

RESUMEN

ESTIMACION PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LOS HOSPITALES REGIONAL DE TEMUCO Y BASE DE PUERTO MONTT

La vulnerabilidad sísmica de un centro hospitalario queda determinada por el nivel de servicio que deben garantizar sus servicios clínicos y de apoyo, para satisfacer las demandas de la comunidad durante y después de un evento sísmico severo.

El objetivo de esta memoria es realizar una estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de los Hospitales Regional de Temuco y Base de Puerto Montt, como parte de un proyecto más amplio, con participación del Ministerio de Salud y de la Organización Panamericana de la Salud, que persigue conocer el estado actual del Sistema de Salud Pública en Chile ante la amenaza de eventos sísmicos.

Para la evaluación de los centros hospitalarios, se divide el estudio en una parte estructural y una no estructural. En el ámbito estructural se utilizan metodologías cuantitativas, basadas en una serie de índices que representan globalmente el comportamiento sísmico de la estructura. En la parte no estructural, se analizan diversos aspectos cualitativos que abarcan desde las características propias del elemento evaluado y de su disposición, hasta su impacto en la función que debe prestar el hospital.

Para conseguir el objetivo planteado, se seleccionan en cada hospital las edificaciones que concentran la mayor cantidad de servicios de importancia, con el objetivo de representar en la mejor forma posible la capacidad de funcionamiento del centro hospitalario ante un evento sísmico severo.

Finalmente, se concluye que la metodología empleada en esta memoria, permite detectar en forma preliminar los aspectos vulnerables que pueden poner en riesgo la adecuada capacidad de respuesta de los hospitales ante un evento sísmico.

AGRADECIMIENTOS

Esta memoria significa el final de una etapa y el logro de una de las metas más importantes que me propuse en mi vida. Fueron años de estudio, sacrificio, constancia y dedicación, durante los cuales un gran número de personas me entregaron su apoyo y colaboración. Por eso he querido aprovechar esta oportunidad para expresar mis sinceros agradecimientos a todas esas personas que de una u otra forma colaboraron y acompañaron durante mi carrera y aquellas otras que han hecho posible la realización de esta memoria.

A mis padres y hermanos que se entregaron por completo y me han apoyado incondicionalmente siempre, y en especial durante esta importante etapa de mi vida.

A mis profesores guías Srs. Maximiliano Astroza y Rubén Boroschek por darme la oportunidad de participar en este interesante proyecto y por guiar e incentivar me durante todo el desarrollo de este trabajo.

A los Srs. Luis Busco y Agustín Gallardo del Ministerio de Salud y al personal del hospital de Temuco y Puerto Montt por su colaboración y apoyo.

A mis amigos, compañeros de estudio y compañeros de trabajo por sus oportunos consejos y apoyo.

En forma especial quiero agradecer a la Sra. Mariela Mualin por su desinteresada colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Por último, quiero agradecer a mi esposa Carola y a mi hijo Matías dos seres maravillosos que me han sabido comprender y me han apoyado en todo momento y a quienes dedico en forma muy especial esta memoria.

Sinceramente, a todos aquellos que de una u otra forma han colaborado en el desarrollo de este trabajo les digo **GRACIAS**.

*Con mucho cariño
dedico este trabajo a
mis padres, hermanos,
señora e hijo.*

Alvaro Latorre S.

INDICE

	Pág
CAPITULO 1 INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO	2
1.2 ANTECEDENTES GENERALES	2
1.3 ORGANIZACION DEL TRABAJO	4
CAPITULO 2 SISMICIDAD REGIONAL	6
2.1 INTRODUCCION	7
2.2 ANTECEDENTES GENERALES	7
2.3 SISMICIDAD CHILENA	10
2.3.1 Estudios de regionalización sísmica	11
2.4 HISTORIA SISMICA DE LAS ZONAS DE LOS HOSPITALES	21
2.4.1 Sismos importantes que han afectado las zonas de los hospitales en estudio	21
2.4.2 Daños provocados por el sismo del 22 de mayo de 1960 en la ciudad de Temuco	27
2.4.3 Daños provocados por el sismo del 22 de mayo de 1960 en la ciudad de Puerto Montt	27
2.5 TSUNAMI	31
CAPITULO 3 CRITERIOS DE ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DE HOSPITALES	33
3.1 INTRODUCCION	34
3.2 VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	36
3.2.1 Método de Hirosawa	36
3.2.1.1 Cálculo del índice I_2	37
3.2.1.2 Cálculo del Índice de Juicio Sísmico I_{50}	48

3.2.2	Indices de Shiga	51
3.2.2.1	Valor mínimo para el índice de Shiga	54
3.2.3	Índice de densidad de muros de Meli (1991)	56
3.2.3.1	Valor mínimo para el índice de Meli	59
3.2.4	Variación de las características del edificio con la altura	60
3.2.4.1	Variación del área de planta entre pisos consecutivos	60
3.2.4.2	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos	61
3.2.4.3	Variación de la rigidez entre pisos consecutivos	63
3.2.4.4	Excentricidad del piso	64
3.2.4.5	Variación del peso entre pisos consecutivos	65
3.2.5	Determinación de los índices a calcular	66
3.2.6	Comentarios al cálculo de la vulnerabilidad	66
3.2.6.1	Método de Hirosawa	66
3.3	VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	68
3.3.1	Elementos no estructurales en estudio	69
3.3.2	Procedimientos de evaluación	70
3.3.3	Etapas de la evaluación	72
3.3.3.1	Selección de servicios clínicos y de apoyo	72
3.3.3.2	Selección de equipos médicos	73
3.3.3.3	Clasificación de equipos	75
3.3.3.4	Visualización de posibles riesgos	76
3.3.3.5	Visita a terreno	76
3.3.3.6	Clasificación de la evaluación	77
	CAPITULO 4 DESCRIPCION DE LOS CENTROS HOSPITALARIOS	80
4.1	INTRODUCCION	81
4.2	HOSPITAL REGIONAL DE TEMUCO	81
4.2.1	Antecedentes generales	81

4.2.2	Suelo de fundación	89
4.2.3	Características de los cuerpos seleccionados	92
4.2.3.1	Cuerpo A	93
4.2.3.1.1	Descripción de la estructura	93
4.2.3.1.2	Descripción de los elementos no estructurales	95
4.2.3.2	Cuerpo B	96
4.2.3.2.1	Descripción de la estructura	96
4.2.3.2.2	Descripción de los elementos no estructurales	99
4.2.3.3	Cuerpo D1	100
4.2.3.3.1	Descripción de la estructura	100
4.2.3.3.2	Descripción de los elementos no estructurales	102
4.2.3.4	Cuerpo D2	102
4.2.3.4.1	Descripción de la estructura	102
4.2.3.4.2	Descripción de los elementos no estructurales	104
4.2.4	Líneas Vitales	105
4.2.4.1	Red de agua potable	105
4.2.4.2	Red de oxígeno	105
4.2.4.3	Red de alcantarillado	105
4.2.4.4	Sistema de energía	106
4.2.4.5	Central de telecomunicaciones	107
4.3	HOSPITAL BASE DE PUERTO MONIT	108
4.3.1	Antecedentes generales	108
4.3.2	Suelo de fundación	110
4.3.3	Características de los cuerpos seleccionados	116
4.3.3.1	Calidad de los materiales	117
4.3.3.2	Características de los elementos no estructurales	117
4.3.3.3	Características de los elementos estructurales	118
4.3.3.3.1	Cuerpo C	118
4.3.3.3.2	Cuerpo D	119

4.3.3.3	Cuerpo E	121
4.3.3.4	Cuerpo K	122
4.3.3.5	Cuerpo L	123
4.3.3.6	Cuerpo M	124
4.3.4	Líneas Vitales	126
4.3.4.1	Red de agua potable	126
4.3.4.2	Red de oxígeno	126
4.3.4.3	Red de alcantarillado	126
4.3.4.4	Sistema de energía	127
4.3.4.5	Central de telecomunicaciones	128
CAPITULO 5 RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS PRELIMINARES		129
5.1	INTRODUCCION	130
5.2	CONSIDERACIONES GENERALES	130
5.3	HOSPITAL REGIONAL DE TEMUCO	133
5.3.1	Cuerpo A	134
5.3.1.1	Cálculo del peso sísmico	134
5.3.1.2	Determinación de los índices a calcular	136
5.3.1.3	Índice de Hirosawa (I_2)	138
5.3.1.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	148
5.3.1.4	Índices de Shiga (I_m , I_c e I_l)	150
5.3.1.4.1	Evaluación de los índices de Shiga	152
5.3.1.5	Índice de Meli (I_{mm})	153
5.3.1.5.1	Evaluación del índice de Meli	154
5.3.1.6	Variación de las características del edificio con la altura	155
5.3.1.6.1	Variación del área de planta entre pisos consecutivos	155
5.3.1.6.2	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos	156
5.3.1.6.3	Variación de la rigidez de entrepiso	157

5.3.1.6.4	Excentricidad del piso	160
5.3.1.6.5	Variación del peso entre pisos consecutivos	162
5.3.1.7	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	163
5.3.2	Cuerpo B	164
5.3.2.1	Cálculo del peso sísmico	164
5.3.2.2	Determinación de los índices a calcular	166
5.3.2.3	Índice de Hirosawa (I_2)	168
5.3.2.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	177
5.3.2.4	Índices de Shiga (I_m , I_c e I_r)	179
5.3.2.4.1	Evaluación de los índices de Shiga	181
5.3.2.5	Índice de Meli (I_{mm})	182
5.3.2.5.1	Evaluación del índice de Meli	183
5.3.2.6	Variación de las características del edificio con la altura	184
5.3.2.6.1	Variación del área de planta entre pisos consecutivos	184
5.3.2.6.2	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos	185
5.3.2.6.3	Variación de la rigidez de entrepiso	186
5.3.2.6.4	Excentricidad del piso	188
5.3.2.6.5	Variación del peso entre pisos consecutivos	190
5.3.2.7	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	191
5.3.3	Cuerpo D1	192
5.3.3.1	Cálculo del peso sísmico	192
5.3.3.2	Determinación de los índices a calcular	194
5.3.3.3	Índice de Hirosawa (I_2)	195
5.3.3.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	202
5.3.3.4	Índice de Meli (I_{mm})	204
5.3.3.4.1	Evaluación del índice de Meli	205
5.3.3.5	Variación de las características del edificio con la altura	206
5.3.3.5.1	Variación del área de planta entre pisos consecutivos	206
5.3.3.5.2	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos	207

5.3.3.5.3	Variación de la rigidez de entrepiso	208
5.3.3.5.4	Excentricidad del piso	208
5.3.3.5.5	Variación del peso entre pisos consecutivos	210
5.3.3.6	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	210
5.3.4	Cuerpo D2	211
5.3.4.1	Cálculo del peso sísmico	211
5.3.4.2	Determinación de los índices a calcular	213
5.3.4.3	Índice de Hirosawa (I_2)	214
5.3.4.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	221
5.3.4.4	Índices de Shiga (I_m , I_c e I_l)	223
5.3.4.4.1	Evaluación de los índices de Shiga	224
5.3.4.5	Índice de Meli (I_{umm})	225
5.3.4.5.1	Evaluación del índice de Meli	226
5.3.4.6	Variación de las características del edificio con la altura	227
5.3.4.6.1	Variación del área de planta entre pisos consecutivos	227
5.3.4.6.2	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos	228
5.3.4.6.3	Variación de la rigidez de entrepiso	229
5.3.4.6.4	Excentricidad del piso	229
5.3.4.6.5	Variación del peso entre pisos consecutivos	231
5.3.4.7	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	232
5.3.5	Estanque elevado sobre cuerpo B	232
5.3.5.1	Cálculo del peso sísmico	232
5.3.5.2	Determinación de los índices a calcular	233
5.3.5.3	Índice de Hirosawa (I_2)	233
5.3.5.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	236
5.3.5.4	Índices de Shiga (I_m , I_c e I_l)	237
5.3.5.4.1	Evaluación de los índices de Shiga	238
5.3.5.5	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	239
5.3.6	Vulnerabilidad de los elementos no estructurales	239

5.3.6.1	Componentes arquitectónicos	239
5.3.6.2	Líneas vitales	245
5.3.6.3	Equipamiento	249
5.4	HOSPITAL BASE DE PUERTO MONTT	256
5.4.1	Vulnerabilidad de los elementos estructurales	256
5.4.1.1	Cálculo del peso sísmico	257
5.4.1.2	Determinación de los índices a calcular	259
5.4.1.3	Índice de Hirosawa (I_2)	261
5.4.1.3.1	Evaluación del índice de Hirosawa	274
5.4.1.4	Índices de Shiga (I_m , I_c e I_d)	275
5.4.1.4.1	Evaluación de los índices de Shiga	278
5.4.1.5	Índice de Meli (I_{mm})	278
5.4.1.5.1	Evaluación del índice de Meli	280
5.4.1.6	Variación de las características del edificio con la altura—	280
5.4.1.6.1	Excentricidad del piso	280
5.4.1.7	Evaluación de la vulnerabilidad estructural	282
5.4.2	Vulnerabilidad de los elementos no estructurales	283
5.4.2.1	Componentes arquitectónicos	283
5.4.2.2	Líneas vitales	286
5.4.2.3	Equipamiento	289
5.4.3	Suelo de fundación	294
CAPITULO 6 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LOS HOSPITALES		295
6.1	INTRODUCCION	296
6.2	HOSPITAL REGIONAL DE TEMUCO	296
6.2.1	Ficha del hospital	296
6.2.2	Vulnerabilidad estructural	301

6.2.3	Vulnerabilidad no estructural	301
6.2.4	Vulnerabilidad de los servicios clínicos y de apoyo	305
6.2.5	Vulnerabilidad asociada al Hospital Regional de Temuco	306
6.3	HOSPITAL BASE DE PUERTO MONTT	307
6.3.1	Ficha del hospital	307
6.3.2	Vulnerabilidad estructural	314
6.3.3	Vulnerabilidad no estructural	314
6.3.4	Vulnerabilidad de los servicios clínicos y de apoyo	318
6.3.5	Vulnerabilidad asociada al Hospital Base de Puerto Montt	319
CAPITULO 7 RESUMEN Y CONCLUSIONES		320
REFERENCIAS		326

ANEXOS

ANEXO A	Plantas estructurales, Hospital Regional de Temuco.
ANEXO B	Elevaciones de ejes, Hospital Regional de Temuco.
ANEXO C	Fotografías, Hospital Regional de Temuco.
ANEXO D	Plantas estructurales, Hospital Base de Puerto Montt.
ANEXO E	Elevaciones de ejes, Hospital Base de Puerto Montt.
ANEXO F	Fotografías, Hospital Base de Puerto Montt.
ANEXO G	Informes de mecánica de suelos realizados en el Hospital Base de Puerto Montt
ANEXO H	Descripciones de las características a considerar en el cálculo del factor S_d del índice de Hirosawa.

INDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 2.1	Valor de la aceleración efectiva A_0 15
Tabla 3.1	Valores de los coeficientes α_i 41
Tabla 3.2	Valores de G_i y R_i 45
Tabla 3.3	Valores del índice T para diferentes causas y tipos de deterioro 46
Tabla 3.4	Clasificación de daños causados por sismos (Iglesias et al., 1987) 47
Tabla 3.5	Rangos de I_2 en función del factor R 51
Tabla 3.6	Relación entre la densidad de muros (I_{mm}) y el nivel de daño 56
Tabla 3.7	Relación entre el nivel de daños y la densidad de muros (Astroza et al., 1993) 57
Tabla 3.8	Categoría de daños 58
Tabla 3.9	Servicios prioritarios ante una emergencia 72
Tabla 3.10	Aspectos a considerar en la Vulnerabilidad de Elementos no Estructurales 78
Tabla 3.11	Aspectos a evaluar en el impacto en el sistema de elementos no estructurales 79
Tabla 4.1	Servicios médicos que funcionan en el hospital antiguo 84
Tabla 4.2	Servicios médicos que funcionan en el CDT 85
Tabla 4.3	Identificación de cada cuerpo 86
Tabla 4.4	Servicios médicos que funcionan en el cuerpo A 87
Tabla 4.5	Servicios médicos que funcionan en el cuerpo B 87
Tabla 4.6	Servicios médicos que funcionan en el cuerpo D1 88
Tabla 4.7	Servicios médicos que funcionan en el cuerpo D2 88
Tabla 4.8	Servicios médicos que funcionan en el cuerpo C 88
Tabla 4.9	Definición de los tipos de suelo de fundación, según la NCh433.Of93 91
Tabla 4.10	Altura de entre piso de los cuerpos del Edificio Central 92
Tabla 4.11	Area de planta de cada piso, Cuerpo A 94
Tabla 4.12	Area de planta de cada piso, Cuerpo B 97
Tabla 4.13	Area de planta de cada piso, Cuerpo D1. 100

Tabla 4.14	Area de planta de cada piso, Cuerpo D2.	103
Tabla 4.15	Características generales de los grupos electrógenos	106
Tabla 4.16	Servicios clínicos y otros servicios abastecidos por los grupos electrógenos	107
Tabla 4.17	Servicios que funcionan en cada cuerpo del Hospital Base de Puerto Montt	109
Tabla 4.18	Presión de contacto de algunos cuerpos del Hospital de Puerto Montt .	115
Tabla 4.19	Características generales del grupo electrógeno	127
Tabla 4.20	Servicios clínicos y otros servicios abastecidos por los grupos electrógenos	128
Tabla 5.1	Peso sísmico para cada piso del Cuerpo A	134
Tabla 5.2	Distribución del peso por elemento, Cuerpo A	135
Tabla 5.3	Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería, Cuerpo A . .	136
Tabla 5.4	Valores del factor FC_j , Cuerpo A	137
Tabla 5.5	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo A dirección longitudinal	138
Tabla 5.6	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo A dirección longitudinal	139
Tabla 5.7	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo A dirección transversal	139
Tabla 5.8	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo A dirección transversal	140
Tabla 5.9	Indices de resistencia del Cuerpo A, dirección longitudinal	140
Tabla 5.10	Indices de resistencia del Cuerpo A, dirección transversal	141
Tabla 5.11	Valores de α_i y F, Cuerpo A	142
Tabla 5.12	Valores de E_o del Cuerpo A	142
Tabla 5.13	Valores de los factores T_i , Cuerpo A	144
Tabla 5.14	Valores del índice I_2 , Cuerpo A	145
Tabla 5.15	Valores modificados de α_i y F, Cuerpo A	146
Tabla 5.16	Valores modificados de E_o e I_2 , Cuerpo A	146
Tabla 5.17	Valores de E_o e I_2 del Cuerpo A con $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	147
Tabla 5.18	Area total de muros y columnas, Cuerpo A	150
Tabla 5.19	Area de planta, Cuerpo A	151

Tabla 5.20	Valores de los índices I_m , I_c e I_1 , Cuerpo A	152
Tabla 5.21	Valores de $(I_m)_{\min}$ para el cuerpo A	153
Tabla 5.22	Area total de muros de albañilería equivalente	154
Tabla 5.23	Valores del índice I_{mm} para el cuerpo A	154
Tabla 5.24	Valores de $(I_{mm})_{\min}$ para el cuerpo A	155
Tabla 5.25	Variación del área de planta entre pisos consecutivos, Cuerpo A	156
Tabla 5.26	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos, Cuerpo A	157
Tabla 5.27	Variación de la rigidez de entrepiso del cuerpo A en la dirección longitudinal	158
Tabla 5.28	Variación de la rigidez de entrepiso del cuerpo A en la dirección transversal	159
Tabla 5.29	Excentricidad de cada piso del cuerpo A	160
Tabla 5.30	Calificación de la excentricidad del cuerpo A	161
Tabla 5.31	Variación del peso entre pisos consecutivos, Cuerpo A	162
Tabla 5.32	Peso sísmico para cada piso del Cuerpo B	164
Tabla 5.33	Distribución del peso por elemento, Cuerpo B	165
Tabla 5.34	Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería, Cuerpo B . . .	166
Tabla 5.35	Valores del factor FC_j , Cuerpo B	167
Tabla 5.36	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo B dirección longitudinal	168
Tabla 5.37	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo B dirección longitudinal	169
Tabla 5.38	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo B dirección transversal	169
Tabla 5.39	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo B dirección transversal	170
Tabla 5.40	Indices de resistencia del Cuerpo B, dirección longitudinal	170
Tabla 5.41	Indices de resistencia del Cuerpo B, dirección transversal	171
Tabla 5.42	Valores de α_i y F , Cuerpo B	172
Tabla 5.43	Valores de E_o del Cuerpo B	172
Tabla 5.44	Valores de los factores T_i , Cuerpo B	174
Tabla 5.45	Valores del índice I_2 , Cuerpo B	175
Tabla 5.46	Valores modificados de α_i y F , Cuerpo B	176

Tabla 5.47	Valores modificados de E_0 e I_2 , Cuerpo B	176
Tabla 5.48	Valores de E_0 e I_2 del Cuerpo B con $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	177
Tabla 5.49	Area total de muros y columnas, Cuerpo B	180
Tabla 5.50	Area de planta, Cuerpo B	180
Tabla 5.51	Valores de los índices I_m , I_c e I_p , Cuerpo B	181
Tabla 5.52	Valores de $(I_m)_{\min}$ para el cuerpo B	182
Tabla 5.53	Area total de muros de albañilería equivalente	183
Tabla 5.54	Valores del índice I_{mm} para el cuerpo B	183
Tabla 5.55	Valor de $(I_{mm})_{\min}$ para el cuerpo B	184
Tabla 5.56	Variación del área de planta entre pisos consecutivos, Cuerpo B	185
Tabla 5.57	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos, Cuerpo B	186
Tabla 5.58	Variación de la rigidez de entrepiso del cuerpo B en la dirección longitudinal	187
Tabla 5.59	Variación de la rigidez de entrepiso del cuerpo B en la dirección transversal	187
Tabla 5.60	Excentricidad de cada piso del cuerpo B	189
Tabla 5.61	Calificación de la excentricidad del cuerpo B	189
Tabla 5.62	Variación del peso entre pisos consecutivos, Cuerpo B	191
Tabla 5.63	Peso sísmico para cada piso del Cuerpo D1	192
Tabla 5.64	Distribución del peso por elemento, Cuerpo D1	193
Tabla 5.65	Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería, Cuerpo D1 . .	194
Tabla 5.66	Valores del factor FC_j , Cuerpo D1	194
Tabla 5.67	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo D1 dirección longitudinal	195
Tabla 5.68	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo D1 dirección longitudinal	196
Tabla 5.69	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo D1 dirección transversal	196
Tabla 5.70	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo D1 dirección transversal	196
Tabla 5.71	Indices de resistencia del Cuerpo D1, dirección longitudinal	197
Tabla 5.72	Indices de resistencia del Cuerpo D1, dirección transversal	197

Tabla 5.73	Valores de α_i y F, Cuerpo D1	197
Tabla 5.74	Valores de E_o del Cuerpo D1	198
Tabla 5.75	Valores de los factores T_i , Cuerpo D1	200
Tabla 5.76	Valores del índice I_2 , Cuerpo D1	200
Tabla 5.77	Valores modificados de α_i y F, Cuerpo D1	201
Tabla 5.78	Valores modificados de E_o e I_2 , Cuerpo D1	201
Tabla 5.79	Valores de E_o e I_2 del Cuerpo D1 con $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	202
Tabla 5.80	Area total de muros de albañilería equivalente	204
Tabla 5.81	Area de planta, Cuerpo D1	205
Tabla 5.82	Valores del índice I_{mm} para el cuerpo D1	205
Tabla 5.83	Valores de $(I_{mm})_{min}$ para el cuerpo D1	206
Tabla 5.84	Variación del área de planta entre pisos consecutivos, Cuerpo D1	207
Tabla 5.85	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos, Cuerpo D1	207
Tabla 5.86	Variación de la rigidez de entrepiso del cuerpo D1	208
Tabla 5.87	Excentricidad de cada piso del cuerpo D1	209
Tabla 5.88	Calificación de la excentricidad del cuerpo D1	209
Tabla 5.89	Variación del peso entre pisos consecutivos, Cuerpo D1	210
Tabla 5.90	Peso sísmico para cada piso del Cuerpo D2	211
Tabla 5.91	Distribución del peso por elemento, Cuerpo D2	212
Tabla 5.92	Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería, Cuerpo D2	213
Tabla 5.93	Valores del factor FC_j , Cuerpo D2	213
Tabla 5.94	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo D2 dirección longitudinal	215
Tabla 5.95	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo D2 dirección longitudinal	215
Tabla 5.96	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería , Cuerpo D2 dirección transversal	215
Tabla 5.97	Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo D2 dirección transversal	216
Tabla 5.98	Indices de resistencia del Cuerpo D2, dirección longitudinal	216
Tabla 5.99	Indices de resistencia del Cuerpo D2, dirección transversal	216

Tabla 5.100	Valores de α_i y F, Cuerpo D2	217
Tabla 5.101	Valores de E_o del Cuerpo D2	218
Tabla 5.102	Valores de los factores T_i , Cuerpo D2	220
Tabla 5.103	Valores del índice I_2 , Cuerpo D2	220
Tabla 5.104	Valores de E_o e I_2 del Cuerpo D2 con $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$	221
Tabla 5.105	Area total de muros y columnas, Cuerpo D2	223
Tabla 5.106	Area de planta, Cuerpo D2	224
Tabla 5.107	Valores de los índices I_m , I_c e I_r , Cuerpo D2	224
Tabla 5.108	Valores de $(I_m)_{\min}$ para el cuerpo D2	225
Tabla 5.109	Area total de muros de albañilería equivalente	226
Tabla 5.110	Valor del índice I_{mm} para el cuerpo D2	226
Tabla 5.111	Valor de $(I_{mm})_{\min}$ para el cuerpo D2	227
Tabla 5.112	Variación del área de planta entre pisos consecutivos, Cuerpo D2	228
Tabla 5.113	Variación de la resistencia entre pisos consecutivos, Cuerpo D2	228
Tabla 5.114	Variación de la rigidez de entrepiso, Cuerpo D2	229
Tabla 5.115	Excentricidad de cada piso del cuerpo D2	230
Tabla 5.116	Calificación de la excentricidad del cuerpo D2	230
Tabla 5.117	Variación del peso entre pisos consecutivos, Cuerpo D2	231
Tabla 5.118	Peso sísmico del estanque elevado del Cuerpo B	233
Tabla 5.119	Area de elementos resistentes del estanque elevado	233
Tabla 5.120	Areas transversales de muros y columnas del estanque elevado en dirección longitudinal	234
Tabla 5.121	Areas transversales de muros y columnas del estanque elevado en dirección transversal	234
Tabla 5.122	Indices de resistencia del estanque elevado en dirección longitudinal	234
Tabla 5.123	Indices de resistencia del estanque elevado en dirección transversal	234
Tabla 5.124	Valores de α_i y F, estanque elevado	235
Tabla 5.125	Valores de E_o del estanque elevado	235
Tabla 5.126	Valores del índice I_2 del estanque elevado	236
Tabla 5.127	Area total de muros y columnas del estanque elevado	237

Tabla 5.128	Valores de los índices I_m , I_c e I_t del Estanque elevado	238
Tabla 5.129	Características de los equipos médicos seleccionados del Hospital Regional de Temuco	252
Tabla 5.130	Características de los equipos médicos seleccionados del Hospital Regional de Temuco	253
Tabla 5.131	Peso sísmico de cada cuerpo	257
Tabla 5.132	Distribución del peso por elemento para cada cuerpo	258
Tabla 5.133	Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería	259
Tabla 5.134	Valores del factor FC_j	260
Tabla 5.135	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería de cada cuerpo en dirección longitudinal	261
Tabla 5.136	Areas de columnas de hormigón armado de cada cuerpo en dirección longitudinal	262
Tabla 5.137	Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería de cada cuerpo en dirección transversal	262
Tabla 5.138	Areas de columnas de hormigón armado de cada cuerpo en dirección transversal	263
Tabla 5.139	Indices de resistencia de cada cuerpo en dirección longitudinal	263
Tabla 5.140	Indices de resistencia de cada cuerpo en dirección transversal	264
Tabla 5.141	Elementos que controlan el modo de falla en cada cuerpo analizado	264
Tabla 5.142	Valores de α_i y F para cada cuerpo	265
Tabla 5.143	Valores de E_o de cada cuerpo	265
Tabla 5.144	Valores del coeficiente S_D para cada cuerpo	272
Tabla 5.145	Valores de los factores T_i de cada cuerpo	273
Tabla 5.146	Valor del índice I_2 para cada cuerpo	274
Tabla 5.147	Area total de muros y columnas de cada cuerpo	276
Tabla 5.148	Area de planta de cada cuerpo	277
Tabla 5.149	Valores de los índices I_m , I_c e I_t de cada cuerpo	277
Tabla 5.150	Valores de $(I_m)_{min}$ para cada cuerpo	278
Tabla 5.151	Area total de muros de albañilería equivalente del cuerpo L	279
Tabla 5.152	Valor del índice I_{mm} para el cuerpo L	279
Tabla 5.153	Valor de $(I_{mm})_{min}$ para el cuerpo L	280

Tabla 5.154	Excentricidad de cada cuerpo	281
Tabla 5.155	Calificación de la excentricidad de cada cuerpo	281
Tabla 5.156	Características de los equipos médicos seleccionados del Hospital Base de Puerto Montt	292
Tabla 5.157	Características de los equipos médicos seleccionados del Hospital Base de Puerto Montt	293
Tabla 6.1	Perfil hospitalario - Hospital Regional de Temuco	297
Tabla 6.2	Perfil hospitalario - Hospital Regional de Temuco	298
Tabla 6.3	Características de los cuerpos A y B - Hospital Regional de Temuco.	299
Tabla 6.4	Características de los cuerpos D1 y D2 - Hospital Regional de Temuco	300
Tabla 6.5	Vulnerabilidad estructural de los cuerpos analizados del hospital de Temuco	301
Tabla 6.6	Vulnerabilidad no estructural del Edificio principal (Cuerpo A, B, D1 y D2) Hospital de Temuco (Elementos arquitectónicos).	302
Tabla 6.7	Vulnerabilidad no estructural del Edificio principal (Cuerpo A, B, D1 y D2) Hospital de Temuco (Equipamiento)	303
Tabla 6.8	Vulnerabilidad no estructural del Hospital de Temuco (Líneas Vitales)	304
Tabla 6.9	Vulnerabilidad de los servicios clínicos y de apoyo del hospital regional de Temuco	305
Tabla 6.10	Perfil hospitalario - Hospital Base de Puerto Montt	308
Tabla 6.11	Perfil hospitalario - Hospital Base de Puerto Montt	309
Tabla 6.12	Características de los cuerpos C y D - Hospital Base de Puerto Montt	310
Tabla 6.13	Características de los cuerpos E1 y E2 - Hospital Base de Puerto Montt	311
Tabla 6.14	Características de los cuerpos K y L - Hospital Base de Puerto Montt	312
Tabla 6.15	Características del cuerpo M - Hospital de Puerto Montt	313
Tabla 6.16	Vulnerabilidad estructural de los cuerpos analizados del hospital Base de Puerto Montt	314
Tabla 6.17	Vulnerabilidad no estructural del hospital Base de Puerto Montt (Elementos arquitectónicos)	315
Tabla 6.18	Vulnerabilidad no estructural del hospital Base de Puerto Montt (Equipamiento)	316

Tabla 6.19	Vulnerabilidad no estructural del hospital Base de Puerto Montt (Lineas Vitales)	317
Tabla 6.20	Vulnerabilidad de los servicios clínicos y de apoyo del hospital Base de Puerto Montt	318

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 2.1	Mapa de ubicación de las placas tectónicas (Bolt, 1978) 9
Fig. 2.2	Regionalización sísmica de Barrientos (1980) 16
Fig. 2.3	Regionalización sísmica de Martin (1990) 17
Fig. 2.4.a	Zonificación sísmica de las regiones I, II y III 18
Fig. 2.4.b	Zonificación sísmica de las regiones IV, V, VI, VII, VIII, IX y R.M. 19
Fig. 2.4.c	Zonificación sísmica de las regiones X, XI y XII 20
Fig. 2.5	Distribución de los daños del sismo de 1960 en la ciudad de Puerto Montt 30
Fig. 3.1	Relación entre los índices de área de muros, área de columnas y la tensión de corte promedio con el daño de la estructura. Shiga (1977) 53
Fig. 4.1	Ubicación del Hospital Regional de Temuco 82
Fig. 4.2	Hospital Regional de Temuco 83
Fig. 4.3	Ubicación del Hospital Base de Puerto Montt 111
Fig. 4.4	Hospital Base de Puerto Montt 112

CAPITULO 1

INTRODUCCION

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El presente Trabajo de Título forma parte del proyecto de estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica del sistema hospitalario chileno, realizado por la Universidad de Chile en conjunto con el Ministerio de Salud y patrocinado por la Organización Panamericana de la Salud (O.P.S.)

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este trabajo es la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de los elementos estructurales y no estructurales del Hospital de Temuco y de Puerto Montt, con la cual se establecerán recomendaciones orientadas a encontrar soluciones de mitigación de riesgos con el fin de proteger tanto a la población como a la inversión realizada en la construcción y equipamiento de los centros hospitalarios.

1.2 ANTECEDENTES GENERALES

La vulnerabilidad sísmica es uno de los aspectos que se deben considerar en todo diseño estructural y arquitectónico, más aún si la región donde se levantará el edificio posee una actividad sísmica constante.

Dado que nuestro país se caracteriza por tener una alta actividad sísmica y los hospitales poseen una importancia vital en cualquier tipo de desastres, nació la inquietud de evaluar el comportamiento de estas estructuras ante un sismo y su capacidad para enfrentar la demanda a la que se ven expuestos durante y después de ocurrido el evento.

Los hospitales son estructuras complejas que pueden sufrir graves daños como consecuencia de un sismo. Además, dadas sus características se consideran estructuras de alto riesgo, de ahí la necesidad de construir las nuevas edificaciones con requisitos adecuados de acuerdo con las amenazas naturales de cada zona. También es necesario evaluar la vulnerabilidad

de las edificaciones existentes con el fin de identificar sus debilidades y diseñar y construir las reestructuraciones que sean necesarias para mitigar sus riesgos.

Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a su alto nivel ocupacional y a su papel fundamental durante situaciones de emergencia y desastres, los hospitales pueden tener en cualquier momento una alta población entre pacientes internos, pacientes ambulatorios, funcionarios, empleados y visitantes. En el caso de un desastre, un hospital debe continuar con el cuidado y tratamiento de los pacientes internados y además, debe atender a las personas que resulten lesionadas o heridas por el mismo. Por lo tanto, el edificio, sus equipos industriales, sus equipos médicos, líneas vitales, etc. deben permanecer en condiciones de servicio, así como también su personal debe estar preparado y entrenado para responder en forma efectiva ante la emergencia.

Un edificio para hospital lo componen distintas áreas, las que tienen funciones determinadas y propias, pero a su vez unas con otras deben cumplir interrelaciones vitales para su buen funcionamiento. La relación entre dichas áreas puede resultar crítica si en el diseño no se considera su adecuado funcionamiento y distribución en el caso de atención masiva de pacientes. Un hospital puede ser víctima de un desastre funcional como consecuencia de esta situación, por lo que resulta necesario detectarla antes de que ocurra la emergencia.

Un edificio puede quedar en pie luego de un evento sísmico y quedar inhabilitado producto de los daños no estructurales. El costo de los elementos no estructurales en este tipo de edificio es considerablemente mayor que el costo de los elementos estructurales. De acuerdo a estudios realizados en Estados Unidos se ha determinado que el 85 a 90% (O.P.S. 1993) del valor total de un hospital moderno está en los elementos arquitectónicos, sistemas mecánicos y eléctricos, en los equipos y contenidos. Además, es importante destacar que un movimiento sísmico de intensidad moderada causará daños mayores en los elementos no estructurales en comparación con los que se producen en elementos estructurales. Por lo tanto, los aspectos más importantes de un hospital, aquellos que se relacionan más directamente con su función, son los que más fácilmente pueden ser afectados o destruidos por los sismos y son los que requieren de una menor inversión para incrementar su seguridad sísmica y prevenir su destrucción.

Es importante destacar que el incremento en la seguridad tanto de los elementos estructurales como no estructurales implica que al momento de un sismo la estructura y los equipos sufrirán daños considerablemente menores y que podrán prestar los servicios establecidos en sus funciones. Este proceso de mitigación de los efectos o daños producidos por un sismo mediante la adopción de medidas adecuadas es una inversión de alta rentabilidad si se considera la cantidad de dinero que generarían las pérdidas producidas por algún desastre.

1.3 ORGANIZACION DEL TRABAJO

En el capítulo 2 se describen aspectos básicos de sismología y se entregan antecedentes generales de la sismicidad chilena y de la historia sísmica de las zonas donde se ubican los hospitales en estudio, la que incluye la información más relevante de los sismos más importantes que han afectado a estas zona durante el presente siglo.

En el capítulo 3 se establecen los criterios y métodos para la evaluación de la vulnerabilidad estructural y no estructural de los edificios seleccionados en cada hospital. Se resumen y explican los índices utilizados en esta evaluación y los límites teóricos que deben satisfacer.

También se entregarán los límites para las variaciones de las cualidades estructurales con la altura del edificio que sirven como dato adicional para detectar irregularidades que generan ciertos riesgos ante la acción de un sismo.

El capítulo 4 tiene como objetivo establecer las características funcionales básicas de cada centro hospitalario, además en él se analiza el sistema estructural, materiales utilizados y todo aquello que caracteriza la capacidad sismorresistente de la estructura.

En el capítulo 5 se entregan los datos recolectados, tanto de los planos estructurales como de las visitas realizadas a cada centro hospitalario, y toda la información necesaria para realizar la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica. Esta evaluación se realiza tanto para los elementos estructurales como no estructurales de los edificios seleccionados en cada hospital

La vulnerabilidad estructural se evalúa a través de índices cuantitativos (Hirosawa, Shiga y Meli) complementándose con las variaciones en altura de algunas características estructurales de los edificios (área de planta, rigidez, resistencia, etc.). Los valores reales obtenidos para cada índice, así como también, las variaciones en altura de las características estructurales se comparan con los valores teóricos descritos en el capítulo 3.

La vulnerabilidad de los elementos no estructurales se determina considerando su disposición, característica e importancia de cada elemento y su interacción con la estructura.

En el capítulo 6 se entrega el resumen de la evaluación sísmica para cada elemento analizado, esta información se entrega en fichas que se llenan con los antecedentes y resultados obtenidos en el capítulo 5.

Por último, el capítulo 7 contiene las conclusiones que se obtienen con los resultados de los capítulos anteriores e incluye recomendaciones generales deducidas de estos resultados y de las visitas realizadas a cada centro hospitalario.