figura A-1

La distancia de un punto P de coordenadas (x,y) a la proyección en superficie de este eje está dada por:

$$d = y \operatorname{sen} \alpha - x \operatorname{cos} \alpha \quad (\text{A-2})$$

donde:

$$x = (B - 72.2123^\circ) \cdot 111,1 \operatorname{cos} A ; \text{ en km.}$$

$$Y = (A - 32^\circ) \cdot 111,1 ; \text{ en km.}$$

B; A = longitud y latitud del punto.

Considerando la profundidad de foco de 20 km, la distancia hipocentral del punto P está dada por

$$r = \sqrt{d^2 + 20^2}, \quad \text{en km} \quad (\text{A-3})$$

En el caso particular de la ciudad de Quillota, la distancia hipocentral resulta igual a:

$$x = -89.798 \text{ km}$$

$$y = 96.324 \text{ km}$$

$$d = 101.002 \text{ km}$$

$$r = 102.96 \text{ km}$$

Conocida la distancia hipocentral r, con la ecuación A-1 se obtiene una intensidad esperada para un sismo de magnitud  $M=8.5$  igual a 8.03 en la escala de Mercalli Modificada.

ii) **El sismo del 3 de marzo de 1985,  $M = 7.8$ .**

El eje hipocentral de este evento corresponde a la línea aproximadamente paralela a la costa que pasa por los puntos de coordenadas  $32^\circ \text{ S}$ ,  $72^\circ \text{ W}$  y  $34^\circ \text{ S}$ , y  $72,3^\circ \text{ W}$ .

La distancia de Quillota a la proyección del eje hipocentral en superficie, se obtiene de la ecuación A-1 donde:

$$x = (B-72^\circ) \cdot 111,1 \cos A; \text{ en km.}$$

$$y = (A-32^\circ) \cdot 111,1 \quad ; \text{ en km.}$$

resultando:

$$x = - 69.987 \text{ km}$$

$$Y = 96.324 \text{ km}$$

$$d = 81.343 \text{ km}$$

Considerando una profundidad de foco de 20 km., se obtiene de la ecuación A-2:

$$r = 83,766 \text{ km}$$

Aplicando la ecuación A-1, resulta que la intensidad esperada del sismo del 3 de marzo de 1985 en Quillota es igual a 7.41 en la escala de Mercalli Modificada.

## ANEXO B

### B.1 ESCALA DE INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA

GRADO	INTENSIDAD
-------	------------

- |     |  |
|-----|--|
| I   | : Sólo lo sienten unas pocas personas en circunstancias excepcionalmente favorables.   |
| II  | : Lo sienten las personas en reposo, en los pisos superiores o favorablemente situadas.  |
| III | : Se siente adentro de la casa; los objetos colgantes se mecen,; vibración similar al paso de camiones ligeros; se puede estimar la duración; puede que no se le reconozca como un sismo.  |
| IV  | : Los objetos colgantes se mecen; vibración similar al paso de los camiones pesados; los vehículos estacionados se mecen; las ventanas, la vajilla y las puertas vibran; los vasos tintinean; en el rango más alto de IV los muros y marcos de madera crujen.  |
| V   | : Se siente en el exterior de los edificios; se puede estimar la dirección; las personas que duermen se despiertan; los líquidos se agitan, y algunos se derraman; los objetos pequeños e inestables se desplazan o se vuelcan; las puertas se cierran o se abren; las persianas y los cuadros se mueven; los relojes de péndulo se detienen, echan a andar, o cambian de ritmo.   |
| VI  | : Lo sienten todas las personas; muchos se asustan y corren al exterior; se camina con paso inseguro; se rompen los vidrios de las ventanas, los platos y la cristalería, las figuritas, etc., se caen de los anaqueles y los cuadros de las paredes; los muebles se mueven o se vuelcan; el mortero de poca consistencia y la albañilería D* se agrietan; las campanas pequeñas suenan (en las iglesias o las escuelas); los árboles y arbustos se agitan (visiblemente, o se escucha su murmullo). |

- VII : Es difícil estar de pie; lo notan los conductores de los vehículos en marcha; los objetos colgantes tiemblan; se dañan los muebles; daños a la albañilería D, incluyendo grietas; las chimeneas con poca resistencia se rompen en la línea del techo; se cae el mortero, los ladrillos, piedras y azulejos y cornisas se sueltan (también los parapetos no arriostrados y los ornamentos arquitectónicos); algunas grietas en la albañilería C\*; oleaje en los estanques; el agua se enturbia con fango; pequeños deslizamientos y derrumbes a lo largo de los terraplenes y taludes de arena y grava; las campanas grandes suenan; daños en los canales de irrigación de concreto.
- VIII : Se afecta el manejo de los vehículos de motor; daños a la albañilería C o colapso parcial; algunos daños a la albañilería B\*; ninguno a la albañilería A\*, caída del aplanado y de algunos muros de albañilería; torsión y caída de chimeneas en casas y fábricas, monumentos, torres y tanques elevados; las casas de marcos se mueven en sus cimientos si no están apernadas; se precipitan tableros de muros que estén sueltos; los pilotes en mal estado se rompen; se quiebran las ramas de los árboles; cambio en el flujo o temperatura de los manantiales y pozos; grietas en el terreno húmedo y en las pendientes empinadas.
- IX : Pánico general; se destruye la albañilería D; fuertes daños en la albañilería C, a veces con colapso total; la albañilería B seriamente dañada; daños generales en los cimientos; las estructuras de marcos se desplazan de sus cimentaciones si no están apernadas; severos daños en los embalses; se rompen las tuberías subterráneas; grietas conspicuas en el terreno; en los terrenos de aluvión salen chorros de arena y fango, aparecen fuentes y cráteres de arena, creados por el sismo.
- X : La mayor parte de las estructuras de albañilería se destruyen junto con sus cimentaciones; algunas estructuras y puentes de madera bien contruidos se destruyen; daños severos a las presas, diques y terraplenes; grandes desplazamientos de tierra; el agua de canales, ríos, lagos, etc, sale proyectada a las riberas; la arena y el fango se desplazan horizontalmente en las playas y terrenos bajos; los rieles se doblan ligeramente.

- XI : Los rieles se doblan mucho; las tuberías subterráneas quedan completamente fuera de servicio.
- XII : Los daños son casi totales; se desplazan masas de rocas; las líneas de vista y de nivel distorsionadas; los objetos saltan al aire.

\* Albañilería A, B, C y D según se usan en la anterior escala Mercalli Modificada.

- Albañilería A: Mano de obra, mortero y diseño de buena calidad, reforzada, en especial lateralmente, y unida con acero, concreto, etc.; diseñada para resistir fuerzas laterales.
- Albañilería B: Mano de obra y mortero de buena calidad; reforzado, pero los detalles de diseño no tienen en cuenta las fuerzas laterales.
- Albañilería C: Mortero y mano de obra corrientes; no hay puntos de extrema debilidad, como dejar de amarrar esquinas, pero no se refuerzan ni se diseñan contra las fuerzas horizontales.
- Albañilería D: Materiales de poca resistencia, como el adobe; morteros pobres; bajas normas de mano de obra, débiles horizontalmente.

## **B.2 RELACIÓN ENTRE LAS ESCALAS DE INTENSIDAD.**

En la figura B.1 se muestra la relación entre los grados de las escalas de intensidad indicadas en este informe.

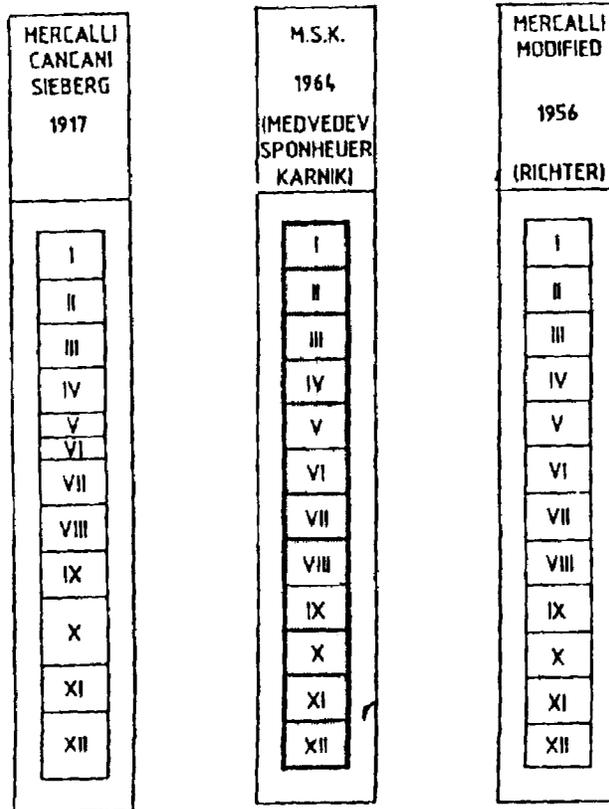


FIG. B.1 RELACION ENTRE ALGUNAS ESCALAS (A. LEVRET AND B. MOHAMMADIOUN, 1984).