

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
SUMMARY	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
GLOSARIO	xv

PARTE I – INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos y alcance del estudio	1
1.2.1. Motivación	1
1.2.2. Objetivos	2
1.2.3. Alcance	3
1.3. Contenido de la memoria	3
2. ANTECEDENTES y ESTADO DEL ARTE	6
2.1. Introducción	6
2.2. Síntesis de daños observados	6
2.3. Estudios anteriores	15
2.3.1. Iniciativas norteamericanas	15
2.3.2. Iniciativas europeas	17
2.3.3. Otras experiencias	20
2.4. Resumen y discusión	21

PARTE II – CONCEPTOS y MÉTODOS

3. EDIFICACIONES ESENCIALES	23
3.1. Introducción	23
3.2. Concepto de edificaciones esenciales	24
3.2.1. Definición	24
3.2.2. Clasificación	24
3.2.3. Las edificaciones esenciales en las normas sísmicas	26
3.3. Principales características de las edificaciones esenciales	27
3.3.1. Densidad de ocupantes para diferentes horarios	27
3.3.2. Distribución de equipamiento y/o contenido	28
3.3.3. Impacto por fallo de servicios	29
3.3.4. Costo estimado de reposición de daños	29
3.4. Aspectos normativos	30
3.4.1. Filosofía de diseño	30
3.4.2. Factor de importancia	31
3.4.3. Control de los desplazamientos	32
3.4.4. Protección de componentes no estructurales	33
3.5. Resumen y discusión	35

4. VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES ESENCIALES	37
4.1. Introducción	37
4.2. Definiciones	37
4.3. Necesidad de evaluación	39
4.4. Análisis de vulnerabilidad	39
4.4.1. Vulnerabilidad funcional	39
4.4.2. Vulnerabilidad no estructural	41
4.4.3. Vulnerabilidad estructural	43
4.5. Resumen y discusión	43
5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	45
5.1. Introducción	45
5.2. Metodologías de evaluación	45
5.2.1. Generalidades	45
5.2.2. Clasificación de las metodologías	46
5.3. Caracterización de la vulnerabilidad sísmica	48
5.3.1. La acción sísmica	49
5.3.2. El daño sísmico	51
5.3.2.1. Estados o grados de daño	51
5.3.2.2. Indicadores e índices de daño	53
5.3.2.3. Relación entre los estados de daños y los índices de daño	54
5.3.2.4. Otros parámetros empleados para cuantificar el daño	55
5.4. Cuantificación de la vulnerabilidad sísmica	57
5.4.1. Clases de vulnerabilidad	57
5.4.2. Índices de vulnerabilidad	59
5.4.3. Matrices de probabilidad de daño – MPD	60
5.4.4. Funciones de vulnerabilidad	61
5.4.5. Curvas de fragilidad	62
5.5. Resumen y discusión	63
6. DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES ESENCIALES	65
6.1. Introducción	65
6.2. Diseño basado en el desempeño sísmico	65
6.2.1. Nivel de desempeño	66
6.2.1.1. Propuesta Vision 2000	66
6.2.1.2. Propuesta ATC-40	67
6.2.2. Desempeño esperado de la edificación	70
6.2.2.1. Propuesta Vision 2000	71
6.2.2.2. Propuesta ATC-40	72
6.3. Consideraciones para edificaciones esenciales	73
6.4. Evaluación sísmica de edificaciones esenciales	74
6.4.1. Métodos simplificados de análisis estático no lineal	76
6.4.2. Método del espectro Capacidad-Demanda	77
6.4.2.1. Fundamentos del método	77
6.4.2.2. Espectro de capacidad	77
6.4.2.3. Espectro de demanda	79
6.4.2.4. Estimación de la respuesta sísmica máxima	80
6.5. Necesidad de intervención de la edificación	82
6.5.1. La intervención estructural	82
6.5.2. La intervención no estructural	84

6.5.3. La intervención funcional	84
6.6. Resumen y discusión	84
7. VULNERABILIDAD SISMICA DE SISTEMAS	87
7.1. Introducción	87
7.1.1. El concepto de sistemas	88
7.2. Riesgo sísmico de sistemas urbanos y regionales	88
7.3. Vulnerabilidad sistémica	89
7.4. Edificaciones esenciales: Contribución al riesgo sísmico	92
7.5. Naturaleza y objetivos del estudio	93
7.6. Estrategia de evaluación	95
7.6.1. Clasificación de las edificaciones esenciales según la importancia relativa de la función que desempeña	96
7.6.2. Clasificación de la amenaza regional	97
7.6.3. Clasificación de las edificaciones esenciales según el desempeño sísmico	97
7.7. Niveles de evaluación de las edificaciones esenciales	98
7.7.1. Evaluación preliminar	98
7.7.2. Evaluación general	99
7.7.3. Evaluación detallada	99
7.7.4. Nivel de evaluación recomendable	100
7.8. Resumen y discusión	103
8. DESEMPEÑO SÍSMICO DEL SISTEMA SANITARIO REGIONAL	105
8.1. Introducción	105
8.2. Aplicación del enfoque de vulnerabilidad sistémica al estudio del Sistema Sanitario Regional	106
8.2.1. Los sistemas esenciales: El sistema sanitario	106
8.2.2. Justificación del estudio	106
8.2.3. Descripción del sistema sanitario regional	108
8.2.3.1. Información de la población	108
8.2.3.2. Información de los hospitales	109
8.2.3.3. Descripción de la vialidad y otras líneas vitales	111
8.2.4. Respuesta sísmica del sistema sanitario regional	111
8.2.5. Caracterización de la respuesta sísmica del sistema sanitario regional	112
8.3. Implementación de un modelo para la evaluación de la respuesta sísmica del sistema sanitario regional	113
8.3.1. Definición del escenario sísmico	113
8.3.2. Definición de los escenarios de daño	116
8.3.2.1. Fragilidad de las edificaciones	116
8.3.2.2. Fragilidad de los hospitales	116
8.3.2.3. Estimación de víctimas	118
8.3.3. Modelo de respuesta del sistema	119
8.3.3.1. Estado inicial ($t=0$)	119
8.3.3.2. Evolución temporal ($t>0$)	119
8.4. Cuantificación de la vulnerabilidad sísmica del sistema sanitario	121
8.4.1. Factor de respuesta del sistema	121
8.4.2. Factor de respuesta de los hospitales	124
8.4.3. Resultados generales	126

8.4.4. Criterios de jerarquización	127
8.5. Resumen y discusión	127
<i>III – APLICACIONES</i>	
9. EL SISTEMA SANITARIO DE CATALUÑA: LOS DATOS	129
9.1. Introducción	129
9.2. Antecedentes	129
9.3. El servicio catalán de salud	131
9.4. Red de hospitales de utilización pública de Cataluña	134
9.4.1. Recopilación de información	134
9.4.1.1 Fuentes de información	134
9.4.1.2 Elaboración de encuestas	135
9.4.2. Información de los hospitales	136
9.4.3. Hospital de destino y tiempo de traslado	140
9.5. Demanda potencial del sistema sanitario	142
9.5.1. Distribución de la población y tipología de edificios	142
9.5.2. Definición de los escenarios de daño	144
9.5.2.1. Fragilidad de las edificaciones	144
9.5.2.2. Estimación de víctimas	144
9.6. Peligrosidad sísmica de Cataluña	145
9.6.1. Zonificación sísmica de Cataluña	145
9.6.1.1. Evolución de la normativa sísmica de España	145
9.6.1.2. Propuesta de zonificación del ICC	150
9.6.2. Modelo de peligrosidad regional	151
9.6.2.1. Caracterización de las zonas fuentes	152
9.6.2.2. Ley de atenuación	153
9.7. Resumen y discusión	154
10. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS HOSPITALES DE CATALUÑA	156
10.1. Introducción	156
10.2. Vulnerabilidad sísmica de los hospitales de Cataluña	156
10.2.1. Procesamiento de la información	157
10.2.1.1. Criterio de clasificación del ICC	157
10.2.1.2. Criterio de clasificación del EMS-98	158
10.2.1.3. Criterio de clasificación adoptado	159
10.2.2. Estimación del daño potencial para cada hospital	161
10.2.3. Resultados de la evaluación: Método de categorización	163
10.2.4. Comportamiento sísmico esperado de los hospitales de Cataluña	165
10.3. Modelo de fragilidad de los hospitales	167
10.4. Resumen y discusión	169
11. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SISMICA DEL SISTEMA SANITARIO DE CATALUÑA	171
11.1. Introducción	171
11.2. Estudio de escenarios	172
11.2.1. Sismos históricos	173
11.2.2. Sismos simulados	174

11.2.3. Sismo en el Pirineo Aragonés	175
11.3. Estudio de pérdidas potenciales	179
11.4. Análisis de riesgo	188
11.4.1. Criterio de jerarquización	189
11.5. Resultados	196
11.5.1. Desempeño del sistema	196
11.5.2. Desempeño de los hospitales	197
11.5.3. Conclusiones	199
11.6. Resumen y discusión	200
12. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DEL HOSPITAL	
Dr. DOMINGO LUCIANI	203
12.1. Introducción	203
12.2. Descripción del hospital	203
12.2.1. Antecedentes	203
12.2.2. Generalidades	204
12.2.3. Recopilación de información	206
12.3. Métodos experimentales	207
12.3.1. Características de los equipos de medición	207
12.3.2. Estrategia de medición	208
12.3.3. Pruebas ejecutadas	210
12.3.3.1. Mediciones de vibración ambiental	210
12.3.3.2. Ensayo de vibración libre	211
12.3.4. Procesado de los registros	213
12.3.4.1. Vibración ambiental	213
12.3.4.2. Vibración libre	216
12.4. Métodos analíticos	218
12.4.1. Análisis elástico lineal	218
12.4.2. Análisis No lineal	221
12.4.2.1. Definición de los puntos de plastificación	221
12.4.2.2. Asignación de las propiedades no lineales	223
12.4.2.3. Definición de los esquemas de cargas	225
12.4.2.4. Resultados del análisis <i>push-over</i>	225
12.4.2.5. Calificación de la respuesta sísmica	227
12.5. Conclusiones	231
12.6. Resumen y discusión	232
CONCLUSIONES	234
RECOMENDACIONES	239
BIBLIOGRAFIA	241
ANEXOS:	
Anexo I: Encuesta realizada a los hospitales XHUP	251
Anexo II: Fichas técnicas de algunos hospitales	253
A.2.1. Hospital General <i>Vall d' Hebron</i>	253
A.2.2. Hospital de <i>Sant Joan de Déu d'Esplugues de Llobregat</i>	257
A.2.3. Hospital Casa de <i>Maternitat</i>	261
Anexo III: Escenarios sísmicos	265
A.3.1. Escenarios sismos históricos	265
A.3.2. Escenarios sismos simulados	269

