

# **CAPITULO 3**

## **SISMICIDAD CHILENA**

### **3.1 INTRODUCCION**

Uno de los pasos fundamentales en el estudio de la vulnerabilidad sísmica de los sistemas y del riesgo sísmico de una región, es el análisis de la sismicidad de la zona de interés. Este análisis debe incluir los mecanismos que originan los temblores, la frecuencia con que ocurren, sus características, la atenuación de sus efectos y la influencia de las condiciones locales que se encuentran en la región.

El objetivo de este capítulo es presentar los antecedentes disponibles sobre la sismicidad de Chile, obtenidos de estudios desarrollados para todo el territorio nacional o para algunas regiones del mismo. En algunos de los temas, los antecedentes reunidos permiten apreciar el avance de su conocimiento a través del tiempo.

Además se detallan además aspectos relacionados con la sismicidad histórica, destacando las características y los efectos de los grandes terremotos que han ocurridos durante el siglo XX.

Finalmente se presentan los mapas de peligro o amenaza sísmica obtenidos a partir de los datos de sismicidad histórica e instrumental.

### **3.2 SISMICIDAD DEL PAIS**

La revisión de cualquier mapa de ubicación de epicentros de los sismos que han ocurrido durante un determinado número de años, permite comprobar que la actividad sísmica se extiende a lo largo de todo el país y su severidad depende del mecanismo que genera el sismo y de la ubicación del sitio afectado con respecto

de la fuente sismogénica que se activa para que se produzca el evento.

En la figura 3.1 se indica la ubicación de los epicentros de los temblores que ocurrieron entre los años 1963 y 1978.

Al revisar la lista de terremotos (sismos severos y destructores) que han ocurrido desde la llegada de los españoles a Chile, se comprueba que los sismos de mayor magnitud y de mayor destructividad se ubican a lo largo del país entre Arica y la Península de Taitao con epicentro en la costa. Destacando dentro de esta listas los sismos de 1960 por la extensión de la zona afectada, como se muestra en la figura 3.2.

Del estudio del origen de los sismos chilenos, se ha podido establecer que la actividad sísmica desde la frontera con Perú hasta el paralelo 46° sur, es del tipo tectónica de convergencia de placas y está relacionada con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurriendo terremotos que en algunas ocasiones son acompañados de tsunamis. El límite sur de esta zona queda claramente definido por los datos sismológicos, los que muestran un quiebre de la sismicidad a la altura del paralelo 46° sur, como se aprecia en la figura 3.1.

Los temblores de esta zona de subducción se producen por la acumulación de tensiones que genera el desplazamiento de la placa de Nazca con respecto de la placa Sudamericana, con una velocidad media anual de 9 cm/año (Barrientos et al., 1993). Dependiendo de las condiciones existentes en el interior de la Tierra y a medida que aumenta la tensión, la roca involucrada en el posible fallamiento puede reaccionar por fluencia, es decir incapacidad de acumular tensiones, cediendo a un nivel relativamente bajo de tensión y produciendo sismos menores (magnitud reducida), o acumulando energía para liberarla en un gran sismo (magnitud elevada).

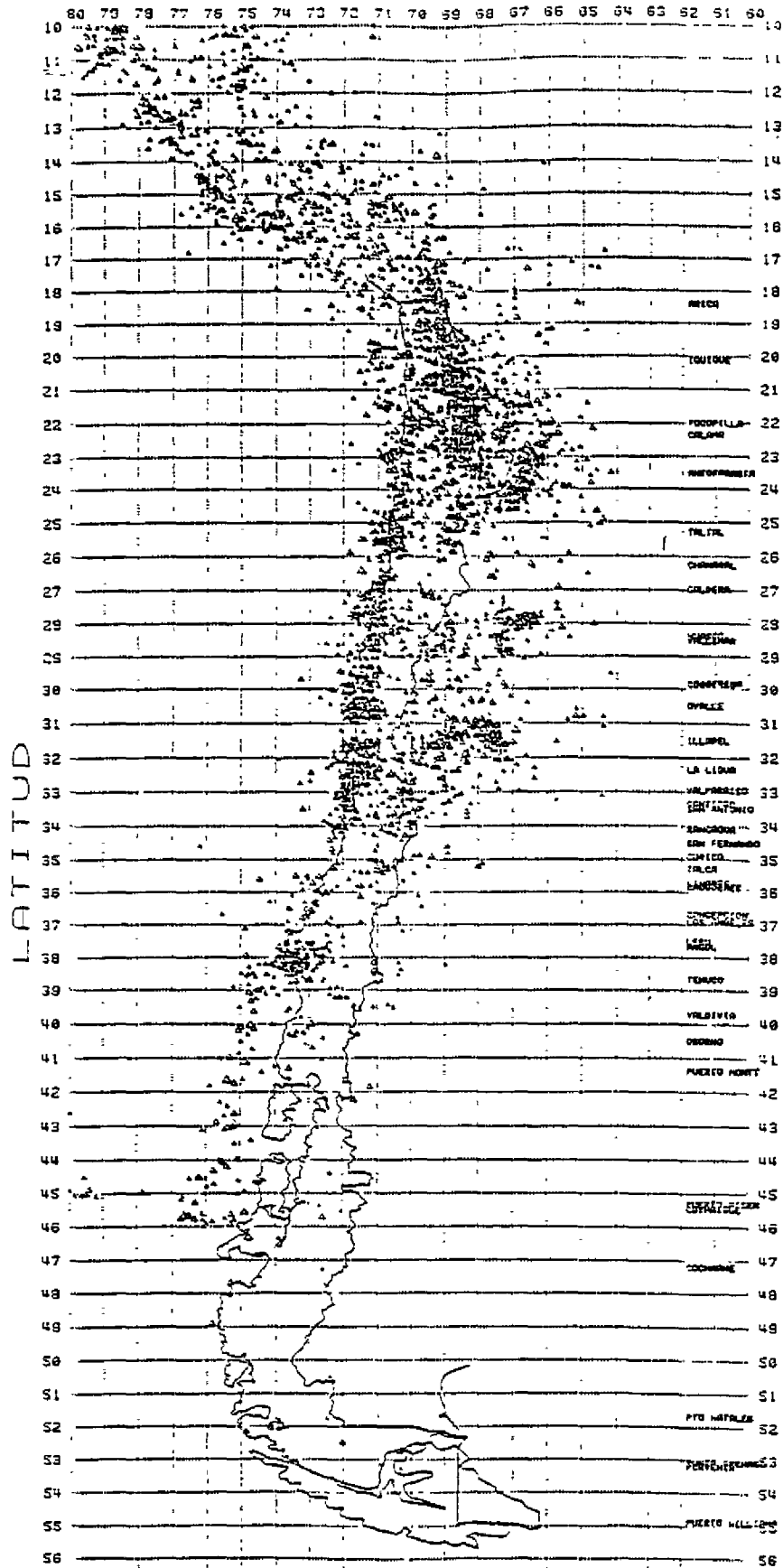


Figura 3.1: Epicentros de sismos con magnitud mayor que 5 durante el período comprendido entre 1963 a 1978.

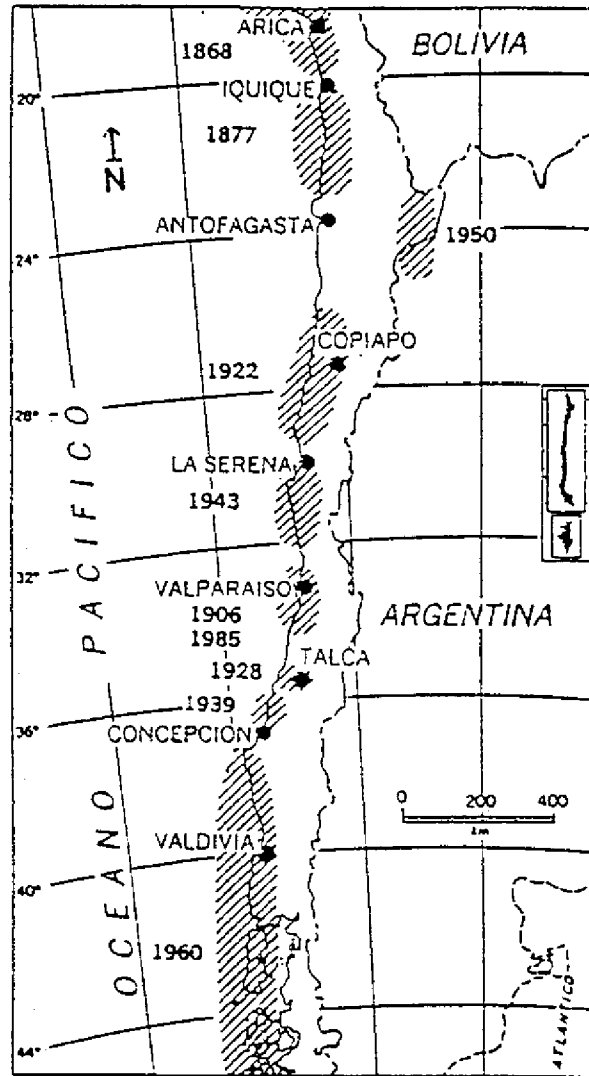


Figura 3.2: Zonas de ruptura de grandes terremotos chilenos (Kausel, 1991)

En este tipo de mecanismo existen ciertos lugares, llamados asperezas, que son más resistentes a la fractura y así necesitan mayores niveles de tensión para su fallamiento. Por otra parte, las llamadas "barreras" representan obstáculos a la propagación de la falla y se interpretan como discontinuidades geométricas en la zona de subducción producto de un cambio de inclinación de la superficie de contacto entre placas (Plano de Benioff), o como una falta de homogeneidad del material debido a la existencia de zonas de constitución diferente con mayor resistencia a la rotura.

Teniendo en cuenta esto último, se ha podido destacar que la iniciación de la ruptura de un sismo de grandes proporciones en la zona de subducción se produce en una aspereza, propagándose la falla hasta encontrar una barrera. También la propagación de la ruptura puede detenerse porque se ha llegado a una región donde las tensiones se han relajado previamente a raíz de un sismo ocurrido en una zona vecina, esto último explica la diferente longitud de la ruptura de los sismos que regularmente afectan una misma región.

Este mecanismo de generación permite establecer que los grandes terremotos se repetirán en los mismos lugares geográficos, dentro de ciertos intervalos de recurrencia temporal. Como ejemplo, la historia sísmica indica que la zona central del país es afectada por un terremoto destructivo con epicentro costa afuera frente a Valparaíso con un período de retorno medio de  $82 \pm 6$  años (Kausel, 1985), el que se obtiene de la secuencia de grandes sismos registrados en la zona: 1575, 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985. Estos terremotos, no obstante de tener longitudes de falla variable como se indica en la figura 3.3, tienen en común la zona comprendida entre los paralelos  $32,5^\circ$  y  $33,5^\circ$  de latitud sur, lo que sugiere la existencia de una aspereza en torno de estos límites (Barrientos y Kausel, 1993).

Otra característica de los terremotos que ocurren en la zona de subducción es la propagación de la ruptura de norte a sur. El ejemplo más claro lo constituye el terremoto del 22 de mayo de 1960 en el que la falla se propagó hacia el sur unos 800 a 1000 kms. Esta característica debe tenerse en cuenta al analizar los daños

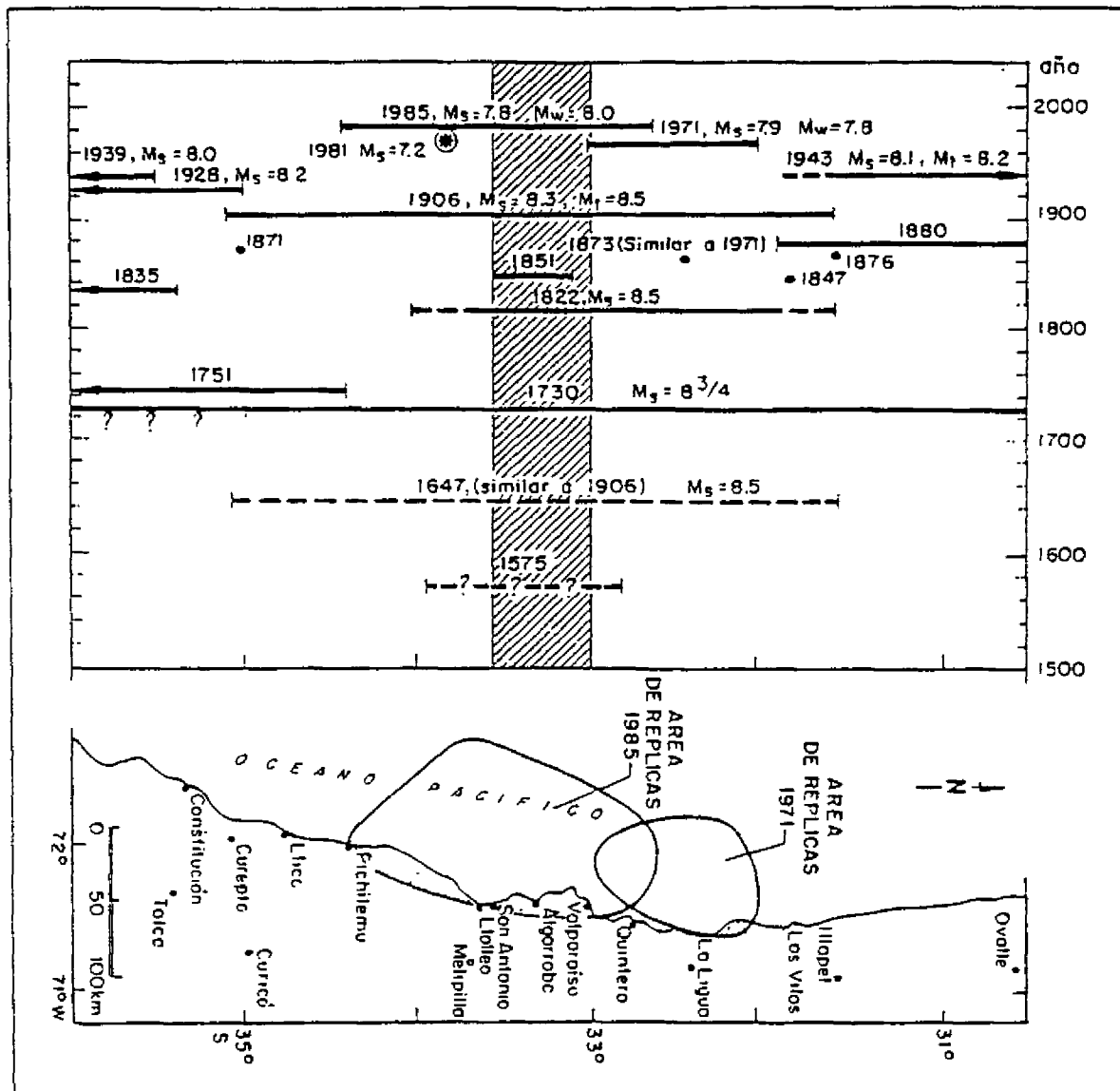


Figura 3.3: Diagrama espacio temporal de grandes terremotos en la zona de Valparaíso (Barrientos y Kausel, 1993).

que produce un evento de este tipo.

La zona de ruptura de los grandes sismos en la zona de subducción se ubica entre la fosa marina y la costa a una profundidad que no supera los 40 kms (Kausel et al., 1993). Esta característica junto con la forma en que se propaga la ruptura dan la forma alargada de las curvas isosístas que se muestran en este capítulo, con el eje mayor paralelo a la costa. La regularidad de esta forma se puede alterar por efectos locales.

Además de los sismos de subducción, se detectan sismos superficiales bajo la cordillera de Los Andes, de origen similar al de los sismos poco profundos que afectan a San Juan y Mendoza en Argentina. Un ejemplo de este grupo de eventos es el sismo de Las Melosas (1958) de magnitud  $M_s = 6.9$  en la escala de Richter (Flores et al., 1960). La extensión del área de daños de este tipo de sismos es reducida, pero puede alcanzar valores altos de intensidad debido a la poca profundidad del foco.

Al sur del paralelo  $52^\circ$  sur, el ambiente tectónico cambia y la sismicidad del extremo austral de Chile está relacionada con un sistema de fallas del tipo transcurso en el complejo encuentro de las placas Antártica, Scotia y Sudamericana. La falla activa de esta zona se ubica al sur de Tierra del Fuego siguiendo la línea del lago Fagnano y el Seno del Almirantazgo, cruza la península de Brunswick y continua siguiendo el brazo occidental del estrecho de Magallanes. En este tipo de mecanismo, los focos son de poca profundidad. Los antecedentes históricos informan de dos sismos severos asociados a este sistema de fallas, en 1879 ( $M_s = 7.5$ ) y 1949 ( $M_s = 7.5$ ); la mayor ciudad de la región corresponde a Punta Arenas, fundada en 1850, en esta los daños producidos por estos eventos han sido moderados. La menor actividad sísmica detectada y registrada de esta zona se debe fundamentalmente a la menor velocidad media del movimiento relativo en la falla (Eisenberg, 1985).

Toda esta caracterización de la sismicidad de Chile ha permitido dividir el país

en zonas aprovechando los antecedentes históricos y la información instrumental registrada en la segunda mitad del presente siglo.

### **3.3 GRANDES SISMOS HISTORICOS.**

En la tabla 3.1 se detallan los sismos severos ocurridos desde el siglo XIV. El objetivo perseguido al presentar esta información, es dar una idea de la frecuencia y de las características de los sismos destructores que han afectado al país desde su colonización.

Por la falta de datos macrosísmicos y de una descripción detalladas de los daños producidos por la mayoría de los sismos de la tabla, especialmente de los ocurridos antes del presente siglo, sólo se describen en detalle alguno de los sismos del siglo XX, que han producido daños. La mayoría de ellos son de magnitud de Richter mayor o igual a 7 grados y de profundidad focal menor que 55 kms.

Es conveniente destacar que los grandes terremotos ocurridos en el presente siglo han estimulado un mayor estudio de los efectos sísmicos sobre las estructuras e instalaciones de uso público y privado, lo que ha contribuido al desarrollo de la especialidad. Esto ha sido particularmente válido previo a la década del 50, cuando se produce un gran desarrollo mundial que indudablemente repercute en Chile (Flores,1993). Entre estos terremotos deben mencionarse los de los años 1906, 1922, 1928, 1939, 1960, 1965, 1971 y 1985, destacando por su destructividad el de Chillán de 1939 y por la extensión del área dañada, el ocurrido en la zona sur en 1960. Además debe destacarse el sismo del 3 de marzo de 1985 por haber afectado a la zona más densamente poblada del país y a construcciones modernas con diseño sísmico.

Con el propósito de facilitar la comparación de los temblores, las intensidades se han expresado en la escala de Mercalli Modificada. También se incluyen los mapas de isosístas en el Anexo B. En estos mapas se usa la escala de intensidades utilizada originalmente por su autor, lo que puede expresarse en la escala de



Mercalli Modificada con la tabla de equivalencias de la figura 3.4.

A continuación se presenta una descripción resumida de los efectos y características los sismos de importancia.

### 3.3.1 Sismo del 16 de Agosto de 1906.

La descripción más completa de los efectos que produjo este sismo a lo largo de la zona de daños fue hecha por Montessus de Ballore (1915). Este sismo registró una magnitud 8.4 en la escala de Richter y una intensidad máxima IX en la escala de Mercalli Modificada, siendo las ciudades más afectadas Valparaíso y Santiago debido a su densidad de población y de construcción.

La zona de daños del sismo se extiende desde Illapel a Cauquén. Pero la mayor cantidad de víctimas y viviendas destruidas se concentró en Valparaíso donde el número de víctimas alcanzó a 3764, de un total nacional de 3882, y perjuicios por 300.000.000 de pesos de la época, de un total para el país de los 327.325.000 pesos. (Rodríguez et al, 1906)

ROSSI- POREL	MERCALLI	MERCALLI CANCAN SIEBERG	MERCALLI MODIFIED (WOOD- LEUMANN)	JAPAN CENTRAL OBS. (1932 [SHIMOTO])	MERCALLI CANCAN SIEBERG (MODIFIED [ROTHE])	JAPAN CENTRAL OBS. (MODIFIED [KAWASUMI])	GEOFAN URSS (1953 [MEVEDEV])	MERCALLI MODIFIED (1954 [RICHTER])	MERCALLI MODIFIED NEW ZEALAND (1965 [OBT])	EMU (Echelle macro- sismique Internat.)	H.S.K. 1964 (MEVEDEV POMHEUB KARNIG)	ESCALA CHILENA 1942 1960
1873	1902	1917	1931	1932	1942	1951	1953	1954	1965			
I	I	I	I	0	I	1	I	I	I	I	I	I
II	II	II	II	I	II	I	II	II	II	II	II	II
III	III	III	III	II	III	II	III	III	III	III	III	III
IV	IV	IV	IV	III	IV	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV
V	V	V	V	IV	V	IV	V	V	V	V	V	V
VI	VI	VI	VI	V	VI	V	VI	VI	VI	VI	VI	VI
VII	VII	VII	VII	VI	VII	VI	VII	VII	VII	VII	VII	VII
VIII	VIII	VIII	VIII	VII	VIII	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
IX	IX	IX	IX	VIII	IX	VIII	IX	IX	IX	IX	IX	IX
X	X	X	X	IX	X	IX	X	X	X	X	X	X
XI	XI	XI	XI	X	XI	X	XI	XI	XI	XI	XI	XI
XII	XII	XII	XII	XI	XII	XI	XII	XII	XII	XII	XII	XII
XIII	XIII	XIII	XIII	XII	XIII	XII	XIII	XIII	XIII	XIII	XIII	XIII
XIV	XIV	XIV	XIV	XIII	XIV	XIII	XIV	XIV	XIV	XIV	XIV	XIV
XV	XV	XV	XV	XIV	XV	XIV	XV	XV	XV	XV	XV	XV
XVI	XVI	XVI	XVI	XV	XVI	XV	XVI	XVI	XVI	XVI	XVI	XVI
XVII	XVII	XVII	XVII	XVI	XVII	XVI	XVII	XVII	XVII	XVII	XVII	XVII
XVIII	XVIII	XVIII	XVIII	XVII	XVIII	XVII	XVIII	XVIII	XVIII	XVIII	XVIII	XVIII
XIX	XIX	XIX	XIX	XVIII	XIX	XVIII	XIX	XIX	XIX	XIX	XIX	XIX
XX	XX	XX	XX	XIX	XX	XIX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
XXI	XXI	XXI	XXI	XX	XXI	XX	XXI	XXI	XXI	XXI	XXI	XXI
XXII	XXII	XXII	XXII	XXI	XXII	XXI	XXII	XXII	XXII	XXII	XXII	XXII
XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXII	XXIII	XXII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII
XXIV	XXIV	XXIV	XXIV	XXIII	XXIV	XXIII	XXIV	XXIV	XXIV	XXIV	XXIV	XXIV
XXV	XXV	XXV	XXV	XXIV	XXV	XXIV	XXV	XXV	XXV	XXV	XXV	XXV
XXVI	XXVI	XXVI	XXVI	XXV	XXVI	XXV	XXVI	XXVI	XXVI	XXVI	XXVI	XXVI
XXVII	XXVII	XXVII	XXVII	XXVI	XXVII	XXVI	XXVII	XXVII	XXVII	XXVII	XXVII	XXVII
XXVIII	XXVIII	XXVIII	XXVIII	XXVII	XXVIII	XXVII	XXVIII	XXVIII	XXVIII	XXVIII	XXVIII	XXVIII
XXIX	XXIX	XXIX	XXIX	XXVIII	XXIX	XXVIII	XXIX	XXIX	XXIX	XXIX	XXIX	XXIX
XXX	XXX	XXX	XXX	XXIX	XXX	XXIX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

Figura 3.4: Comparación entre diferentes escalas de intensidades (Levret y Mohammadioun, 1984)

**Tabla 3.1: SISMOS CHILENOS DE MAGNITUD  $M_s \geq 7.0$  (Comte, 1995)**

FECHA	HORA (GMT)	LAT	LON	PROF	$M_s$	$I_{max}$	LUGAR	
1570	02 08	05:00:60.00	-36.750	-73.000	-	8.3	X	Concepción
1575	03 17	06:00:06.60	-33.400	-70.600	-	7.3	VIII	Santiago
1575	12 16	18:30:00.00	-39.800	-73.200	-	8.5	X	Valdivia
1604	11 24	16:30:00.00	-18.500	-70.350	-	8.4	X	Arica
1615	09 16	00:00:60.00	-18.500	-70.350	-	7.5	X	Arica
1647	05 14	02:30:00.00	-33.000	-72.000	-	8.5	XII	Santiago
1657	03 15	23:30:00.00	-36.830	-73.030	-	8.0	XII	Concepción
1681	03 10	00:00:00.00	-18.500	-70.350	-	7.3	X	Arica
1687	07 12	07:00:00.00	-32.750	-70.730	-	7.3	VII	Sn. Felipe
1730	07 08	10:00:00.00	-33.050	-71.630	-	8.7	XII-VIII	Stgo-Valpo
1737	12 24	00:00:00.00	-39.800	-73.200	-	7.7	XII	Valdivia
1751	05 25	05:30:00.00	-36.830	-73.030	-	8.5	XII-IX	Concepción
1796	03 30	10:45:00.00	-27.350	-70.350	-	7.7	XII	Copiapó
1819	04 11	15:00:00.00	-27.350	-70.350	-	8.3	X	Copiapó
1822	11 20	02:30:00.00	-33.050	-71.630	-	8.5	XII-VIII	Valparaíso
1829	09 26	14:30:00.00	-33.050	-71.630	-	7.0	XII	Valparaíso
1835	02 20	15:30:00.00	-36.830	-73.030	-	8.1	XII	Concepción
1837	11 07	11:30:00.00	-39.800	-73.200	-	8.0	X	Valdivia
1847	10 08	15:30:00.00	-31.610	-71.180	-	7.3	VIII	Illapel
1849	12 17	10:00:00.00	-29.950	-71.370	-	7.5	VIII	Coquimbo
1850	12 06	10:52:60.00	-33.810	-70.220	-	7.3	VIII	Valle del Maipo
1851	04 02	10:48:00.00	-33.320	-71.420	-	7.1	VIII	Casablanca
1859	10 05	12:00:00.00	-27.350	-70.350	-	7.6	X	Copiapó
1868	08 13	20:45:00.00	-18.500	-70.350	-	8.5	XII-VIII	Arica
1869	03 24	16:30:00.00	-19.600	-70.230	-	7.4	VII	Talca
1871	10 05	09:00:00.00	-20.200	-70.170	-	7.3	X	Iquique
1877	05 10	02:16:00.00	-19.600	-70.230	-	8.3	XII-VIII	Pisagua
1879	02 02	10:30:00.00	-53.000	-70.670	-	7.3	VIII	Estrecho de Magallanes
1880	08 15	12:48:00.00	-31.620	-71.180	-	7.7	X	Illapel
1904	03 19	05:30:00.00	-28.570	-70.780	-		VIII	Vallenar
1906	08 17	00:40:00.00	-33.000	-72.000	25.0	8.4	X-XI-XII	Valpo-Stgo
1909	06 08	05:46:30.00	-26.500	-70.500	-	7.6	X	Copiapó
1910	10 04	23:00:06.00	-22.006	-69.000	120.0	7.3		
1911	09 15	13:10:00.00	-20.000	-72.000	-	7.3	X	Iquique
1914	01 30	03:36:00.00	-35.000	-73.000	-	7.6	VII	Talca
1917	02 15	00:48:24.00	-30.000	-73.000	-	7.0	VIII	Copiapó
1918	05 20	17:55:10.00	-28.500	-71.500	80.0	7.5	VIII	Coquimbo
1918	12 04	11:47:48.00	-26.000	-71.000	-	7.8		
1919	03 02	03:26:50.00	-41.000	-73.500	40.0	7.2	X	Chiloé
1919	03 02	11:45:17.00	-41.000	-73.500	40.0	7.3		Chiloé
1920	10 28	12:50:06.00	-27.000	-74.400	-		VIII	Vallenar
1920	12 10	04:25:40.00	-39.000	-73.000	-	7.4		
1922	11 07	23:00:69.00	-28.000	-72.000	-	7.0	VIII	Copiapó
1922	11 11	04:32:36.00	-28.500	-70.000	25.0	8.3	XII	Atacama
1923	05 04	22:26:45.00	-28.750	-71.750	60.0	7.0	VIII	Atacama
1925	05 15	11:56:57.00	-26.000	-71.500	50.0	7.1	VIII	Copiapó
1926	04 28	11:13:50.00	-24.000	-69.000	180.0	7.0		
1927	11 21	23:12:25.00	-44.500	-73.000	-	7.1	X	Aysén
1928	11 20	20:35:07.00	-22.500	-70.500	-	7.1	VIII	Antofagasta
1928	12 01	04:06:10.00	-35.000	-72.000	25.0	8.0	IX-IX-X	Talca
1929	10 19	10:12:52.00	-23.000	-69.000	100.0	7.5	VIII	Antofagasta
1931	03 18	08:02:23.00	-32.500	-72.000	-	7.1	VIII	Illapel
1933	02 23	08:09:12.00	-20.000	-71.000	40.0	7.6	VIII	Iquique
1934	03 01	21:45:25.00	-40.000	-72.500	120.0	7.1	VIII	Osorno
1934	12 04	17:24:38.00	-19.500	-69.500	130.0	6.9		
1936	07 13	11:12:15.00	-24.500	-70.000	60.0	7.3	VIII	Tal-Tal
	FECHA	HORA (GMT)	LAT	LON	PROF	$M_s$	$I_{max}$	LUGAR
1939	01 25	03:32:14.00	-36.250	-72.250	55.0	7.8	X-X-XII	Chillán

1939 04 18	06:22:45.00	-27.000	-70.500	100.0	7.4	<u>VIII</u>	Copiapó
1940 10 04	07:54:42.00	-22.000	-71.000	75.0	7.3		
1940 10 11	18:41:13.00	-41.500	-74.500	-	7.0		
1942 07 08	06:55:45.00	-24.000	-70.000	140.0	7.0		
1943 03 14	18:37:56.00	-20.000	-69.500	150.0	7.2		
1943 04 06	16:07:15.00	-30.750	-72.000	55.0	7.9	<u>X</u>	Illapel
1943 12 01	10:34:46.00	-21.000	-69.000	100.0	7.0		
1945 09 13	11:17:11.00	-33.250	-70.500	100.0	7.1	<u>VIII</u>	Rancagua
1946 08 02	19:18:48.00	-26.500	-70.500	50.0	7.5	<u>X</u>	Copiapó
1947 01 21	20:06:40.00	-25.000	-70.000	-	7.0		
1949 04 20	03:29:07.00	-38.000	-73.500	70.0	7.3	<u>X</u>	Angol
1949 04 25	13:54:59.00	-19.750	-69.000	110.0	7.3	<u>VIII</u>	Iquique
1949 05 30	01:32:44.00	-22.000	-69.000	100.0	7.0		
1949 12 17	06:53:30.00	-54.000	-71.000	-	7.8	<u>VIII</u>	Pta. Arenas
1949 12 17	15:07:55.00	-54.000	-71.000	-	7.8		
1950 01 30	00:56:32.00	-53.500	-71.500	-	7.0		
1950 12 09	21:38:48.00	-23.500	-67.500	100.0	8.0	<u>VIII</u>	Antofagasta
1953 05 06	17:16:43.00	-36.500	-73.000	60.0	7.6	<u>X</u>	Chillán
1953 09 04	14:07:15.00	-32.700	-71.800	33.0	6.9	<u>VIII</u>	La Ligua
1953 12 07	02:05:24.00	-22.100	-68.700	128.0	7.4	<u>X</u>	Calama
1955 04 19	20:24:06.00	-30.000	-72.000	-	7.0		
1956 01 08	20:54:13.00	-19.000	-70.000	-	7.1	<u>VI</u>	Arica
1957 07 29	17:15:14.00	-23.500	-71.500	-	7.0		
1959 06 14	00:12:02.00	-20.420	-69.000	83.0	7.4		
1960 05 21	10:02:50.60	-37.500	-73.500	-	7.3	<u>X</u>	Chillán
1960 05 22	10:32:43.00	-37.500	-73.000	-	7.4		
1960 05 22	19:11:17.00	-39.500	-74.500	-	8.5	<u>IX-XI-XI</u>	Valdivia
1960 06 20	02:01:08.00	-38.000	-73.500	-	7.3		
1960 11 01	08:45:59.30	-38.500	-75.100	55.0	7.4		
1961 09 13	21:19:19.90	-41.700	-75.200	40.0	7.0		
1962 02 14	06:36:04.60	-37.800	-72.500	45.0	7.3		
1962 08 03	08:56:17.10	-23.300	-68.100	107.0	7.1		
1965 02 23	22:11:46.30	-25.670	-70.630	36.0	7.0		
1965 03 28	16:33:15.20	-32.420	-71.100	63.0	7.1	<u>X-X</u>	Valpo-Stgo
1966 12 28	08:18:05.00	-25.510	-70.740	23.0	7.8	<u>VIII-VIII-VIII</u>	Taltal
1967 03 13	16:06:54.20	-40.120	-74.680	33.0	7.3		
1967 12 21	02:25:21.00	-21.890	-70.070	20.0	6.2	<u>VII-VIII</u>	Calama
1971 06 17	21:00:39.20	-25.402	-69.058	76.0	7.0	<u>VII-VII-VII</u>	Chañaral
1971 07 09	03:03:16.90	-32.511	-71.207	40.0	7.5	<u>IX-IX-X</u>	Los Vilos
1974 08 18	10:44:71.30	-38.340	-73.270	19.0	7.0	<u>VI-VI</u>	
1975 03 13	15:25:46.80	-29.891	-71.404	28.0	6.9	<u>VIII-VIII-VII</u>	Coquimbo
1975 05 10	14:27:43.70	-38.033	-72.783	30.0	7.8	<u>VII-VIII</u>	Concepción
1976 11 30	00:40:56.50	-20.575	-68.929	70.0	7.3	<u>VIII-VIII</u>	
1978 08 03	18:11:16.60	-26.518	-70.664	49.0	7.0	<u>VII</u>	Copiapó
1983 10 04	18:52:71.86	-26.549	-70.620	40.0	7.3	<u>VII</u>	Copiapó
1985 03 03	22:47:07.88	-33.077	-71.722	36.0	7.8	<u>VIII</u>	Stgo-Valpo
1985 04 09	01:56:59.48	-34.131	-71.618	37.0	7.2		
1987 03 05	09:17:05.28	-24.338	-70.161	62.0	7.3	<u>VII</u>	Arica
1995 07 30	05:11:21.00	-23.364	-70.312	47.0	7.3	<u>VII</u>	Antofagasta

Imax: Sergio Barrantos, 1980

Imax: CERESIS, 1985

Imax: Biblioteca Geofísica

Según Montessus de Ballore los daños en la ciudad de Valparaíso se debieron fundamentalmente a la mala calidad de los materiales empleados en la construcción y a la falta de aplicación de reglas técnicas en la construcción asísmica de los diferentes tipos de edificaciones. Otro factor de vital importancia en los daños producidos como efecto directo del sismo, se puede asociar al suelo de fundación donde se encontraba emplazada gran parte de la ciudad de Valparaíso, ya que este correspondía a rellenos artificiales y depósitos aluvionales. Esto provocó que el barrio El Almendral resultara completamente destruido, no así las edificaciones que se encontraban ubicadas en los cerros del puerto. En este último lugar, los suelos corresponden fundamentalmente a suelos rocosos que responden de una mejor manera en casos de eventos sísmicos.

Además de la destrucción propia de la ciudad por causas directas del sismo, se añadieron los daños provocados por el incendio que afectó a la ciudad. Este duró 4 días en extinguirse, ya que la red de agua de la ciudad se encontraba destruida debido al sismo.

### **3.3.2 Sismo del 11 de noviembre de 1922**

Este sismo se conoce como el terremoto de Atacama, donde se sintieron dos grandes sacudidas. Su epicentro se ubicó al sudoeste de la ciudad de Vallenar y tuvo una magnitud de 8.3 en la escala de Richter.

Los daños más graves se observaron en la ciudad de Copiapó. El terremoto fue acompañado por un tsumani que azotó la costa de la región afectada. Sus principales efectos se observaron en las ciudades de Huasco y Caldera, con alturas de olas de elevación lenta y gradual sobre el nivel de marea alta en la zona más afectada.

### 3.3.3 Sismo de Talca de 1928

El 1º de Diciembre de 1928, la zona centro sur de Chile se vio afectada por un sismo de magnitud 8.0 en la escala de Richter (CERESIS, 1985) y alcanzó una intensidad máxima de IX grados en la escala de Mercalli Modificada (Kausel, 1995) en la ciudad de Talca, que resultó ser una de las más afectadas por este terremoto. Por esta razón este evento es conocido como el terremoto de Talca o como el terremoto del Valle del Maule.

Este sismo fue percibido por la población desde Antofagasta hasta Puerto Montt.

Uno de los trabajos más importantes sobre este sismo corresponde al desarrollado por Bobilier (1930), en el cual se confeccionó un mapa de curvas isosistas y le asignó intensidades a las diferentes localidades afectadas, luego Kausel hace un nuevo estudio de las intensidades con base a la descripción de daños que da Bobilier en su trabajo, del cual queda en evidencia que la descripción de daños no siempre guarda relación con las intensidades con que Bobilier confeccionó el mapa de curvas de isosistas.

Según Kausel las intensidades locales, para algunas localidades son (Kausel, 1995):

<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>
Talca	VIII-IX	Parral	VII-VIII
Constitución	VIII-IX	Chillán	VII-VIII
Linares	VIII	Concepción	VI-VII

### 3.3.4 Sismo del 24 de Enero de 1939

Este sismo tuvo efectos destructivos entre las ciudades de Linares y Los Angeles y a lo ancho de todo el territorio en dicha región. Registró una magnitud 7.8 en la escala de Richter, siendo Chillán y Concepción las ciudades más afectadas

por el evento donde se registraron intensidades de IX y VII grados respectivamente, en la escala de Mercalli Modificada (Comisión Gubernativa, 1940).

En Chillán resultaron destruidas un 50% de las viviendas, las que en su mayoría eran de adobe y techumbre de tejas. También resultaron con graves daños estructuras de albañilería no reforzada. Las estructuras de hormigón fueron las que mejor resistieron el movimiento sísmico, pero algunas fallaron totalmente debido a la falta de concepción antisísmica.

En el Informe de la Comisión Gubernativa sobre el Terremoto de 1939, publicado en los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, se realiza una detallada descripción de los daños sufridos por cada tipo de estructura según su material de construcción y las características del suelo de fundación. Un resumen de estos daños se detallan en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 . Destrucción de la ciudad de Chillán 1939 (Flores, 1993).**

Tipo de Edificación	% del Total de las viviendas analizadas	% de viviendas en buen estado	% de viviendas deterioradas	% de viviendas semidestruidas	% de viviendas derrumbadas
Adobe	62.6	-	35	8	59
Ladrillos	24.2	-	43	13	44
Madera	3.0	4	8	8	-
Albañilería con cadenas de H A	4.5	53	31	5	11
Hormigón Armado	0.2	80	-	20	-
Tabique de Adobe	5.5	-	86	8	6

Las viviendas analizadas corresponden a un número de 3.482

Intensidades locales, según la escala Mercalli Modificada, para algunas localidades son (Comisión Gubernativa, 1940):

LOCALIDAD	Int	LOCALIDAD	Int
Chillán	IX	Concepción	VI-VII
Parral	VIII	Talcahuano	VI
Tomé	VII		

### 3.3.5 Sismo del 21 de Mayo de 1960

Este sismo registró una magnitud 7.3 en la escala de Richter, su epicentro estuvo ubicado cerca de la península de Arauco a 80 kms de la costa frente a Lebu (Watanabe y Karzulovic, 1960). Su acción destructiva abarcó la zona comprendida entre los paralelos 36° 30' y 38° de latitud sur. Las intensidades máximas observadas, en la escala de Mercalli Modificada, fueron de X a XI en la localidad de Lebu y grado IX en la ciudad de Concepción. En la zona costera comprendida entre ambas localidades fue donde se detectaron las mayores intensidades. El efecto del sismo también se hizo sentir al interior de la región afectada en un tramo de casi 120 kms. de ancho de este a oeste, siendo las localidades de Los Angeles y Nacimiento las más afectadas en esta zona.

Los daños de mayor consideración se registraron en la ciudad de Concepción, donde se produjo la destrucción total de la mayoría de los edificios antiguos de ladrillos y la caída de numerosas paredes cortafuegos. La Ciudad Universitaria también se vio dañada, registrándose grietas en los edificios de concreto. Este sismo a la vez sirvió para demostrar que los edificios de hormigón armado construidos según las normas de diseño de la época resistieron sin problemas las sollicitaciones sísmicas. La zona más afectada dentro de la ciudad corresponde a aquella ubicada en las cercanías al río.

Este sismo trajo consigo un tsunami que hizo que el mar se recogiera 300 a 500 mts en la costa de Lebu sin provocar daños. La costa de Lebu también sufrió un sollevamiento de 12 mts.

### **3.3.6 El Sismo del 22 de Mayo de 1960.**

En este día se registraron dos sismos, el primero con epicentro cercano a la Isla de Chiloé y el segundo y más violento tuvo su epicentro a unos 150 kms. al frente de la ciudad de Valdivia y registró una magnitud 8.5 en la escala de Richter y una intensidad máxima de grado X (en rellenos artificiales) en la escala de Mercalli Modificada en la ciudad de Valdivia. En la zona baja de Pto. Montt se registraron intensidades que varían entre los grados IX-X y en la parte alta de la ciudad se registraron intensidades de VII a VIII en la misma escala.

La zona afectada por este sismo está comprendida entre los paralelos 38° y 44° de latitud sur, su violencia fue mayor en aquellas localidades ubicadas próximas al mar. En numerosos lugares entre Dichato y Ancud, el sismo fue acompañado por un tsunami cuyo efecto resultó ser tanto o más destructor que el propio terremoto. Las zonas más afectadas por el tsunami fueron Valdivia, Pto. Saavedra y Pto. Toltén.

Intensidades locales según la escala de Mercalli Modificada, para algunas localidades son (Watanabe, Karzulovic, 1960):

<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>
Temuco	VI-VII	Osorno	VII-VIII
Victoria	VII-VIII	Pto. Montt Bajo	X-XI
Valdivia	X	Pto. Montt Alto	VII-VIII

### **3.3.7 El Sismo del 28 de Marzo de 1965**

Una descripción de los daños producidos por este evento se puede encontrar en el trabajo realizado por J. Monge, L. Rosemberg y otros ingenieros, 1965, en el cual se describen los principales daños que experimentaron los diferentes tipos de estructuras considerando tanto el material utilizado para su construcción como la zona de ubicación de dichas estructuras.



El epicentro de este movimiento se ubicó entre las ciudades de Cabildo y La Ligua alcanzando una magnitud 7.1 en la escala de Richter. El movimiento, se hizo sentir entre los paralelos 26° - 40° de latitud sur, pero sus efectos destructores se concentraron en la zona comprendida entre Illapel al norte y San Bernardo por el sur (Kausel, 1965), siendo las ciudades más afectadas las ciudades de Viña del Mar, Valparaíso y Santiago, donde la intensidad del sismo alcanzó grado VIII en la escala de Mercalli Modificada.

El número de víctimas registradas para este sismo fue de 380 víctimas, de las cuales 222 fueron a causa de la avalancha del tranque de relave El Cobre el cual sufrió una fuerte licuación y luego el vaciamiento que arrasó con un poblado minero que se ubicaba en las faldas del tranque. El resto de las víctimas se deben a derrumbes de cornisas y otras causas.

Los daños más destacables de este sismo corresponden a:

- i. Rotura de tranques de relave, de un total de 12 tranques existentes, 8 fueron totalmente destruidos, 1 sufrió agrietamiento de consideración y sólo 3 de ellos resultaron sin daños.
- ii. Agrietamiento de un gran número de estanques de hormigón armado situados en las partes superiores de los edificios.
- iii. Las estructuras de albañilería sufrieron daños en las juntas de mortero.
- iv. Al igual que en otros sismos, quedaron en evidencia los efectos de las juntas de hormigonado y de dilatación mal confeccionadas (Aliste, Moraga 1965).

Intensidades locales, según la escala de Mercalli Modificada, para algunas localidades son (Kausel, 1965):

<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>
Copiapó	II	Santiago	VII
La Serena	V	Rancagua	V-VI
Los Andes	VII-VIII	Curicó	V
San Felipe	VIII	Linares	IV
Quilpué	VII	Concepción	IV
Viña del Mar	VIII	Talcahuano	VI
Valparaíso	VII	Temuco	III
		Valdivia	II

### **3.3.8 El Sismo del 28 de Diciembre de 1966.**

Este sismo registró una magnitud 7.8 en la escala de Richter y se hizo sentir desde Arica por el norte hasta la provincia de Aconcagua por el sur, siendo la ciudad de Taltal la que sufrió los mayores efectos destructores del sismo y en donde la intensidad fue de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada (Muñoz, 1973), dado que el epicentro se ubicó aproximadamente a unos 50 Kms. de dicha localidad (Kausel, 1967).

Fdo. González C. (1970) hizo un estudio detallado de los daños producidos en la ciudad de Taltal, lo que le permitió hacer una microzonificación sísmica de esta ciudad.

Las estructuras con los daños más severos fueron aquellas estructuradas con tabiquerías de madera rellenas con hormigón, las que sufrieron agrietamiento o colapso. El hormigón de estas estructuras presentaba un gran deterioro debido al uso de áridos con una alta concentración de sales.

Intensidades locales, según la escala de Mercalli Modificada, para algunas localidades son (Kausel, 1967):

<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>
Arica	III	Copiapó	V-VI
Iquique	III-IV	Vallenar	V
Antofagasta	V	La Serena	IV
Taltal	VII	Coquimbo	IV
Ovalle	IV-V		

### **3.3.9 El Sismo del 20 de Diciembre de 1967**

Este sismo afectó parcialmente al norte de Chile, tuvo una magnitud 6.2 en la escala de Richter (Martin, 1990). Su epicentro se ubicó a 25 kms. al Noroeste de la ciudad de Tocopilla, la que resultó ser la más afectada y donde se registraron intensidades VII-VIII en la escala MSK-64 (Kort, 1968).

La intensidad grado VIII se registró en un pequeño sector de la ciudad, el cual reviste gran importancia por la existencia de edificaciones vitales, como escuelas y el hospital entre otras.

En las estructuras de hormigón armado se produjeron daños principalmente en los tabiques interiores hechos con bloques de hormigón, en balcones y chimeneas existentes que se agrietaron. El hormigón que sufrió agrietamiento en los muros interiores de bloques, mostró al picarlo que había sido atacado por sales (Sulfatos y Alcalis) propios de los áridos existentes en la región.

En lo que se refiere al comportamiento observado en las viviendas de la ciudad, las más afectadas fueron aquellas cuyos muros estaban construidos con bloques huecos de hormigón, presentando fallas por falta de adherencia entre los bloques y el mortero y también a causa que en aquellas que poseían sobrecimientos altos, estos tuvieron que trabajar como muros de contención, lo cual los debilitó (Kort, 1968).

El trabajo de I. Kort (1968) estudia la forma y las causas que llevaron al colapso o daños leves a una variedad interesante de estructuras, las cuales van desde viviendas de madera hasta el hospital de Tocopilla. También se estudian diferentes escuelas, el edificio de la Compañía de Teléfonos y de Carabineros, cubriendo una gran gama de estructuras en cuanto a los materiales empleados en su construcción y a su ubicación geográfica en la ciudad.

### **3.3.10 El Sismo del 8 de Julio de 1971.**

Este sismo registró una magnitud 7.5 en la escala de Richter, causó daños de consideración entre los paralelos 31° y 34° de latitud sur. El epicentro se ubicó en el mar a pocos kilómetros de Papudo, las intensidades máximas fueron de IX en la escala de Mercalli Modificada y se registraron en las localidades de La Ligua e Illapel.

En La Ligua se observó el colapso casi total de las casas de adobe, y las estructuras de hormigón armado que se dañaron fueron aquellas que presentaban asimetrías importantes en planta.

El puerto de San Antonio resultó con daños de consideración, donde numerosas estructuras de hormigón armado colapsaron debido al asentamiento de su suelo de fundación.

Los edificios altos modernos de Viña del Mar y Valparaíso, no tuvieron daños de consideración. Resultaron afectados aquellos que poseían estanque de agua potable elevados donde su estructura soportante sufrió daños. También se presentaron fallas en los edificios de estructuración irregular, en que la transferencia de carga no seguía un plan sencillo y continuo.

Intensidades locales, según la escala de Mercalli Modificada, para algunas localidades son (Investigadores U. de Chile, 1972):

<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>Int</b>
Illapel	IX	Viña del Mar	VIII
La Ligua	IX	Santiago	VI-VII
Valparaíso	VIII		

### **3.3.11 El Sismo del 3 de Marzo de 1985.**

El epicentro de este sismo se ubicó al frente de Algarrobo a 40 kms. de la costa y a 15 kms de profundidad, su magnitud fue de 7.8 en la escala de Richter. El movimiento tuvo una duración de 2 minutos, y se hizo sentir entre Copiapó y Temuco (R.Flores et al 1993).

Por sus características, este terremoto es el más destructor que haya afectado a la zona central en el presente siglo después del sismo de Agosto de 1906.

En Viña del Mar y Reñaca se observó un gran número de derrumbes en zonas de dunas y de rellenos artificiales, produciendo daños en estructuras y obras viales emplazadas en estos terrenos o cercanas a estos.

Se registraron severos daños en instalaciones portuarias en Valparaíso y San Antonio, así mismo se vieron afectadas numerosas obras de infraestructura vial y diversos servicios esenciales. Estos temas son tratados ampliamente en varias publicaciones, destacando entre ellas la publicación "El Sismo del 3 de Marzo de 1985 - Chile" elaborada por un grupo de ingenieros e investigadores de la Universidad de Chile.

Las viviendas que resultaron más dañadas fueron aquellas construidas de adobe y albañilería sin reforzar, ubicadas en los barrios antiguos de las ciudades más afectadas. En las viviendas de albañilería armada y confinada, los daños fueron menores en la medida que se cumplían las disposiciones y limitaciones de diseño que establecen las normas de diseño y cálculo de este tipo de edificios.