

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. <i>Objeto</i>	3
1.1.1. Descripción	3
1.1.2. El Problema	4
1.2. <i>Objetivos</i>	6
1.2.1. Modelo de elementos finitos local, no lineal y tridimensional	6
1.2.2. Descripción de los Mecanismos Resistentes al Deslizamiento	6
1.2.3. Evaluación de Sensibilidad de la Resistencia al Deslizamiento	7
1.2.4. Recomendaciones para el diseño de chapas	7
1.2.5. Determinación de la distribución de esfuerzos rasantes	7
1.2.6. Cuantificación de las <i>sombras de tensión</i> longitudinal	7
1.2.7. Nuevo diseño de chapa	7
1.3. <i>Contenido</i>	8
2. ANTECEDENTES	11
2.1. <i>Universitat Politècnica de Catalunya</i>	11
2.2. <i>Luleå Tekniska Universitet</i>	13
2.3. <i>Technische Universiteit Delft</i>	13
2.4. <i>École Polytechnique Fédérale de Lausanne</i>	13
2.5. <i>Virginia Technology Institute and State University</i>	14
2.6. <i>Resumen</i>	14
2.6.1. Nivel General	14
2.6.2. Nivel Local	15
2.6.3. Nivel Total	15
3. LAS LOSAS MIXTAS: GENERALIDADES	19
3.1. <i>Principios básicos</i>	19
3.1.1. Introducción	19
3.1.2. Mecanismos de interacción	19
3.1.3. Grado de interacción	20
3.1.3.1. Interacción total	21
3.1.3.2. Interacción parcial	22
3.1.3.3. Interacción nula	22
3.2. <i>Mecanismos principales de fallo</i>	23
3.2.1. Fallo por flexión	24
3.2.2. Fallo por deslizamiento longitudinal	24
3.2.2.1. Fallo por liberación longitudinal de la chapa	24
3.2.2.2. Fallo por separación vertical	24
3.2.2.3. Fallo por rotura del hormigón	25
3.2.2.4. Fallo por aplastamiento de las embuticiones	26
3.2.3. Fallo por cortante vertical	26
3.2.4. Representación gráfica de los modos de fallo	26
3.3. <i>Ductilidad - fragilidad</i>	26
3.4. <i>Métodos normativos de cálculo</i>	27
3.4.1. Método <i>m-k</i>	27
3.4.2. Método de la conexión parcial	28
3.4.3. Otros métodos	28

4. ENSAYOS	33
4.1. <i>El ensayo de Pull-out</i>	33
4.1.1. Descripción	33
4.1.2. Preparación de las probetas	36
4.1.3. Equipos	38
4.1.4. Programa de ensayo	39
4.1.5. Modelos ensayados y resultados	40
4.1.5.1. Modelo SHR	40
4.1.5.2. Modelo CRR	41
4.1.5.3. Modelo HB	43
4.1.6. Ensayos extremos de dispersión por fricción y adherencia	44
4.1.6.1. Diseño de los ensayos	44
4.1.6.2. Resultados	46
4.2. <i>El ensayo reducido de flexión</i>	48
4.2.1. Descripción	48
4.2.2. Procedimiento	51
4.2.3. Equipos	53
4.2.4. Modelos ensayados.	55
4.2.4.1. Chapa RD70	55
4.2.4.2. Chapa QL60	60
4.2.4.3. Chapa T-80. Nuevo diseño	61
5. ESTUDIO NUMÉRICO	67
5.1. <i>El Método de Simulación</i>	67
5.1.1. El algoritmo de Newton-Raphson	67
5.1.2. Computación de grandes deformaciones y desplazamientos	69
5.1.3. Computación de la plasticidad del acero	71
5.1.4. Computación de las condiciones de contacto	75
5.1.4.1. Fuerzas normales de contacto	75
5.1.4.2. Modelos de fricción disponibles	76
5.1.5. Elementos de contacto	77
5.1.6. Elementos placa	77
5.1.6.1. Placa de 4 nodos para grandes deformaciones (SHELL 43)	78
5.1.6.2. Placa de 8 nodos (SHELL93)	78
5.1.6.3. Placa de 4 nodos para pequeñas deformaciones (SHELL143)	78
5.1.6.4. Placa de 4 nodos para deformaciones finitas (SHELL181)	79
5.1.6.5. Cuadro resumen	79
5.2. <i>Características generales de los modelos</i>	79
5.2.1. Dominio	79
5.2.2. Escala	80
5.2.3. Idealizaciones de la geometría	80
5.2.4. Modelos de comportamiento de los materiales	81
5.2.5. Tipos de elemento	81
5.2.6. Modelos de contacto con fricción	82
5.2.7. Discretización	82
5.2.8. Condiciones de enlace	82
5.2.9. Condiciones de carga	83
5.2.9.1. Condiciones generales	83
5.3. <i>Casos analizados y resultados preliminares</i>	83
5.3.1. Modelos y resultados preliminares	83
5.3.1.1. Modelos elásticos y lineales	83
5.3.1.2. Modelos elasto-plásticos	84
5.3.1.3. Comprobación de la rigidez del hormigón	84
5.3.2. Modelos de evaluación de robustez numérica y modelo definitivo	85
5.3.2.1. Evaluación de los tipos de elemento	85
5.3.2.2. Evaluación del radio de acuerdo	86
5.3.2.3. Evaluación del tamaño de malla y geometría	86
5.3.2.4. Evaluación de la hipótesis de planitud y equidistancia	87
5.3.2.5. Modelo definitivo	88

5.3.3.	Diseños analizados	88
5.3.3.1.	Diseño HB	89
5.3.3.2.	Diseño CRR	89
5.3.3.3.	Diseño SHR	90
5.3.3.4.	Diseño QL60	90
5.3.3.5.	Diseño T80	90
5.3.3.6.	Diseño RD70	90
5.4.	<i>Resultados a analizar</i>	91
5.4.1.	Evolución de la deformada	91
5.4.2.	Evolución de las tensiones principales	92
5.4.3.	Zona de contacto	93
5.4.4.	Curva fuerza-deslizamiento y separación vertical-deslizamiento	93
5.4.5.	Tensiones de Von Mises y extensión de la zona plastificada	94
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
6.1.	<i>Ensayo de Pull-out</i>	97
6.1.1.	Aspectos generales	97
6.1.1.1.	Uniformidad de esfuerzos rasantes	97
6.1.1.2.	Diferencias de comportamiento entre el Pull-Out y la flexión	97
6.1.2.	Críticas al actual diseño del ensayo y propuestas.	99
6.1.2.1.	Chapas de nervios asimétricos	99
6.1.2.2.	Fuerza total o fuerzas parciales	102
6.1.2.3.	Sistema de medida del deslizamiento	102
6.1.3.	Dispersión aparente en los resultados	103
6.1.3.1.	Fuerza última F_{u2}	103
6.1.3.2.	Fuerza de primer deslizamiento F_{u1}	106
6.1.3.3.	Tensión tangencial de adherencia inicial t_{u1}	107
6.1.4.	Estandarización del procedimiento de ensayo	110
6.1.5.	Influencia de las condiciones de contacto	110
6.1.6.	Efecto de la resistencia del hormigón y la pendiente de embutición	112
6.1.6.1.	Efecto sobre la fuerza última F_{u2}	113
6.1.6.2.	Efecto sobre la carga de primer deslizamiento F_{u1} y t_{u1}	117
6.2.	<i>Ensayo reducido de flexión</i>	121
6.2.1.	Cargas gravitatorias versus cilindros hidráulicos	121
6.2.2.	Deformaciones longitudinales en la zona de flexión pura	124
6.2.3.	Distribución de los esfuerzos rasantes longitudinales	126
6.3.	<i>Modelos numéricos</i>	133
6.3.1.	Plasticidad del acero y rigidez del hormigón	133
6.3.2.	Comportamiento general de la chapa	135
6.3.3.	Coefficiente de fricción	136
6.3.4.	Correlación experimental	139
6.3.4.1.	Cuantificación de F_{u2}	139
6.3.4.2.	Aspectos cualitativos de la respuesta F-d	141
6.3.5.	Perfilados de ángulo abierto.	142
6.3.5.1.	Retención vertical. Ángulo de retención inicial.	142
6.3.5.2.	Alternancia del sentido de embutición.	144
6.3.5.3.	Sentido del deslizamiento respecto a la inclinación de las embuticiones	145
6.3.6.	Diseños re-entrantes	148
6.3.7.	Diseños rectos	151
6.3.8.	Análisis paramétrico de la geometría	152
6.3.8.1.	Espesor de la chapa	152
6.3.8.2.	Pendiente de embutición	155
6.3.8.3.	Ángulo de perfilado	159
6.3.8.4.	Profundidad de la embutición	164
6.3.8.5.	Longitud de las embuticiones	167
6.3.8.6.	Inclinación de las embuticiones laterales sin modificar su longitud	169
6.3.8.7.	Inclinación de las embuticiones laterales manteniendo distancias a aristas	171
6.3.8.8.	Anchura de las embuticiones	172
6.3.8.9.	Separación entre embuticiones (paso del patrón de embutición)	175
6.3.8.10.	Otras pruebas	177

6.4.	<i>El diseño final T80</i>	178
6.4.1.	Ensayos <i>m-k</i> de flexión y comparativa	179
6.4.1.1.	Ensayos sobre los primeros prototipos	180
6.4.1.2.	Ensayos <i>m-k</i> definitivos	183
7.	CONCLUSIONES	191
7.1.	<i>Mecánica de Flexión y Deslizamiento</i>	191
7.2.	<i>Ensayo de Pull-out</i>	193
7.3.	<i>Diseño de Chapas</i>	194
7.4.	<i>Aspectos Normativos</i>	196
7.5.	<i>Propuestas para proseguir la investigación</i>	197
7.5.1.	Modelos de Elementos Finitos	197
7.5.2.	Ensayos	198
7.6.	<i>Aportación original de la tesis</i>	198
8.	RESUMEN BIBLIOGRÁFICO	201
8.1.	<i>Tesis Doctorales</i>	201
8.2.	<i>Artículos</i>	202
8.3.	<i>Artículos Propios de la tesis</i>	204
8.4.	<i>Libros y Manuales</i>	205
8.5.	<i>Otros</i>	205