

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos Canales y Puentes de Barcelona

Tesis doctoral

**PUENTES DE LA ÉPOCA MEDIEVAL EN LAS
CUENCAS DE LOS RÍOS TER, FLUVIÁ Y MUGA**

Volumen I

OBJETIVOS, HIPÓTESIS, DESARROLLO DEL TRABAJO, CONCLUSIONES

Y

Temas Generales

Ángel López Sánchez

2010

Salvador Tarragó i Cid, profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona,

CERTIFICA:

Que el Ingeniero en Organización Industrial y Doctor por la Universidad de Girona, Ángel López Sánchez ha realizado bajo su dirección, el trabajo que lleva por título” **PUNTES DE LA EPOCA MEDIEVAL EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS TER, FLUVIÁ y MUGA**”, que presenta para optar al grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Y para que así conste a los efectos oportunos, firma el original en Barcelona a 28 de Julio del 2010.

Dr. Salvador Tarragó i Cid

Índice Volumen I

Agradecimientos	1
Simbología utilizada	3
Capítulo primero: Aspectos generales de la tesis	5
1. Introducción	7
2. El proyecto de tesis	9
Esquema del proyecto de tesis	11
2.1 Desarrollo del proyecto de tesis	12
2.2 Fuentes de información sobre los puentes	12
2.3 Trabajos de campo	13
2.4 Alcance del proyecto de tesis	13
3. La realización de la tesis	15
Esquema del contenido del capítulo primero	17
3.1 Objetivos de la tesis	19
3.1.1 De carácter general	19
3.1.2 De carácter específico	19
4. Formulación de hipótesis	20
4.1 Formulación de las hipótesis referentes a las fuentes de información de carácter general e histórico	20
4.2 Hipótesis referentes a la estructura e hidráulica de los puentes	20
5. Método de trabajo	21
5.1 Localización y potenciación de la información y del conocimiento sobre puentes	22
5.1.1. Solicitudes por escrito	22
5.1.2. Entrevistas	22
5.1.3. Consultas en Archivos y Bibliotecas	22
5.2 Trabajos de campo con los puentes	23
5.3 Trabajos de gabinete	23
5.3.1. Dibujo de los puentes	24
6. Elaboración del dossier de cada puente	26
7. Conclusiones alcanzadas con la realización de la tesis	29
7.1 Conclusiones sobre las fuentes de información	31
7.2 Conclusiones generales sobre las estructuras	31
7.3 Conclusiones sobre los elementos estructurales	34
Dovelas	34
Pilas	35
Directrices	36
Cimiento	36
Materiales bóvedas	37
Coeficiente de seguridad	37
Amplitud de las calzadas	38
a) Cuenca del río Ter	39
b) Cuenca del río Fluvià	40
c) Cuenca del río La Muga	40
7.4 Resultados comparativos entre ARCs y procedimiento analítico	42
7.5 Conclusiones sobre la hidráulica del puente	44
Sobre la pendiente motriz	45
Coeficientes de obstrucción	45
Relación entre el área de paso del puente y la subcuenca	46
7.6 Conclusiones sobre el análisis comparativo de las geometrías	52
Relación entre parámetros constructivos	53

<i>Relación entre ratios y la luz del vano</i>	55
<i>Relación entre ratios y años de construcción</i>	57
7.7 <i>Conclusiones sobre los hechos históricos</i>	60
8. Resultado del contraste de hipótesis	63
4.1 <i>Formulación de las hipótesis referentes a las fuentes de información de carácter general e histórico</i>	65
4.2 <i>Hipótesis referentes a la estructura e hidráulica de los puentes</i>	65
Anexo a las conclusiones:	
<i>Anexo 1 Procedimiento empleado en el cálculo analítico</i>	69
<i>Anexo 2 Tablas de datos sobre empujes y cargas específicas</i>	73
<i>Anexo 3 Subcuencas, pluviometría y caudales punta T100 y T500</i>	85
<i>Anexo 4 Datos para el análisis comparativo de geometrías</i>	91
Capítulo segundo: Marco Geográfico	99
1. Relieve del área de estudio	101
2. Materiales geológicos y clima	102
3. Clima y transformaciones morfológicas	103
4. Descripción general del clima de Cataluña	103
4.1 Clima oceánico o atlántico	104
4.2 Clima mediterráneo	104
4.2.1 Clima pirenaico	104
4.2.2 Clima pre – pirenaico	104
4.2.3 Clima continental	104
4.2.4 Clima prelitoral	105
4.2.5 Clima litoral	105
5. Delimitación del marco geográfico de la tesis	105
Capítulo tercero: Marco Histórico	107
1. Proceso de romanización de la Península Ibérica	109
2. El declive del imperio romano	110
3. Hechos más destacados que configuran la Cataluña de la Edad Media	111
La Corona de Aragón	113
Las peregrinaciones a Compostela	114
4. Hechos históricos más destacados de la época moderna en Cataluña	116
Capítulo cuarto: Evolución del estado del conocimiento sobre los puentes arco de obra de fábrica	119
Introducción	121
1. Mecánica del arco	121
2. Descripción de los componentes de los puentes arco de obra de fábrica	122
3. Caracterización de los arcos	125
2.1 En función del tipo de material	125
2.2 En función de la forma	126
4. Evolución del estado del conocimiento sobre la construcción de puentes	127
4.1 Teoría pre – científica	127
4.2 La época moderna	128
4.3 Bases para el análisis moderno de las estructuras	129
4.4 La mejora en el diseño de los puentes	130
5. Los métodos de análisis	133

6. El valor estético de las obras	133
7. El efecto hidráulico en el diseño del puente	134
8. Los trabajos sobre el conocimiento de los mecanismos resistentes y modos de ruptura	134
a) Métodos elásticos	134
b) Métodos plásticos	135
9. Teoría de la plasticidad	135
10. Aspectos fundamentales sobre las hipótesis del análisis límite	136
10.1 Condición de estabilidad; seguridad	136
10.2 Teorema fundamental; límite inferior del coeficiente de seguridad	137
10.3 Movimientos y patologías	137
11. Métodos de análisis de ruptura de arcos de obra de fábrica	138
11.1 Tipos de ruptura	138
11.1.1 Ruptura por formación de un mecanismo	138
11.1.2 Ruptura por inestabilidad de origen no lineal geométrico	140
11.1.3 Ruptura por aplastamiento del material por compresión	140
11.1.4 Ruptura por cortante	140
11.2 Métodos de análisis	140
10.2.1 Método MEXE	140
10.2.2 Método energético de Cardiff	141
10.2.3 Métodos de elementos finitos	141
10.2.4 Formulación matricial generalizada no lineal	142
11. Conclusión a los métodos de análisis	142
Capítulo quinto: Materiales y métodos	143
Comportamiento mecánico de la obra de fábrica	145
Prescripciones	145
1. Exigencias funcionales	146
2. Definiciones y terminología	148
3. Tipos de obra de fábrica	149
4. Muros	153
5. Arcos	156
6. Reglas generales de calidad	158
7. Muros resistentes, forma de manifestarse las fisuras	169
8. Piedras de cantería	173
9. Ejecución	178
10. Ensayos	188
Capítulo sexto: Cuencas hidrológicas	193
6.1 Fundamentos teóricos de Hidrológica	195
6.2 Características de las cuencas internas de Cataluña	196
6.3 Cuenca del río Ter	202
6.4 Cuenca del río Fluvià	207
6.5 Cuenca de la riera de la Muga	211
6.6 Subcuencas que afectan a los puentes estudiados	214
6.7 Precipitación máxima diaria esperada para diferentes períodos de retorno	216
Tablas con Avenidas históricas entre 1907 y 1978	226
Capítulo séptimo: Morfología de los puentes de obra de fábrica	229
7.1 Características morfológicas de los puentes medievales	231
7.2 Actuaciones en los puentes históricos realizadas a lo largo del tiempo	233
Bibliografía consultada	237

Índice Volumen II

Capítulo octavo: Dossier de los puentes en la cuenca del río Ter

Simbología utilizada	1
Introducción a la metodología empleada en el estudio de cada puente	3
Parámetros empleados para la clasificación de las bóvedas	13
Clasificación de Paul Séjourné para la clasificación de las bóvedas	14
Primer puente: de la Cabreta	15
1. Localización	17
2. Características generales	18
Plano P1 – 1/6 Dimensiones fundamentales	19
Descripción del puente	20
Plano P1 – 2/6 Composición del paramento	23
Plano P1 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	24
3. Geometría de la estructura	25
3.0 Características de los arcos	25
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	25
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	26
3.3 Resumen de las características de los arcos	27
3.4 Características de los arquillos	28
4. Características de las pilas	29
6. Estribos y Terraplenes	30
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	30
8. Estudio de la estructura	32
Clasificación de la estructura	34
Plano P1 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	35
Plano P1 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	36
9. Hidráulica del puente	37
Plano P1 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	38
10. Hechos históricos asociados al puente	39
10.1 Reproducción documental del Archivo Comarcal del Ripollès	41
11. Impresión sobre el estado de conservación	44
Segundo puente: de Camprodon	45
1. Localización	47
2. Características generales	48
Plano P2 – 1/6 Dimensiones fundamentales	49
Descripción del puente	50
Plano P2 – 2/6 Composición del paramento	53
Plano P2 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	54
3. Geometría de la estructura	55
3.0 Características de los arcos	55
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	55
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	56
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	57
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	58
3.5 Arco quinto, Tipología de la bóveda	59

3.6 Resumen de las características de los arcos	60
3.7 Características de los arquillos	60
4. Características de las pilas	61
5. Tajamares	61
6. Estribos y Terraplenes	61
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	62
8. Estudio de la estructura	63
Plano P2 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	64
Plano P2 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	65
Clasificación de la estructura	67
9. Hidráulica del puente	67
Plano P2 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	69
10. Hechos históricos asociados al puente	70
10.1 Planos antiguos de Camprodon donde aparece el puente	72
10.2 Recopilaciones referentes a la historia asociada al puente	73
11. Impresión sobre el estado de conservación	76

Tercer puente: de Sant Joan de les Abadesses **79**

1. Localización	81
2. Características generales	82
Plano P3 – 1/6 Dimensiones fundamentales	83
Descripción del puente	84
Plano P3 – 2/6 Composición del paramento	86
Plano P3 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	87
3. Geometría de la estructura	88
3.0 Características de los arcos	88
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	88
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	89
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	90
3.4 Resumen de las características de los arcos	91
3.5 Características de los arquillos	91
4. Características de las pilas	92
5. Tajamares	92
6. Estribos y Terraplenes	93
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	93
8. Estudio de la estructura	94
Clasificación de la estructura	96
Plano P3 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	97
Plano P3 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	98
9. Hidráulica del puente	99
Plano P3 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	100
10. Hechos históricos asociados al puente	101
10.1 Memoria del proyecto de reconstrucción de 1964	103
10.2 Citas documentales	105

Cuarto puente: de Manlleu o Can Moles **107**

1. Localización	109
2. Características generales	110
Plano P4 – 1/6 Dimensiones fundamentales	111
Descripción del puente	112
Plano P4 – 2/6 Composición del paramento	115

Plano P4 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	116
3. Geometría de la estructura	117
3.0 Características de los arcos	117
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	117
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	118
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	119
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	120
3.5 Arco quinto, Tipología de la bóveda	121
3.6 Arco sexto, Tipología de la bóveda	122
3.7 Resumen de las características de los arcos	123
4. Características de las pilas	124
5. Tajamares	124
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	125
8. Estudio de la estructura	127
Clasificación de la estructura	128
Plano P4 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	129
Plano P4 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	130
9. Hidráulica del puente	131
Plano P4 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	132
10. Hechos históricos asociados al puente	133
10.1 Evolución de la estructura del puente desde 1890 a 1942	135
10.2 Recortes de <i>l'Abans</i>	137

Quinto puente: del Remei **139**

1. Localización	141
2. Características generales	142
Plano P5 – 1/7 Dimensiones fundamentales	143
Descripción del puente	144
Plano P5 – 2/7 Composición del paramento	147
Plano P5 – 3/7 Detalles fotográficos del puente	148
3. Geometría de la estructura	149
3.0 Características de los arcos	149
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	149
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	150
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	151
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	152
3.5 Arco quinto, Tipología de la bóveda	153
3.6 Arco sexto, Tipología de la bóveda	154
3.7 Resumen de las características de los arcos	155
4. Características de las pilas	156
5. Tajamares	156
6. Estribos y Terraplenes	157
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	157
8. Estudio de la estructura	158
Clasificación de la estructura	160
Plano P5 – 4/7 Simulación del recorrido de la línea de presiones	161
Plano P5 – 5/7 Cálculo analítico del valor de los empujes	162
9. Hidráulica del puente	163
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	164
Plano P5 – 6/7 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	165
10. Hechos históricos asociados al puente	166
10.1 Reproducción fotográfica procedente de <i>l'Abans</i>	168

11. Impresión sobre el estado de conservación	169
11.1 Hipótesis sobre las medidas originales del puente	169
Plano P5 – 7a/7 Hipótesis de las dimensiones originales del puente	172
Plano P5 – 7b/7 Hipótesis de las dimensiones originales de las bóvedas	173
Sexto puente: de Queralt	175
1. Localización	177
2. Características generales	178
Plano P6 – 1/7 Dimensiones fundamentales	179
Descripción del puente	180
Plano P6 – 2/7 Composición del paramento	183
Plano P6 – 3/7 Detalles fotográficos del puente	184
3. Geometría de la estructura	185
3.0 Características de los arcos	185
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	185
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	186
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	187
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	188
3.5 Resumen de las características de los arcos	189
3.6 Características de los arquillos	190
4. Características de las pilas	190
5. Tajamares	191
6. Estribos y Terraplenes	191
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	191
8. Estudio de la estructura	193
Clasificación de la estructura	194
Plano P6 – 4/7 Simulación del recorrido de la línea de presiones	195
Plano P6 – 5/7 Cálculo analítico del valor de los empujes	196
9. Hidráulica del puente	197
Plano P6 – 6/7 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	199
10. Hechos históricos asociados al puente	200
11.1 Hipótesis sobre las medidas originales del puente	201
Plano P6 – 7/7 Hipótesis de las dimensiones originales del puente	202
Séptimo puente: de Bruguer	203
1. Localización	205
2. Características generales	206
Plano P7 – 1/6 Dimensiones fundamentales	207
Descripción del puente	208
Plano P7 – 2/6 Composición del paramento	211
Plano P7 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	212
3. Geometría de la estructura	213
3.0 Características de los arcos	213
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	213
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	214
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	215
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	216
3.5 Arco quinto, Tipología de la bóveda	217
3.6 Resumen de las características de los arcos	218
4. Características de las pilas	219
5. Tajamares	219
6. Estribos y Terraplenes	220

7.	Aplicación de las Reglas Empíricas	220
8.	Estudio de la estructura	221
	Clasificación de la estructura	223
	Plano P7 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	224
	Plano P7 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	225
9.	Hidráulica del puente	226
	Plano P7 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	227
10.	Hechos históricos asociados al puente	228
Octavo puente: de Malafogassa		231
1.	Localización	233
2.	Características generales	234
	Plano P8 – 1/6 Dimensiones fundamentales	235
	Descripción del puente	236
	Plano P8 – 2/6 Composición del paramento	238
	Plano P8 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	239
3.	Geometría de la estructura	240
	3.0 Características de los arcos	240
	3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	240
	3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	241
	3.3 Resumen de las características de los arcos	242
4.	Características de las pilas	243
5.	Tajamares	243
6.	Estribos y Terraplenes	244
7.	Aplicación de las Reglas Empíricas	244
8.	Estudio de la estructura	245
	Clasificación de la estructura	247
	Plano P8 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	248
	Plano P8 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	249
9.	Hidráulica del puente	250
	Plano P8 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	251
10.	Hechos históricos asociados al puente	252
Noveno puente: de La Bisbal		253
1.	Localización	255
2.	Características generales	256
	Plano P9 – 1/6 Dimensiones fundamentales	257
	Descripción del puente	258
	Plano P9 – 2/6 Composición del paramento	261
	Plano P9 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	262
3.	Geometría de la estructura	263
	3.0 Características de los arcos	263
	3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	263
	3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	264
	3.3 Resumen de las características de los arcos	265
4.	Características de las pilas	266
5.	Tajamares	266
6.	Estribos y Terraplenes	267
7.	Aplicación de las Reglas Empíricas	267
8.	Estudio de la estructura	268
	Clasificación de la estructura	269

Plano P9 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	270
Plano P9 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	271
9. Hidráulica del puente	272
Plano P9 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	274
10. Hechos históricos asociados al puente	275

Décimo puente: de Gualta **279**

1. Localización	281
2. Características generales	282
Plano P10 – 1/6 Dimensiones fundamentales	283
Descripción del puente	284
Plano P10 – 2/6 Composición del paramento	286
Plano P10 – 3/6 Detalles fotográficos del puente	287
3. Geometría de la estructura	288
3.0 Características de los arcos	288
3.1 Arco primero, Tipología de la bóveda	288
3.2 Arco segundo, Tipología de la bóveda	289
3.3 Arco tercero, Tipología de la bóveda	290
3.4 Arco cuarto, Tipología de la bóveda	291
3.5 Arco quinto, Tipología de la bóveda	292
3.6 Resumen de las características de los arcos	293
4. Características de las pilas	294
6. Estribos y Terraplenes	294
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	294
8. Estudio de la estructura	296
Clasificación de la estructura	297
Plano P10 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	298
Plano P10 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	299
9. Hidráulica del puente	300
Plano P10 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	301
10. Hechos históricos asociados al puente	302

Índice Volumen III

Capítulo noveno: Dossier de los puentes en la cuenca de los ríos Fluvià y la Muga

Simbología utilizada	1
Introducción a la metodología empleada en el estudio de cada puente	3
Parámetros empleados para la clasificación de las bóvedas	13
Clasificación de Paul Séjourné para la clasificación de las bóvedas	14

Capítulo noveno: Puentes en las cuencas del Fluvià y La Muga

Décimo primer puente: de Sant Roc 15

1. Localización	17
2. Características generales	18
Plano P11 – 1/6 Dimensiones fundamentales	19
Descripción del puente	20
Plano P11 – 2/6 Composición del paramento	23
Plano P11 – 3/6 Detalles fotográficos	24
3. Geometría de la estructura	25
3.0 Características de los arcos	25
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	25
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	26
3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	27
3.4 Resumen de las características de los arcos	28
3.5 Características de los arquillos	28
4. Características de las pilas	29
5. Tajamares	29
6. Estribos y Terraplenes	30
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	30
8. Estudio de la estructura	32
Clasificación de la estructura	33
Plano P11 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	34
Plano P11 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	35
9. Hidráulica del puente	36
Plano P11 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	37
10. Hechos históricos asociados al puente	38

Décimo segundo puente: de Sant Joan les Fonts 41

1. Localización	43
2. Características generales	44
Plano P12 – 1/6 Dimensiones fundamentales	45
Descripción del puente	46
Plano P12 – 2/6 Composición del paramento	50
Plano P12 – 3/6 Detalles fotográficos	51
3. Geometría de la estructura	52
3.0 Características de los arcos	52
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	52

3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	53
3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	54
3.4 Resumen de las características de los arcos	55
3.5 Características de los arquillos	55
4. Características de las pilas	56
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	56
8. Estudio de la estructura	58
Clasificación de la estructura	59
Plano P12 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	60
Plano P12 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	61
9. Hidráulica del puente	62
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	62
Plano P12 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	63
10. Hechos históricos asociados al puente	64
Décimo tercer puente: de Oix	67
1. Localización	69
2. Características generales	70
Plano P13 – 1/6 Dimensiones fundamentales	71
Descripción del puente	72
Plano P13 – 2/6 Composición del paramento	75
Plano P13 – 3/6 Detalles fotográficos	76
3. Geometría de la estructura	77
3.0 Características de los arcos	77
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	77
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	78
3.3 Resumen de las características de los arcos	79
4. Características de las pilas	80
5. Tajamares	80
6. Estribos y Terraplenes	80
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	81
8. Estudio de la estructura	82
Clasificación de la estructura	83
Plano P13 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	84
Plano P13 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	85
9. Hidráulica del puente	86
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	86
Plano P13 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	87
10. Hechos históricos asociados al puente	88
10.1 Situación del puente en 1986	88
10.2 Acciones de consolidación realizadas por Amics de l'Alta Garrotxa	90
Decimocuarto puente: de Valentí	93
1. Localización	95
2. Características generales	96
Plano P14 – 1/6 Dimensiones fundamentales	97
Descripción del puente	98
Plano P14 – 2/6 Composición del paramento	101
Plano P14 – 3/6 Detalles fotográficos	102
3. Geometría de la estructura	103

3.0 Características de los arcos	103
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	103
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	104
3.3 Resumen de las características de los arcos	105
4. Características de las pilas	106
5. Tajamares	106
6. Estribos y Terraplenes	107
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	107
8. Estudio de la estructura	108
Clasificación de la estructura	110
Plano P14 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	111
Plano P14 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	112
9. Hidráulica del puente	113
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	113
Plano P14 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	114
10. Hechos históricos asociados al puente	115
Decimoquinto puente: de Llierca	117
1. Localización	119
2. Características generales	129
Plano P15 – 1/6 Dimensiones fundamentales	121
Descripción del puente	122
Plano P15 – 2/6 Composición del paramento	125
Plano P15 – 3/6 Detalles fotográficos	126
3. Geometría de la estructura	127
3.0 Características de los arcos	127
3.1 Arco único, Tipología de la unidad estructural	127
4. Características de las pilas	128
6. Estribos y Terraplenes	128
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	129
8. Estudio de la estructura	129
Clasificación de la estructura	130
Plano P15 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	131
Plano P15 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	132
9. Hidráulica del puente	133
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	133
Plano P15 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	134
Plano de localización de los tres puentes del Llierca	135
10. Hechos históricos asociados al puente	136
Decimosexto puente: de Besalú	139
1. Localización	141
2. Características generales	142
Plano P16 – 1/14 Dimensiones fundamentales	143
Descripción del puente	144
Plano P16 – 2/14 Composición del paramento	151
Plano P16 – 3/14 Detalles fotográficos del puente	152
3. Geometría de la estructura	153
3.0 Características de los arcos	153
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	153
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	154

3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	155
3.4 Arco cuarto, Tipología de la unidad estructural	156
3.5 Arco quinto superior, Tipología de la unidad estructural	157
3.6 Arco quinto inferior, Tipología de la unidad estructural	158
3.7 Arco sexto, Tipología de la unidad estructural	159
3.8 Arco séptimo, Tipología de la unidad estructural	160
3.9 Arco octavo, Tipología de la unidad estructural	161
3.10 Resumen de las características de los arcos	162
3.11 Características de los arquillos	163
4. Características de las pilas	164
5. Tajamares	164
6. Estribos y Terraplenes	165
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	165
8. Estudio de la estructura	167
Clasificación de la estructura	168
Plano P16 – 4/14 Simulación del recorrido de la línea de presiones	169
Plano P16 – 5/14 Cálculo analítico del valor de los empujes	170
8.1 Patologías	171
8.1.1 Impresión sobre el estado de conservación	171
a) Desplome de la base de la pila sexta	172
8.1.2 Investigación del asiento de la pila quinta	173
b) Alteración de la directriz de las bóvedas sexta y séptima	176
Plano P16 – 8/14 Simulación del recorrido de la línea de presiones	180
Plano P16 – 9/14 Simulación del recorrido de la línea de presiones	180
Plano P16 – 10/14 Simulación del recorrido de la línea de presiones	181
Plano P16 – 11/14 Simulación del recorrido de la línea de presiones	182
9. Hidráulica del puente	184
Plano P16 – 6/14 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	185
Hipótesis	187
10. Hechos históricos asociados al puente	189
Reproducción del texto de Danés y de Sola	192

Decimoséptimo puente: de Can Prat **197**

1. Localización	199
2. Características generales	200
Plano P17 – 1/6 Dimensiones fundamentales	201
Descripción del puente	202
Plano P17 – 2/6 Composición del paramento	205
Plano P17 – 3/6 Detalles fotográficos	206
3. Geometría de la estructura	207
3.0 Características de los arcos	207
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	207
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	208
3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	209
3.4 Resumen de las características de los arcos	210
4. Características de las pilas	211
5. Tajamares	211
6. Estribos y Terraplenes	212
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	212
8. Estudio de la estructura	214
Clasificación de la estructura	215
Plano P17 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	216

Plano P17 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	217
9. Hidráulica del puente	218
Plano P17 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	219
10. Hechos históricos asociados al puente	220

Decimoctavo puente: de Sant Antoni de la Muga **221**

1. Localización	223
2. Características generales	224
Plano P18 – 1/6 Dimensiones fundamentales	225
Descripción del puente	226
Plano P18 – 2/6 Composición del paramento	229
Plano P18 – 3/6 Detalles fotográficos	230
3. Geometría de la estructura	231
3.0 Características de los arcos	231
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	231
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	232
3.3 Resumen de las características de los arcos	233
4. Características de las pilas	233
5. Tajamares	234
6. Estribos y Terraplenes	234
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	234
8. Estudio de la estructura	236
Clasificación de la estructura	237
Plano P18 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	238
Plano P18 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	239
9. Hidráulica del puente	240
Plano P18 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	241
10. Hechos históricos asociados al puente	242
Avenida del 26 de septiembre de 1992.	
Cotas alcanzadas por el nivel de agua	242

Decimonoveno puente: de Sant Llorenç de la Muga **245**

1. Localización	247
2. Características generales	248
Plano P19 – 1/6 Dimensiones fundamentales	249
Descripción del puente	250
Plano P19 – 2/6 Composición del paramento	254
Plano P19 – 3/6 Detalles fotográficos	255
3. Geometría de la estructura	256
3.0 Características de los arcos	256
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	256
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	257
3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	258
3.4 Resumen de las características de los arcos	259
4. Características de las pilas	260
5. Tajamares	260
6. Estribos y Terraplenes	261
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	262
8. Estudio de la estructura	263

Clasificación de la estructura	264
Plano P19 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	265
Plano P19 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	266
9. Hidráulica del puente	267
Plano P19 – 6/6 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	268
10. Hechos históricos asociados al puente	269
Avenida del 26 de septiembre de 1992. Cotas alcanzadas por el nivel de agua	270

Vigésimo puente: de Castelló d'Empúries **271**

1. Localización	273
2. Características generales	274
Plano P20 – 1/14 Dimensiones fundamentales	275
Descripción del puente	276
Plano P20 – 2/14 Composición del paramento	280
Plano P20 – 3/14 Detalles fotográficos	281
3. Geometría de la estructura	282
3.0 Características de los arcos	282
3.1 Arco primero, Tipología de la unidad estructural	282
3.2 Arco segundo, Tipología de la unidad estructural	283
3.3 Arco tercero, Tipología de la unidad estructural	284
3.4 Arco cuarto, Tipología de la unidad estructural	285
3.5 Arco quinto, Tipología de la unidad estructural	286
3.6 Arco sexto, Tipología de la unidad estructural	287
3.7 Arco séptimo, Tipología de la unidad estructural	288
3.8 Resumen de las características de los arcos	289
4. Características de las pilas	290
5. Tajamares	290
6. Estribos y Terraplenes	290
7. Aplicación de las Reglas Empíricas	291
8. Estudio de la estructura	292
Clasificación de la estructura	293
Plano P20 – 4/6 Simulación del recorrido de la línea de presiones	294
Plano P20 – 5/6 Cálculo analítico del valor de los empujes	295
9. Hidráulica del puente	296
Plano P5 – 6/7 Obstrucción en función del calado, pendiente motriz y posible zona de inundación	297
10. Hechos históricos asociados al puente	298
10.1 Citas documentales	299

Volumen IV en formato A3 papel, para incluir los esquemas geológicos, mapas y la totalidad de los planos, formado por 191 documentos y 4 planos en formato A3 desplegable.

Volumen IV en formato digital en CD, con el mismo contenido que el de formato A3 papel.

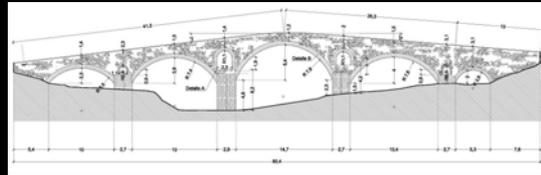


Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos Canales y Puentes de Barcelona

Tesis doctoral

Puentes de la época medieval en las cuencas de los ríos Ter, Fluviá y Muga

Volumen I



Ángel López Sánchez

2010



Puentes de la época medieval en las cuencas de los ríos Ter, Fluviá y Muga
Tesis doctoral

Ángel López Sánchez



Agradecimientos

No se puede llevar a encuadernar esta tesis sin mostrar mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado para llegar hasta aquí.

A los amigos que, en muchas ocasiones, me han acompañado en la búsqueda de los puentes y a su medición, sobre todo Manolo, al grupo de apoyo logístico y, muy especialmente, a mi joven ayudante Alex López.

Al director del Centro Diseño de Producto del Parque Científico y Tecnológico de la UdG, el buen amigo Josep Treserras, por su confianza al dejarme emplear los medios del Centro durante meses para realizar la primera edición de los planos. A Xavier Espinac y a Fernando por los retoques de planos.

A los amigos Joan y Manel Soler, Antoni Noguera, a Felix Bruguera por la revisión de los textos

A los profesores Drs. Pere Roca, Juan Pedro Martín Vide y Ángel Aparicio, Antoni Pladevall, M.A. Chamorro, por el tiempo que me han dedicado aconsejándome sobre muchos aspectos del trabajo. A María por las larguísimas jornadas de trabajo.

A los dibujantes: Daniel, Jordi y Carlos

A Jordi Queralta, que me ha ayudado en la parte más penosa del trabajo, mejorando gráficos, maqueteando, revisando e imprimiendo los documentos y pasando calor.

A los responsables de los archivos visitados,

A la Sra. M^a J. Cueto, por la amabilidad, atenciones y sonrisa con la que siempre me ha atendido en la solución de los tramites académicos, ayudándome a salvar los difíciles escollos administrativos.

El trabajo llega a la situación actual por la paciencia, cariño y dedicación que el Dr. Salvador Tarragó Cid, director de la tesis, ha mostrado conmigo durante estos años. Las estancias de los viernes en su despacho durante tantas jornadas de trabajo, el ambiente de trabajo, de serenidad y de tranquilidad que allí he vivido será muy difícil de olvidar. Por mi parte se ha creado una amistad como si fuera de toda la vida, que espero y deseo dure todo el tiempo que el Señor quiera esperar en llamarnos.

Hace años, en otro agradecimiento semejante al de ahora, al referirme a Carmen decía que ella era la verdadera autora del trabajo, ya que había guardado la retaguardia mientras yo me dedicaba al avance en la vanguardia de otra guerra parecida a la que ahora finalizamos. En este caso debo decir lo mismo pero aumentado no solo por guardar la retaguardia, asegurar la intendencia y corregir los documentos, sino por la paciencia, aburrimiento de aguantar, sobre todo este último año, sacrificando vacaciones y fines de semana para que yo pudiera finalizar el trabajo.

A todos agradezco la ayuda y el apoyo, muchas, muchísimas gracias a todos.

Angel López

Julio de 2010

Índice de símbolos

A_c	Ancho de la calzada
A_p	Ancho del puente, en planta
2α	Ángulo de desarrollo del arco
B_p	Ancho de la pila
β	Ángulo de inclinación de la calzada
c	Canto de las dovelas
C_E	Longitud del los estribos
c_{hE}	Canto o altura del estribo
c_p	Espesor de los pretils
e	Espesor de las dovelas
E_b	Estado de la bóveda
f	Flecha del arco
H	Altura del puente, desde la albardilla del pretil al lecho del río
h_{pr}	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco
h_p	Altura de los pretils
L	Luz del arco
L_c	Longitud total del puente, en planta
L_t	Longitud del terraplén
R	Radio del arco
σ	Directriz del arco
T_c	Cimiento de la pila

**Aspectos generales sobre la realización de la tesis
y
Conclusiones**

1. Introducción

Los ríos son un accidente geográfico que forman un sistema fronterizo entre los dos márgenes de su cauce, se comprende bien que desde la más remota antigüedad los hombres se las hayan ingeniado para salvar estos obstáculos y reducir la longitud de los caminos que debían realizar para vadearlos: necesitaban obras de paso (puentes).

Impotentes para cruzarlos, debían recorrer kilómetros de sus orillas tratando de encontrar las zonas de paso más favorables. En un principio, se ayudaban de troncos de árboles, y de grandes piedras para establecer caminos sobre el agua. Caminos que las avenidas en épocas lluviosas arrastran, desplazan, modifican y que requieren una nueva configuración, mucho esfuerzo y días de trabajo.

Se las ingeniaban para establecer estos caminos alejados de la superficie del curso del río de forma que en próximas avenidas no se destruyera el trabajo realizado. Empleaban lianas y plantas entrelazadas como elementos para agarrar entre puntos elevados de las dos orillas, y poder atravesar ríos y desfiladeros desplazándose colgados de estas lianas.

Posteriormente mejoran el procedimiento empleando dos lianas en las que atraviesan ramas gruesas que fijan a ellas con la ayuda de plantas entrelazadas, a modo de pasarela, para así, crear una superficie por donde podían pasar andando: estaban construyendo un puente colgante por donde podrían cruzar los vados caminando en lugar de colgados. El sistema se mejora añadiendo una tercera liana que permite caminar sobre el camino construido y al mismo tiempo asegurar el equilibrio cogiéndose con las manos a la tercera liana.

Quizás en las montañas, en los estrechos angostos, emplearon piedras que, apoyadas entre las rocas que sobresalían de ambos lados en voladizo, permitían el paso entre uno y otro lado.

De esta forma la naturaleza ayudó a los primeros hombres a la construcción de tres clases de obras de paso: el puente natural de piedra, los puentes de vigas y los colgantes.

El hombre de la edad de bronce (3.500 a.C. a 1.200 a.C.) intenta conquistar su entorno, realizando construcciones que permitieran el uso repetido del vadeo de ríos y precipicios con la construcción de puentes para ser cruzados con comodidad. Los conocimientos adquiridos con estas construcciones se transmiten de padres a hijos y familiares, desarrollándose una cultura y una tradición sobre como construir puentes, que permanece durante siglos con pocas innovaciones.

Esta forma de hacer, emplea los materiales que abundan en cada zona de la tierra. En Egipto, las piedras son el principal medio de construcción duradero, los métodos y el principio estructural dominante fueron el pilar y la jácena. A partir de Roma el uso del arco y la bóveda se generaliza progresivamente.

La cordillera de los Pirineos, barrera natural que separa la península del resto de Europa, ofrece pocos pasos fáciles. De estos pasos, algunos están en el Pirineo de Catalunya: Portbou en la costa, la Jonquera, Coll de Panissar, Prat de Molló, Mantet, Vall de Núria y otros en la Cerdanya.

Al sur de los tres primeros pasos se encuentra la gran llanura de l'Empordà; por ella, paralelos a la cordillera de los Pirineos, circulan los cauces principales de tres ríos (la Muga, el Fluvià y el Ter) que siempre representaron un obstáculo importante para el paso hacia el interior de Catalunya y de aquí, al resto de la península.

Desde la antigüedad, sobre estos tres cursos fluviales se construyeron pasos más o menos estables. Los romanos lo hacían de forma totalmente segura, pero después de la caída del imperio, las infraestructuras de comunicación sufrieron el abandono y casi su destrucción. Después de la reconquista a los árabes, se construyen o reconstruyen puentes que ya no tienen las exigencias de los construidos durante el imperio romano, ya que los medios de transporte han variado sustancialmente pasando de carros de cuatro ruedas, ideados para largos recorridos y transportando elevadas cargas, a medios de transporte más elementales (a pie o sobre mulos) con ligeras cargas a transportar y cortos recorridos.

La mayoría de estos puentes no se construyen en las antiguas vías principales, sino en vías secundarias y en las zonas donde se había refugiado la población durante la dominación árabe: en la cadena del Prepirineo y entre los puertos naturales existentes entre las cordilleras Prelitoral y Prepirinaica.

También se habilitan los caminos naturales que unen Coll d'Ares y Mantet para enlazar los Pirineos con las llanuras de Vic, desde donde se puede seguir el camino hacia Barcelona y Lleida.

Es en esta zona, de riqueza histórica sorprendente, aún se localizan algunos de aquellos puentes, o bien otros más modernos que se asientan sobre los restos de los puentes anteriores.

Otros puentes fueron construidos en lugares que hoy nos parecen insólitos pero que en la Edad Media fueron necesarios para el transporte de minerales, combustibles, tejidos, armas, etc.

Es en esta zona de alto valor natural e histórico donde se desarrolla el presente trabajo: estudio de los puentes de obra de fábrica más destacados que se asientan entre los márgenes de los tres ríos citados antes, que fueron paso forzado durante centurias de los pueblos y ejércitos que, en uno u otro sentido, debían atravesar las tierras de Girona.

Con el desarrollo de la tesis, se pretende aumentar el conocimiento sobre estas estructuras, de forma que aporte más comprensión sobre las causas de su durabilidad y estabilidad, así como conocer el efecto provocado por el puente en la hidráulica del tramo del río donde se emplaza.

Y finalmente, que el contenido del trabajo pueda servir de apoyo para mejorar la gestión de este patrimonio histórico – cultural.

En la realización de la tesis hemos definido dos etapas cronológicas:

- a) **El proyecto de tesis.**
- b) **La tesis propiamente dicha.**

En el redactado de este trabajo “SE RESPETA LA TOPONIMIA CATALANA”.

El proyecto de tesis

El contenido del proyecto de tesis lo realizamos bajo el objetivo general y desarrollo del plan de trabajo que se puede leer en el resumen que presentamos en los siguientes cuadros:

PROYECTO DE TESIS

OBJETIVO GENERAL

Localizar y seleccionar los puentes de la época medieval en las cuencas de los ríos Ter, Fluvià y Muga.

Plantear las bases para el estudio de los seleccionados.

Plan de trabajo para el Proyecto de Tesis (P.T.)

- 2.1. **Caracterizar** la morfología de los puentes de la época medieval.
- 2.2. **Buscar** el censo de puentes.
- 2.3. **Seleccionar** la muestra representativa a estudiar.
- 2.4. **Diseñar** la ficha de toma de datos en los trabajos de campo.
- 2.5. **Localizar** la posición geográfica de cada puente.
- 2.6. **Definir** los marcos geográficos e históricos de referencia.
- 2.7. **Sintetizar** las características de las cuencas de los ríos Ter, Fluvià y Muga.
- 2.8. **Plantear** el estado del conocimiento con anterioridad al siglo XX.
- 2.9. **Realizar** los dibujos con la geometría fundamental de cada puente.
- 2.10. **Elaborar y defender** el documento de P.T.

2.1 Desarrollo del Proyecto de Tesis

Partimos de la elaboración del trabajo de aproximación al tema con el “Proyecto de Tesis”, que iniciamos con la búsqueda de las fuentes de información. Como fruto de esta búsqueda pudimos consultar la mayor parte de los manuales existentes sobre puentes históricos en Catalunya. Por lo general, esta información se limita a presentar fotografías de los puentes, complementada con comentarios de carácter geográfico e histórico. En su mayoría son ediciones de calidad con excelentes fotografías y de carácter divulgativo.

Durante esta fase de la búsqueda entrevistamos al académico e historiador Dr. Pladevall, que nos indicó la existencia de un fichero sobre puentes históricos depositado en la biblioteca del Departament de Cultura en Barcelona. Del contenido de este fichero, el Sr. Tous, realizó el trabajo de campo, y la aportación histórica y bibliográfica se realizó bajo la dirección del propio Dr. Pladevall.

En este fichero, la información está ordenada por comarcas; consta de una ficha por cada puente, de formato A4, que contiene una fotografía, la situación geográfica y algunas referencias históricas y bibliográficas.

Centramos la búsqueda en las comarcas por donde fluyen los ríos Ter, Fluvià y la Muga: Ripollès, Osona, Gironès, Pla de l’Estany, Garrotxa, Alt y Baix Empordà.

Contabilizamos los siguientes puentes:

- 52 en el Ripollès.
- 46 en Osona.
- 57 en la Garrotxa.
- 6 en el Pla de l’Estany.
- 23 en l’Alt Empordà.
- 3 en l’Baix Empordà.

En total 154 puentes.

De estos, seleccionamos los veinte que nos parecieron más interesantes y que además, desde el punto de vista estadístico, formarían una muestra representativa de la totalidad de los existentes.¹ Veinte puentes, que repartimos entre las tres cuencas guardando una cierta proporcionalidad con las longitudes del cauce principal: diez en la cuenca del río Ter, siete en la del río Fluvià y tres en la cuenca de la Muga.

A partir de esta elección iniciamos dos vías de investigación que fuimos adecuando y corrigiendo en función del progreso realizado.

2.2 Fuentes de información sobre los puentes seleccionados

Centramos la búsqueda en las posibles fuentes de mayor facilidad de acceso: Internet, publicaciones de Colegios Profesionales, bibliotecas, consultas al Equipo de Apoyo a la Investigación de la BRGF² de la UPC y visitas a los archivos: Històric Municipal y al Departament de Monuments de la Diputació de Girona.

¹ Muestra representativa de una población: $\sqrt{n} = \sqrt{154} = 12,4\%$, $(20/154) * 100 = 12,98\%$

² TLC Biblioteca Rector Gabriel Ferrater. Universidad Politécnica de Cataluña.

Fruto de estas búsquedas localizamos documentos referentes a las intervenciones programadas y realizadas en el puente de Besalú, además de otros informes de restauración de puentes históricos de menor importancia, realizados por la Diputació de Girona.

2.3 Trabajos de campo

Realizamos 15 salidas de campo para localizar, observar, medir, dibujar y valorar el estado de los puentes elegidos, además de reconocer sus entornos. En estas visitas tomamos más de 1.200 fotografías de detalles de los puentes.

En algunos de los puentes comprobamos que la masa arbustiva y arbórea que los rodeaba, impedía medirlos y fotografiarlos. Fue necesario esperar a la llegada del invierno para tener el horizonte cercano a los puentes parcialmente despejado, y así poder realizar la toma de datos.

Los puentes elegidos están distribuidos en un área geográfica de 4.600 Km². Para dar una idea de lo que representó el trabajo de campo de esta etapa, fue necesario recorrer unos 3.700 Km.

2.4 Alcance del proyecto de tesis realizado

Comprendió la revisión de:

- a) La Bibliografía necesaria para podernos situar en el marco de la tesis.
- b) Los fundamentos teóricos de la construcción de puentes de obra de fábrica.
- c) Los marcos geográfico e histórico de referencia con el tema a realizar.
- d) La información sobre las cuencas hidrológicas de los ríos Ter, Fluvià y Muga.
- e) El estado del arte, sobre la construcción de puentes.

Fruto de la sedimentación de estas revisiones y de los trabajos de campo, realizamos el proyecto de tesis que consta, además de los capítulos de carácter general, de un boceto de la geometría de cada uno de los veinte puentes.

Pudimos constatar que las estructuras se encontraban con un buen aspecto, que tres de ellos estaban abiertos a la circulación de vehículos y el resto limitado a uso peatonal.

La realización de la tesis

Desarrollo de la tesis

En la etapa **b)** del trabajo, partiendo del conocimiento adquirido en la realización del proyecto de tesis, pudimos fijar los límites del trabajo, formular los objetivos de la tesis, plantear hipótesis a contrastar y planificar la estrategia para llevarlo a cabo.

En los cuadros siguientes resumimos los apartados que en el volumen I de la tesis desarrollamos, así como el contenido de los volúmenes II y III (6. Formación del dossier de puentes.)

GRANDES BLOQUES DEL CONTENIDO

del capítulo primero de la TESIS

3. Objetivos

3.0 De carácter general:

- 3.0.1. **Mantener los** límites del trabajo fijados en el Proyecto de Tesis.
- 3.0.2. **Profundizar** en el conocimiento de los puentes seleccionados.
- 3.0.3. **Asumir** la realización de los planos necesarios.
- 3.0.4. **Conseguir** la calidad necesaria de los documentos y planos del trabajo.
- 3.0.5. **Formar** un dossier para cada puente estudiado.

3.1. De carácter específico:

- 3.1.1. **Determinar** las relaciones geométricas entre los elementos que forman la estructura.
- 3.1.2. **Compararlas** con las procedentes de las reglas empíricas.
- 3.1.3. **Justificar** la estabilidad de las estructuras y **clasificarlas**.
- 3.1.4. **Valorar** el efecto del puente sobre la hidráulica del río.
- 3.1.5. **Localizar** información histórica referida a cada puente.
- 3.1.6. **Elaborar** las conclusiones del trabajo.
- 3.1.7. **Proponer** otras investigaciones para proseguir el trabajo

4. Formulación de hipótesis

- 4.1. Hipótesis referentes a las **fuentes de información de carácter general e histórico**
- 4.2. Hipótesis referentes a la **estructura** y a la **hidráulica** de los puentes

5. Método de trabajo

- 5.1. **Estrategia** aplicada para la búsqueda de información.
- 5.2. **Trabajos de campo.**
- 5.3. **Trabajos de gabinete.**

6. Formación del dossier de cada puente

- 6.1. **Esquemas** geológicos de las comarcas donde están los puentes.
- 6.2. **Localización** geográfica y características generales.
- 6.3. **Descripción** arquitectónica.
- 6.4. **Análisis de la geometría** de los elementos estructurales.
- 6.5. **Comparación** con las reglas empíricas recopiladas.
- 6.6. **Valoración** de la estabilidad: Coeficientes de seguridad. Clasificación estructural.
- 6.7. **Efectos hidráulicos:** Coeficiente de obturación. Pendiente motriz. Zona inundable.
- 6.8. **Patologías.**
- 6.9. **Hechos históricos** asociados al puente.
- 6.10. **Comparación** entre los puentes construidos en Europa, España y los estudiados

7. Conclusiones

- 7.1. **Grado de eficacia** en la localización de información.
- 7.2. **Sobre la estructura:** Tipología. Dovelas. Pilas. Directrices de los arcos. Tipo de cimiento. Materiales de bóveda y paramentos. Coeficientes de seguridad. Amplitudes de las calzadas.
- 7.3. **Sobre la hidráulica** del puente.
- 7.4. Conclusiones sobre el análisis **comparativo dimensional e histórico.**

8. Contraste de Hipótesis

- 8.1. Sobre las formuladas con **referencia a las fuentes de información e históricas.**
Siete hipótesis: **Tres aceptadas.**
Tres parcialmente aceptadas.
Una rechazada.
- 8.2. Sobre las formuladas **respecto a la estructura e hidráulica.**
Doce hipótesis: **Tres aceptadas.**
Cuatro parcialmente aceptadas.
Tres rechazada.
Dos pendientes de contraste.

3.1 Objetivos de la tesis

3.1.1 De carácter general

- 3.1.1.1. Nos reafirmamos en mantener el alcance definido durante el proyecto de tesis.
- 3.1.1.2. Continuaríamos la investigación sin sobrepasar el marco geográfico elegido.
- 3.1.1.3. No cambiaríamos los puentes seleccionados, profundizaríamos en los veinte elegidos.
- 3.1.1.4. Respecto a los planos, asumimos el tener que dibujar la totalidad de los puentes y, en el caso de encontrar alguno, adaptarlo para guardar una uniformidad con el resto.
- 3.1.1.5. La calidad de los planos debía superar con creces, los croquis que habíamos realizado para el proyecto de tesis. En caso contrario la verificación de la estabilidad de las estructuras no sería fiable. El plano con cotas debía ser la base de todo el desarrollo posterior.
- 3.1.1.6. El dossier con la información de cada puente se debía realizar con la idea de “que pudiera servir”: para lograr los objetivos de la tesis, pero también como herramienta para trabajos posteriores.

3.1.2. De carácter específico

- 3.1.2.1. Partiendo de los planos de cotas de cada estructura, determinaríamos las relaciones principales para comparar con las reglas empíricas de dimensionado de puentes históricos empleadas por los antiguos Maestros constructores.
- 3.1.2.2. Partiendo de la geometría, justificar el grado de la estabilidad del puente. Clasificarlo en base a los parámetros de las bóvedas definidos por Paul Séjourné³, y también por otros de naturaleza ingenieril: nº de arcos, luz, esbeltez, directriz, material de la bóveda, tipo de cimiento, etc.
- 3.1.2.3. Valorar el efecto hidráulico del puente sobre el tramo del río en el que se sitúa.
- 3.1.2.4. En base a los resultados obtenidos de los tres párrafos anteriores, realizar su análisis.
- 3.1.2.5. Ampliar el campo de búsqueda empleado en el proyecto de tesis para localizar la posible documentación relativa a hechos históricos que puedan estar relacionados con la vida y uso del puente.
- 3.1.2.6. Elaborar unas conclusiones que contribuyan al conocimiento técnico e histórico de la riqueza del patrimonio que representan “las obras de paso antiguas”, con las que se pueda contribuir al conocimiento, mantenimiento y a la gestión de este patrimonio construido.
- 3.1.2.7. Proponer vías para continuar, profundizar o complementar la investigación realizada.

³ Paul Séjourné: «*Grandes Voûtes, Tomme I, Voutes inarticulées.*» Bourges, 1913.

4. Formulación de hipótesis

Como planificación del trabajo, debe interpretarse el proceso que hemos seguido para lograr los objetivos. Como hilo conductor para su realización, enumeramos una serie de hipótesis que deberemos contrastar o rechazar como colofón al finalizar el trabajo.

Hemos clasificado las hipótesis en función de su naturaleza:

- a) Las que hacen referencia a la documentación técnica e histórica.
- b) Las que hacen referencia a la estructura e hidráulica del puente.

4.1. Hipótesis referentes a las fuentes de información de carácter general e histórico

- 4.1.1. Los planos de los puentes se encontrarán en algún organismo estatal o autonómico, que pueda estar relacionado con cultura, vías de comunicación y/o dominio hidráulico.
- 4.1.2. La evolución de las inspecciones realizadas sobre la situación del puente la podremos encontrar en los mismos organismos a los que nos referimos en el apartado anterior.
- 4.1.3. En las secciones de urbanismo y en los archivos de los ayuntamientos en cuyo término municipal se localice alguno de estos puentes, podremos encontrar información técnica e histórica sobre el puente.
- 4.1.4. En los archivos históricos comarcales y en los dependientes del Departament de Cultura de la Generalitat podríamos encontrar documentos históricos asociados a la vida y uso del puente.
- 4.1.5. En las Asociaciones de Amigos de: Alta Garrotxa, La Selva, Condado de Besalú, Sant Joan les Fonts, etc. podremos encontrar referencias históricas relacionadas con los puentes.
- 4.1.6. En el archivo general del Ministerio de Fomento, posiblemente, encontraríamos documentación relativos al puente.
- 4.1.7. En el archivo general de la Administración de Alcalá de Henares, quizás, encontraríamos documentación sobre el puente.

4.2. Hipótesis referentes a la estructura y la hidráulica del puente

- 4.2.1. En algunos casos, es posible que las estructuras actuales de los denominados popularmente puentes romanos, románicos, góticos o medievales, se deriven de otras más antiguas y posiblemente algunas de origen romano.
- 4.2.2. Estas construcciones, que se vienen manteniendo en pie durante centurias, deben tener un coeficiente de seguridad superior al que se utilizaría hoy en día.
- 4.2.3. Las dimensiones de dovelas y pilas coincidirán con los valores propuestos por alguna de las reglas empíricas utilizadas por los constructores de puentes.
- 4.2.4. Las dimensiones de dovelas y pilas podrían estar en función de la “dureza” de los materiales empleados.

- 4.2.5. Las relaciones geométricas de los elementos estructurales que forman el puente deben coincidir con las empleadas en la construcción de puentes históricos en el resto de España y de Europa.
- 4.2.6. La amplitud de la calzada puede ser un parámetro que permita valorar la época de construcción de los puentes.
- 4.2.7. Por la influencia del país cercano, posiblemente los Maestros constructores de estas estructuras, procedían de estados europeos, con más probabilidades que de otras zonas de la Península.
- 4.2.8. Posiblemente, algunos de los puentes se encargaron a Maestros de obras localmente conocidos.
- 4.2.9. Es improbable que estas construcciones se realizaran en el período comprendido entre el siglo XIV y XV. En 1347 comienzan las epidemias de la peste negra, en la que más de la mitad de los habitantes de Catalunya fallecen. Posteriormente, durante el siglo XV, los efectos de las ondas sísmicas fueron sensiblemente notables en las tierras de Girona.
- 4.2.10. Podremos encontrar datos fiables sobre la hidráulica del puente en las Subdelegaciones del Departament de Medi Ambient de Girona o en la ACA⁴.
- 4.2.11. No es probable que las dimensiones de los puentes respecto a la capacidad de desagüe, sigan alguna ley.
- 4.2.12. Conceptos como pluviometría, cuenca hidrológica, caudales de los ríos es posible de que se tengan en cuenta solo en algunos puentes, quizás en los últimos construidos.

5. Método de trabajo

Después de la investigación bibliográfica realizada en el proyecto de tesis, insistimos en su búsqueda tal como se describe en punto 5.1. Esta investigación la realizamos simultáneamente con los trabajos de campo relativos al conocimiento del puente.

Los trabajos fundamentales de gabinete variaron conforme progresábamos en el trabajo. Al principio, el dibujo de los planos fue prioritario; a este siguió el análisis de la geometría de los elementos estructurales y la comparación con las reglas empíricas; con posterioridad, los relativos a la estabilidad del puente por dos procedimientos: simulación informática con el programa ARCs, y con el procedimiento analítico; continuamos con el trabajo de descripción arquitectónica del puente, al que siguió el de valoración de los efectos hidráulicos ocasionados por la localización del puente respecto al río. Por último, la redacción de los documentos que forman la tesis.

⁴ Agencia Catalana del Agua, que engloba la antigua Confederación Hidrológica del Pirineo Oriental

5.1. Localización de información y potenciación del conocimiento de campo sobre los puentes

5.1.1 Solicitudes escritas: dirigidas a las siguientes entidades:

- Ministerio de Fomento
- Archivo Histórico Nacional
- Arxiu General de Catalunya
- Archivo general de la Administración de Alcalá de Henares

5.1.2 Entrevistas: con historiadores, geógrafos, ingenieros y funcionarios (municipales, de archivos comarcales, de archivos provinciales e históricos de las Diputaciones de Barcelona y Girona, Agentes fluviales).

5.1.3. Consultas personales en Archivos y Bibliotecas

5.1.3.1. Archivos generales

1. Arxiu Històric⁵ de la Diputació de Barcelona.
2. Arxiu Històric de la Diputació de Girona.
3. Arxiu Històric de Girona.
4. Arxius Comarcals⁶, Ripollés, Osona, Alt i Baix Empordà.
5. Arxiu del Castell de Peralada⁷.
6. Arxiu General de Catalunya.
7. Arxiu Diocesà de Girona.
8. Arxiu del Centro Excursionista de Catalunya –UAB

5.1.3.2. Arxius Municipals⁸:

Camprodon, San Joan de les Abadesses, Manlleu, Vic, Vilanova de Sau, Gualta, Sant Joan les Fonts, Montagut – Oix, Sales de Llierca, Besalú, Sant Miquel de Campmajor, Sant Llorenç de la Muga, Castelló d’Epmúries. Arxiu de la Societat Alba–Ter en Girona.

5.1.3.3. Bibliotecas:

UPC de Barcelona: BRGF⁹, ETSECCP¹⁰, ETSAB¹¹, ETSEIB¹² (textos antiguos), Camins Campus Nord, Campus Terrassa i Sabadell. Biblioteca UdG en Girona: Campus Montilivi, Barri Vell, Sala Gòtica, Cartoteca¹³. Biblioteca del Departament de Medi Ambient¹⁴ de Barcelona. Biblioteca Comarcal de La Selva de Blanes. En la Associació de Amics de Sant Joan les Fonts¹⁵.

5.1.3.4. Estudio de tesis doctorales y Tesinas en el Centro ETSECCPB

⁵ TLC Archivo Histórico.

⁶ TLC Archivo Comarcal.

⁷ TLC Castillo de Peralada (Alto Empordán).

⁸ TLC Archivos Municipales.

⁹ Biblioteca Rector Gabriel Ferraté. Universidad Politécnica de Catalunya

¹⁰ TLC Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona

¹¹ TLC Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

¹² TLC Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales de Barcelona

¹³ TLC Bibliotecas de la Universidad de Girona : C.Montiliv, Barrio Viejo, Sala Gótica , Cartoteca

¹⁴ TLC Departamento de Medio Ambiente de la *Generalitat de Catalunya*

¹⁵ TLC Asociación de amigos de la población de *Sant Joan les Fonts*

Entre la documentación localizada en esta fase del trabajo (5.1) destacamos la relativa a planos de carácter arquitectónico correspondientes a cuatro de los puentes estudiados:

- a) Los dos reconstruidos por F. Pons Sorolla en los años 60 y 70 del pasado siglo: Sant Joan de les Abadesses y Besalú.
- b) El de Gualta, donde la Diputació de Girona había colaborado con el ayuntamiento de esta población en algunas obras de mantenimiento del puente.
- c) El de Castelló d'Empuries. El ayuntamiento había realizado mejoras de consolidación en el año 2003 y tenía previsto realizar una mejora durante el año 2008.

Respecto a los datos sobre hechos históricos pudimos recopilar algunos relativos a 12 puentes y, además, los relativos a avenidas extraordinarias históricas en las cuencas de los tres ríos durante el período comprendido entre 1907 y 1978.

5.2. Trabajos de campo con los puentes

En cada puente:

Observación y toma de datos sobre:

1. Naturaleza visible sobre la que descansan las pilas y posibles efectos de socavación.
2. Estado de las bóvedas.
3. Arranque de los arcos.
4. Zonas de la clave.
5. Filtraciones.
5. Estado de la rasante y de la calzada.
6. Composición de los paramentos.
7. Estado y composición de los tímpanos y de los elementos secundarios: arquillos, tajamares, espolones, pretilos, materiales que los componen, estado, etc.
8. Estimar las posibles dimensiones de los estribos.

5.3. Trabajos de gabinete

La investigación para hacernos con planos o información con la que pudiéramos dibujar los puentes la mantuvimos durante 5 meses. Ante los resultados infructuosos y las posibilidades inciertas de poderlos obtener, pasado este tiempo, abordamos la elaboración de los planos a partir de los croquis realizados y del material que habíamos recopilado.

5.3.1 Dibujo de los puentes

En la identificación de los planos de los puentes hemos aplicado el siguiente criterio: la letra P seguida de un guión y del orden de localización en que se encuentran en su recorrido desde el nacimiento a la desembocadura del río respectivo: Ter, Fluvità y la Muga.

a) Elaboración de un mínimo de 6 planos en formato A3 para cada puente:

1.1 P – 1/6 Plano de cotas en alzado y en planta.

1.2 P – 2/6 Descripción de los paramentos en función del tipo de material y de la traba.

1.3 P – 3/6 Alzado, con la posición de los ángulos de visión de las seis imágenes que se incluyen en el plano.

1.4 P – 4/6 Alzado con las **cotas verticales respecto a una línea de referencia**, necesaria para aplicar en el programa informático ARCs, **añadiendo:**

a) El **dibujo** del trazado de la “**línea de presiones o empujes**”, procedente de la simulación con ARCs, y los valores de los **empujes horizontales y excentricidades** necesarios en cada una de las bóvedas para lograr que la línea de presiones transcurra por el tercio central de las dovelas que forman cada una de las bóvedas. Además, los valores de la **carga específica del peso propio sobre los cimientos**.

b) El efecto de las **cargas puntuales** provocadas por un tren de dos ejes, separados dos metros, con una carga equivalente a 120 KN por eje y aplicando un coeficiente de seguridad de valor 3 ($120 \text{ KN} \times 3 = 360 \text{ KN/eje}$).

La **carga móvil** la hemos considerado, en algunos de los puentes, sólo en las bóvedas de mayores vanos, localizadas siempre **a 1/2 y, en algún caso, 1/4 de la luz**.

c) A partir del programa ARCs, se ha determinado el **coeficiente de seguridad** de la estabilidad del puente para un valor de **cargas** adecuado al que realmente podría desplazarse por la rasante del puente, teniendo en cuenta el **ancho útil de la calzada**. Se ha supuesto el peso que puede representar una ristra de mulas, en paralelo, que entre el peso propio y el transportado sea equivalente a cargas puntuales de 400 kg. (**4 KN**), **separadas 2 metros/mula**. Los valores encontrados, en lugar de incluirse en el plano, lo hacemos en la explicación del dossier de cada uno de los puentes.

1.5 P – 5/6 Alzado con cotas verticales respecto a la línea de referencia, añadiendo el planteamiento y el **resultado del cálculo analítico** (para mayor detalle, ver **anexo 1** a las conclusiones) de los empujes horizontales, verticales y la carga específica sobre los cimientos producidos por el peso de la estructura. Cada bóveda se considera como un arco simétrico, sin articulaciones, soportando **tres tipos de carga propia:**

a) La **comprendida entre dos planos:** uno tangente al extradós en la clave y otro en la capa de rodadura.

- b) La carga propia indicada en el punto anterior, se **incrementa** con la **equivalente** al peso de los **pretilos** repartido uniformemente sobre la anterior.
- c) La del **relleno** comprendido entre el plano tangente al extradós en la clave y la superficie del extradós del arco

1.6 P – 6/6 Alzado con el resultado del cálculo:

- a) Del **coeficiente de obturación** del puente para diferentes valores de calado.
- c) De la **pendiente motriz** calculada para el tramo del río donde se localiza el puente, para un intervalo de 700 metros aguas arriba y otros 700 aguas abajo.
- b) Inclusión de un mapa con la aproximación de la **hipotética zona de inundación** para un determinado valor de **calado**, basándonos en los datos recopilados sobre avenidas históricas, que hacen referencia, aproximadamente, al 60% de los puentes.

Independientemente de lo dicho en el párrafo anterior, para estimar el calado máximo en cada uno de los puentes: hemos tenido en cuenta los **caudales punta calculados para un período de retorno de 100 años**, la **sección de paso** ofrecida por el puente y la **velocidad del agua** estimada en 1,6 a 2 m/seg. Omitiendo, por lo excesivo del trabajo, a recurrir al montaje del modelo hidrológico de la cuenca, empleando el programa HEC-HMS a partir del modelo geográfico Arc ViewGis.

- d) En el dossier de cada puente se incluye el **área de la cuenca aguas arriba** del puente, el valor de **la lluvia media diaria** y los **caudales de punta para períodos de retorno de 100 y 500 años** (ver anexo 3 a las conclusiones).

1.7 P – 6/7 En el caso de los **puentes** de la ciudad de **Vic**, el plano de la zona de **inundación** corresponde al nivel de las aguas de la riada ocurrida el **8 de octubre de 1863**.

- a) En el dossier del puente de Remei y Queralt **se incluye** la **localización de las placas** indicativas del nivel alcanzado por las aguas en la inundación que citamos en el párrafo anterior.

1.8 P – 7/7 y 7A/7 Plano de **hipótesis** sobre la **forma original** de los **puentes** de la ciudad de Vic (**Remei y Queralt**), que suponemos mutilados, o que contamos con alguna referencia en la que nos basamos para enunciar la hipótesis.

1.9 P – 7/14 Plano de **imágenes 3D** de la **pila sexta**, con la patología más destacada del puente de **Besalú**, donde se incluye una fotografía histórica en la que se puede denotar el trabajo de reafirmación realizado en esta pila durante la consolidación realizada en 1965.

1.10 P – 8 a 11/14 Planos de **Besalú** con el alzado y planta, dibujando sobre esta última la **composición vectorial** de la **resultante de los empujes horizontales**. Este cálculo se efectúa para diferentes valores de los empujes

horizontales derivados de la acción de cargas puntuales situadas en dos bóvedas diferentes y también de forma de simultánea.

- 1.11 P – 12/14 Plano con los alzados de dos **hipótesis** del trazado del puente de **Besalú** en el **emplazamiento actual**.
- 1.12 P – 13/14 Fotografías aéreas con **hipótesis** de **diferentes orientaciones** de la **rasante** del **puente de Besalú**, que se incluyen como imágenes en el dossier del puente.
- 1.13 P – 14/14 Plano de cotas de **Besalú** de formato “**A3 múltiple**”
- 1.14 Planos con diferentes identificaciones, en formato “**A3 múltiple**”, para los puentes de **Sant Joan de les Abadesses, Gualta y Castelló d’Empuries**.

La confección de los planos anteriores ha representado una labor de retroalimentación o feedback continuo. Una vez dibujado, regresar al puente, mirar, comparar, tomar alguna medida complementaria, comparar con las fotografías, corregir, etc.

6. Elaboración del dossier de cada puente

A partir de los planos dibujados, citados en el apartado 5.3.1, se elabora un dossier de cada puente donde, además de los datos geográficos para su localización, se incluye:

- 6.1. El esquema geológico de la comarca donde se sitúa el puente (solo en los planos con formato A3).
- 6.2. Plano topográfico para su localización.
- 6.3. Descripción arquitectónica de la estructura, apoyada con imágenes.
- 6.4. Análisis la geometría del puente para cada uno de los elementos estructurales (bóvedas, pilas, tajamares, arquillos y estimación de los valores de los estribos).
 - a) Bajo la denominación de: “Tipología de la unidad estructural” y partiendo de las valoraciones derivadas de lo especificado en el párrafo anterior, clasificamos cada una de las bóvedas de acuerdo con los criterios de Séjourné y otros parámetros.
 - b) Cálculo de las relaciones más representativas de las empleadas en las reglas empíricas para la construcción de puentes:
 - b.1) Canto de las dovelas en función de la luz. **c/L**
 - b.2) Ancho de las pilas en función de la luz. **B_p /L**
 - b.3) Ancho de las pilas en función de la altura del puente. **B_p/H**
 - b.4) Canto dovelas en función del año de construcción **c/año**
- 6.5. Hemos desarrollado las principales reglas empíricas recopiladas desde la época del Imperio Romano hasta las propuestas por Rankine¹⁶, para determinar el valor del canto de las dovelas en función de la luz, la relación

¹⁶ Rankine, W.J. (1858): *Manual of Applied Mechanics*.

entre el ancho de la pila y su altura y la del ancho de la pila respecto del canto de las dovelas y la luz.

a) Sobre el gráfico obtenido del desarrollo de las 12 reglas empíricas, hemos situado los valores reales del puente estudiado, con objeto de valorar la posible influencia de las reglas empíricas o de otras cercanas a ellas, que pudieron emplearse en su construcción.

6.6. Se valora la estabilidad de la estructura:

a) Empleando el programa informático ARCs, se sitúa el recorrido de la línea de presiones en el tercio central de la boquilla de la bóveda ajustando el valor de los empujes horizontales y excentricidades. Esta aplicación la hemos desarrollado bajo dos condiciones: sin cargas móviles y con ellas. En el caso de considerar cargas móviles, lo hacemos solo en las bóvedas principales situándolas a medios de la luz, y en algún caso, también a cuartos.

b) Calculando los efectos de los empujes horizontales y verticales de los diferentes elementos estructurales, siguiendo el procedimiento que hemos indicado en el número 1.5 del anterior apartado 5.3.1.

c) Calculando el valor de la carga específica sobre cada pila y el valor medio de todas las que forman cada puente. Este valor medio se utiliza para determinar un índice por familias de puentes. Familias que hemos considerado en función de su cercanía y de la cuenca donde se sitúan.

d) Comparamos los valores de los empujes horizontales obtenidos con el programa ARCs (apartado a) con los obtenidos mediante el procedimiento analítico (apartado b).

Con objeto de no redundar, en este apartado debe considerarse incluido todo lo especificado anteriormente, en el apartado 5.3.1, bajo la numeración 1.4 y 1.5.

6.7. Respecto a los efectos hidráulicos del puente sobre río:

Como en el punto anterior, para no repetirnos, se debe interpretar que en este apartado incluimos aquellos planos y consideraciones desarrollados en el apartado 5.3.1. bajo la denominación numérica 1.6, relativo a la hidráulica del puente.

6.8. Considerando la vida de servicio del puente, solo si hemos observado patologías importantes, se describen. En algunos casos, si hemos encontrado datos históricos fiables relativos al puente, los adjuntamos.

6.9. Hechos históricos asociados a los puentes que se incluyen en el dossier

Los documentos encontrados en los archivos, en su mayoría, están escritos en catalán. Se incluyen las traducciones para permitir la lectura de un público más amplio, respetando en todo el trabajo la toponimia catalana.

6.10 Hemos recopilado las medidas principales de tres familias de puentes históricos construidos:

1. En España entre los años 1000 y 1900
2. En Europa entre el 1100 y el 1600
3. La tercera familia la hemos formado con los datos de los puentes que estudiamos en esta tesis.

Para familias hemos calculado las relaciones:

- a) Canto / luz **c/L**
- b) Ancho pila / luz **B_p/L**
- c) Flecha / luz **f/L**

Finalmente, hemos representado gráficamente la evolución de estas relaciones en función de los años en que estos puentes fueron construidos.

Para las tres familias conjuntamente, hemos representado gráficamente los ratios más significativos, como son:

Valores principales en función de la luz:

- Flecha = f (luz) **f = f (L)** (valor de la flecha en función de la luz)
- Canto en la clave = f (luz) **c = f(L)** (canto de la dovela en la clave en función de la luz)
- Ancho Pila= f (luz) **B_p = f (L)** (ancho de la pila en función de la luz)
- Canto estribo = f (luz) **c_{hE} = f (L)** (Canto del estribo en función de la luz)

Relaciones principales en función de la luz:

- Flecha /luz = f (luz) **f/L = f (L)** (ratio flecha/luz en función de la luz)
- Canto/luz = f (luz) **c/L = f (L)** (ratio canto dovela clave/luz en función de la luz)
- Ancho pila/luz = f (luz) **B_p/L = f (L)** (ratio ancho pila/luz en función de la luz)
- Canto estribo/luz = f (luz) **c_{hE}/L = f (L)** (ratio canto estribo/luz en función de la luz)

Algunas relaciones principales en función del año de construcción:

- Canto/luz = f (año construcción) **c/L = f (año)** (ratio canto/luz en función del año de construcción)
- Ancho pila/luz = f (año construcción) **B_p/L = f (año)** (ratio ancho pila/luz en función de la fecha de construcción)

Conclusiones alcanzadas con la realización de la tesis

Conclusiones

Para facilitar el seguimiento de las conclusiones Las hemos ordenado agrupándolas en siete grupos. Al inicio de cada grupo colocamos un cuadro de fondo coloreado y en 3D donde se incluyen los “Aspectos más destacados de las conclusiones”.

7.1 Sobre la eficacia de búsqueda de fuentes de información

- a) Hemos encontrado planos arquitectónicos de 4 puentes (20%). Ha sido necesario adaptarlos y dibujarlos de nuevo.**
- b) Los planos del resto de puentes los hemos dibujado basándonos en los trabajos de campo realizados (80%).**
- c) Se ha logrado información histórica del 85% de los puentes estudiados**

7.1.1. Solo hemos encontrado planos del 20% de los puentes estudiados (Sant Joan de les Abadesses, Besalú, Cabreta y Gualta) (ver apartado 1).

7.1.2. Estos planos ha sido necesario volverlos a dibujar ya que las ediciones que encontramos estaban en formatos arquitectónicos de difícil manipulación. El de Castelló d'Empuries, en las ediciones de los años 2003 y 2008, de gran detalle y formato, también dificultaba la aplicación que hemos desarrollado en cada puente. No obstante, el haber podido disponer de ellos ha representado una ayuda importante a la hora de ejecutar las ediciones que aparecen en la tesis.

7.1.3. Del resto de los puentes estudiados, que representan el 80%, en el caso de que existan, no hemos sido capaces de encontrarlos, y ha sido necesario dibujarlos a partir de las mediciones y fotografías que hemos efectuado.

7.2 Generales sobre las estructuras:

- El 25% de los puentes tienen 7 o más bóvedas.
- De las 74 bóvedas que tienen el total de los puentes estudiados:
 - 67% Medio punto rebajadas.
 - 28% medio punto completas.
 - 5 % Apuntadas.
- El 65 % son obras de sillería de piedra.
- El canto de las dovelas, de forma general, no coincide con las reglas empíricas.
- El ancho de las pilas mayoritariamente coincide con las reglas empíricas.
- El 15% de los puentes no tiene pilas en el curso fluvial.
- El 43% de las pilas descansan sobre roca.
- El 82% de las pilas tienen una carga específica sobre el cimiento comprendido entre 0,1 y 0,6 N/mm², en ningún caso sobrepasa 1 N/mm².
- El valor medio del ancho de las calzadas en 2,75 metros ± 1,45.
- Se encuentran diferencias significativas entre las amplitudes de las calzadas según su emplazamiento esté en un entorno rural o urbano.
- Tomando como base 100 la amplitud de la calzada del puente de S.Roc, la media de los urbanos es 90,3 y los rurales 58,5.

7.2.1. En la tabla C1 presentamos una síntesis de los puentes estudiados clasificados en función del número de bóvedas que contienen.

Una	Dos	Tres	7 o más
Llierca	Cabreta	Sant Joan Abadesses	Camprodon
	Malalafogassa	Sant Roc	Manlleu
	La Bisbal	Sant Joan les Fonts	Remei
	Oix	Can Prat	Queralt
	Valenti	Sant Llorenc	Bruguer
	Sant Antoni		Gualta
			Besalú
			Castelló d'Empuries
5%	30%	25%	40%

Tabla C1 – Clasificación de los puentes en cuanto al número de bóvedas

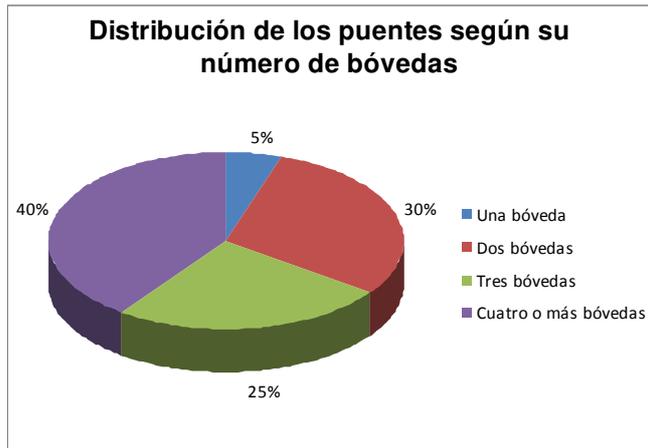


Gráfico C1 – Distribución de los puentes en función del número de bóvedas

7.2.2. En total, los 20 puentes contienen 74 bóvedas:

- 4 están formadas por arcos apuntados, lo que representa 5,4% del total.
- Las 70 bóvedas restantes tienen el arco de desarrollo circular:
 - 17 son de medio punto completo (23% del total)
 - 53 con el arco de medio punto rebajado (71,6 % del total)
- Cubren toda una variedad de ángulos de desarrollo, que oscilan entre los 80º y los 180º.

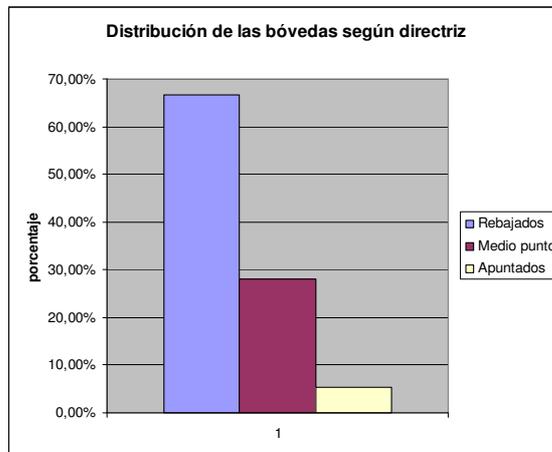


Gráfico C2 – Distribución de los arcos según el valor de la directriz.

7.2.3. Los puentes situados en las cotas altas de su cuenca y con pendientes motrices elevadas, vadean el río sin arriesgarse a colocar pilas en el cauce. Tres puentes cubren el vano principal con una sola bóveda de luz superior a los 20 metros: Cabreta (2,13%), Camprodon (1,92%) y Sant Joan de les Abadesses (0,643%).
(valor de pendiente %)

7.2.4. Las bóvedas cubren un amplio intervalo de luces desde 2,5 metros hasta cerca de 30 metros.

Intervalo en metros	Ter	Fluvià	Muga	Total	%
Menos de 5	3	3	-	6	8,1
5,1 a 10	22	9	5	36	48,64
10,1 a 15	9	5	3	17	22,97
15,1 a 20	2	5	3	10	13,51
20,1 a 25	2	-	2	3	4
25,1 a 30	1	1	-	2	2,7
Nº bóvedas por cuenca	39	23	12	74	100

Tabla C2 – Clasificación en función del valor de la luz de los arcos

Como puede observarse, el intervalo predominante es el de de 5,1 a 10 metros con el 48,64% del total. El intervalo que sigue al anterior, en importancia, es el de luces comprendidas entre 10,1 y 15 metros, que representa el 23% de las bóvedas, siguiendo el intervalo de 15,1 a 20 metros de amplitud del vano, con un 13,51%.

7.2.5. En el 42,25% de los puentes, las pilas se apoyan sobre estratos rocosos visibles. En todos los casos se respeta el perfil visible de la roca sobre la que descansa la estructura, habiéndose trabajado las primeras filas de sillares para adaptarlas al perfil de la roca, y sobre ellas, se ha levantado en altura la estructura: (Cabreta, Camprodon, Manlleu, Sant Joan les Fonts, Oix, Valenti, Llierca, Sant Antoni y Sant Llorenç).

7.3. Conclusiones sobre los elementos estructurales:

La clasificación propuesta por P. Séjourné (1913) sobre las bóvedas, a pesar de su relativa antigüedad, es una excelente herramienta para la clasificación y estudio de los puentes de obra de fábrica.

La basada en la clasificación de parámetros constructivos (Martín-Caro, 2004) es una herramienta que se puede complementar perfectamente con la de Séjourné.

7.3.1. Las dovelas

7.3.1.1. Prácticamente, en ningún caso coincide el canto de la dovela con los valores propuestos por las reglas empíricas con las que las hemos comparado.

7.3.1.2. En algunos puentes, las dovelas que forman la bóveda no son iguales a las que forman la boquilla. En algunos casos las dovelas con que se configura la boquilla están aplacadas sobre el perfil la bóveda (Manlleu, Queralt y Oix). En un caso, se ven, incluso, desprendidas (Queralt).

7.3.2. Las pilas

7.3.2.1. En todos los puentes, los valores del ancho de la pila se acercan a los valores que proponen las reglas empíricas.

7.3.2.2. Las cargas específicas de las pilas sobre los cimientos debidas al peso propio de la estructura están comprendidas entre los siguientes intervalos:

Intervalo de la carga específica	< 0,1	> 0,1 < 0,6	0,6	>0,6 < 1
% sobre el total de pilas	7%	81,4%	2,3%	9,3%

Tabla C3 – Distribución de las cargas específicas sobre el cimiento. Expresadas en N/mm^2

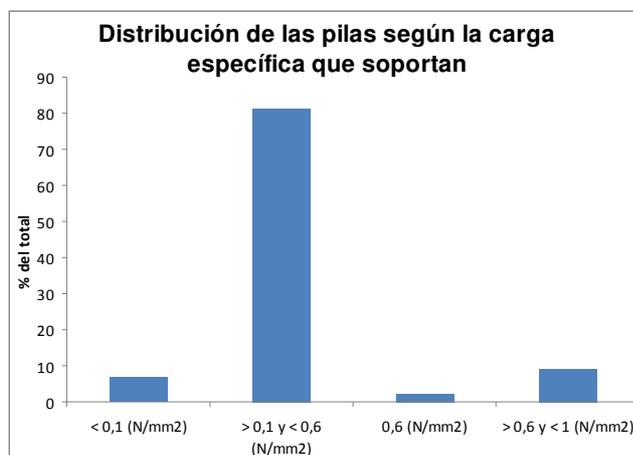


Gráfico C3 – Distribución de las pilas según la carga específica que soportan

Es interesante comparar estas cifras con las que indica la Piet70 para la tensión de trabajo admisible de:

- a) los morteros M-5: $0,5N/mm^2$
- b) los morteros M-10: $1N/mm^2$

Las tensiones de trabajo las pilas estudiadas se encuentran entre las que pueden soportan los morteros de menor especificación

De la misma fuente de información, haciendo referencia a las tensiones máximas de trabajo para las piedras, destacamos que de son de un rango comprendido entre 10 y 30 mayores que las que deben soportar en la base de las pilas.

- c) las piedra calizas a compresión: $> 30N/mm^2$
- d) las piedras areniscas a compresión: $> 10 N/mm^2$.

7.3.3. Las directrices

7.3.3.1. El valor medio de las directrices de los arcos es de $1 / 2,77 = 0,3676$, que corresponde a arcos circulares reducidos.

7.3.3.2. Con referencia a la clasificación de Séjourné:

28% de las bóvedas tienen las tangentes verticales en los arranques y una directriz $\sigma = 1/2 = 0,5$ que corresponde a arcos de medio punto completos, pertenecientes a la serie C.

50,7% de las bóvedas tienen las tangentes inclinadas en los arranques de un arco continuo, de directriz $\sigma \geq 0,288$, que da lugar a bóvedas circulares poco reducidas, pertenecientes a la serie A*.

7% de las bóvedas tienen las tangentes inclinadas en los arranques de un arco continuo, de directriz comprendida entre $0,288 > \sigma > 0,143$, dando lugar a bóvedas circulares bastante reducidas, que se identifican como pertenecientes a la serie A**.

2,81% de las bóvedas tienen las tangentes inclinadas en los arranques de dos arcos que se cortan, con una directriz comprendida entre $0,288 > \sigma > 0,143$, dando lugar a bóvedas bastante reducidas, clasificadas en la serie OA*.

1,36% de las bóvedas tienen las tangentes inclinadas en los arranques de arcos apuntados que se cortan, de directriz $\sigma > 0,5$, identificándose con la serie O_hA.

1,36% de las bóvedas tienen las tangentes verticales en los arranques de dos arcos circulares que se cortan, de directriz $\sigma > 0,5$, y clasificadas de la serie O_hC.

7.3.4. Los cimientos

7.3.4.1. Se estima que el cimiento está formado por:

- 50,75% Recinto de tablestacas relleno de hormigón.
- 42,25% Zapata de sillería sobre roca.
- 7% Superficial.

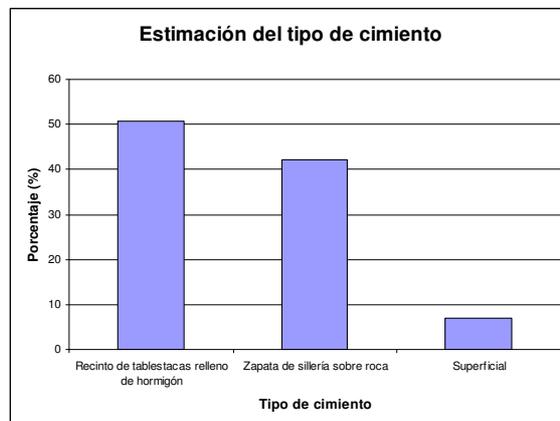


Gráfico C4 – Clasificación según el tipo de cimiento.

7.3.5. Los materiales de las bóvedas

7.3.5.1. En función de la observación de bóveda, estimamos que el tipo de material está formado por:

64,85%	sillería de piedra
13,51%	formada por diversos materiales
9,45%	fabrica de ladrillo
9,45 %	fabrica de hormigón en masa
2,74 %	fabrica de mampostería

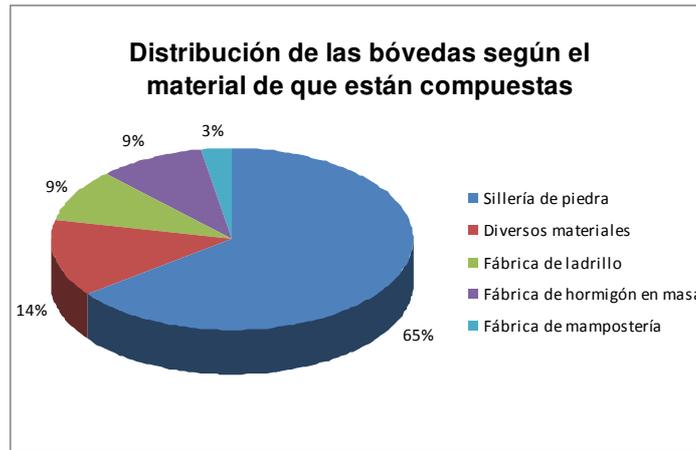


Gráfico C5 – Distribución de las bóvedas por el material de constitución.

7.3.6. Los coeficientes de seguridad

7.3.6.1. La distribución de los coeficientes de seguridad deducidos con ARCs para las bóvedas que hemos sometido a cargas puntuales con valores comprendidos entre 2 y 8 KN por eje (separados 2 metros), corresponden a:

Coeficiente de seguridad	45	60	90	180
Porcentaje sobre el total simulado	30%	34,8%	25,35%	9,85%

Tabla C4 – Distribución de los coeficientes de seguridad determinados con ARCs para trenes de cargas móviles entre 2 y 8 KN

Destacar que el 60,15% de los puente, para cargas móviles de valores comprendidos entre 2 y 8 KN, tienen unos coeficientes de seguridad comprendidos en un intervalo del 60 a 90.



Gráfico C6 – Distribución de los puentes según su coeficiente de seguridad.

7.3.7. Las amplitudes de las calzadas

7.3.7.1. La amplitud de la calzada del puente se podría ser un indicador de la época de construcción y de la importancia de la vía en la que se construyó (dejamos este interrogante abierto como una posible investigación posterior?. El valor medio del ancho de la calzada en los puentes estudiados se sitúa en 2,748m ± 1,45 m, con la distribución que se presenta en la tabla siguiente:

Intervalo ancho calzada (metros)	Cantidad	%	Entorno Rural	%	Núcleo Urbano	%
1,2 a 1,4	2	10	2	10		
2 a 2,5	6	30	3	15	3	15
2,6 a 2,9	2	10	1	5	1	5
3 a 3,3	7	35			7	35
3,4 a 3,9	2	10			2	10
4 a 4,2	1	5			1	5
Total de los puentes	20	100	6	30	14	70

Tabla C5 – Amplitud de la calzada clasificada por entorno rural y urbano.

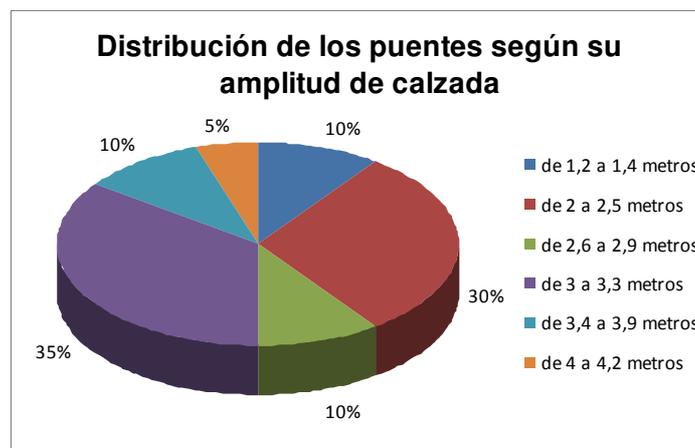


Gráfico C7 – Distribución de los puentes según la amplitud de la calzada

7.3.7.2. El 30% de los puentes se encuentran ligados a un núcleo rural, y el 70% en un entorno urbano.

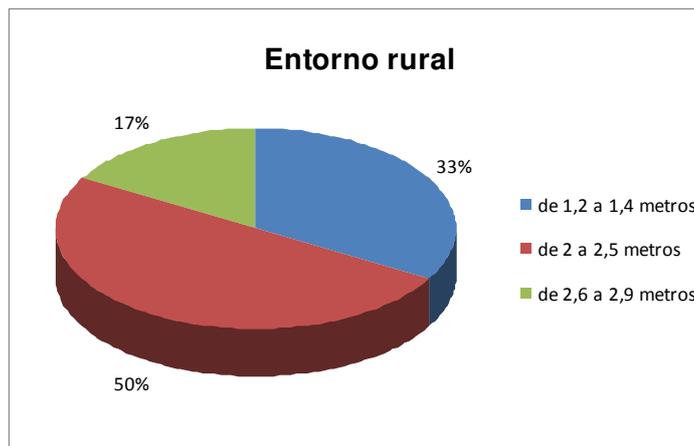


Gráfico C8 – Distribución de los puentes en entorno rural según la amplitud de la calzada.

7.3.7.3. Los situados en entorno rural tienen una amplitud de calzada inferior a la mayoría de los situados en entorno urbano. Posiblemente estaban adecuados a un menor tráfico y a un tránsito de ganadería. Y los del entorno urbano a un mayor tráfico y posiblemente a medios de transporte sobre ruedas.

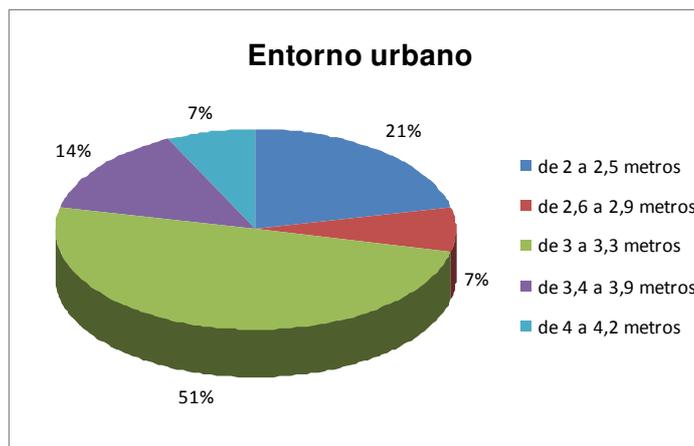


Gráfico C9 – Distribución de los puentes en entorno urbano según la amplitud de la calzada.

7.3.7.4. Los valores de mayor frecuencia son los de 3,3 y 3,2 metros que representan un 20% de los puentes (Remei, Sant Joan les Fonts, Besalú y La Bisbal). Los de 3 metros, representan el 15% (Manlleu, Bruguier y Castelló d'Empuries). Entre ambas cantidades se obtiene el 35%.

Con objeto de poder comparar con más facilidad, en el párrafo siguiente planteamos compararlos en referencia a una misma base.

7.3.7.5. Si tomamos el ancho de la calzada del puente construido a principios del siglo XIX (Sant Roc, con 3,5 metros de amplitud) como índice de base 100, y referimos el resto a este valor tenemos los siguientes resultados:

7.3.7.5.1 Cuenca del río Ter. Sobre la totalidad de los puentes estudiados en esta cuenca (10 puentes), el Índice de amplitud de la calzada referido al tomado como base 100:

Entorno	Rural	Urbano
%	20%	80%
Índice de amplitud	59,99	83,817

Tabla C6 – Índice de la amplitud de la calzada y de la pertenencia a ámbito rural o urbano.

De la tabla C5 se verifica que en los puentes de la cuenca del río Ter, que se encuentran en un medio rural, la amplitud de sus calzadas es casi un 40% menor que el tomado como base de referencia.

En cambio, los puentes que se encuentran en un ambiente urbano sólo son un 16%, aproximadamente, inferiores al tomado como referencia.

7.3.7.5.2. Cuenca del río Fluvià. Del total de los puentes estudiados en esta cuenca (7 puentes), presentan un índice de amplitud de calzada, referido al tomado como base 100:

Entorno	Rural	Urbano
%	43%	57%
Índice de amplitud	48,56	92,83

Tabla C7 – Índice de la amplitud de la calzada y de la pertenencia a ámbito rural o urbano.

Los puentes en el ámbito rural de la cuenca del Fluvià son aún más estrechos que los de la cuenca del Ter. En cambio, los del entorno urbano son más anchos que los de la misma cuenca.

7.3.7.5.3. Cuenca del río Muga. Del conjunto de los puentes estudiado en esta cuenca (3 puentes), el índice de amplitud de la calzada referido al tomado como base 100:

Entorno	Rural	Urbano
%	33,3%	66,7%
Índice de amplitud	67	94,28

Tabla C8 – Índice de la amplitud de la calzada y de la pertenencia a ámbito rural o urbano.

Los puentes de la Muga, que tanto en el entorno rural como en el urbano tienen su índice de la amplitud de la calzada mayor que en las otras dos cuencas, esto nos hace suponer que son de construcción bastante posterior a los anteriores o que fueron diseñados para el tránsito de medios de transporte más amplios y pesados (recordemos la existencia de la fábrica de armamento de Sant Llorenç de la Muga).

De las tres tablas anteriores, se puede deducir que los puentes en los entornos urbanos tienen mayor capacidad de paso que los de los entornos rurales (calzada más ancha).

En la tabla C9 se relacionan todos los puentes estudiados distinguiendo: los índices de aptitud de calzada para ambos entornos, los valores medios por cuencas y entornos:

<u>Cuenca</u>	<u>Entorno rural</u>	<u>Entorno Urbano</u>
<u>Cuenca del río Ter</u>	(Índice respecto al tomado como base = 100, Sant Roc)	
Cabreta	57,14	
Camprodon		70
Sant Joan de les Abadesses		120
Manlleu		85,71
Remei		94,28
Queralt		60,57
Bruguer		85,71
Malafraga	62,85	
La Bisbal		91,42
Gualta		62,85
Valor medio en la cuenca del Ter	a= 59,995	a= 83,81
<u>Cuenca del río Fluvià</u>		
Sant Roc		100
Sant Joan les Fonts		94,28
Oix	34,28	
Valentí	40	
Llerca	71,42	
Besalú		94,28
Can Prat		82,85
Valor medio en la cuenca del Fluvià	a= 48,56	a= 90,47
<u>Cuenca del río la Muga</u>		
Sant Antoni	74,28	
Sant Llorenç		102,85
Castelló d'Empuries		85,71
Valor medio en la cuenca de la Muga	a=74,28	a= 94,28

Tabla C9 – Índice de amplitud de la calzada de todos los puentes estudiados, referidos al de base 100 (Sant Roc).

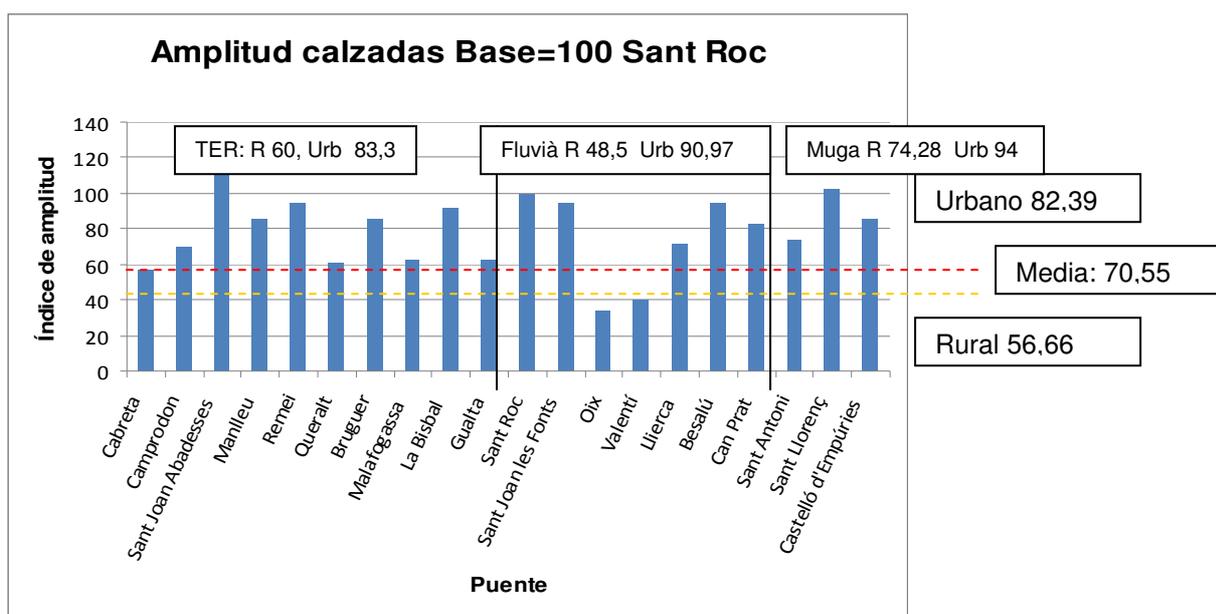


Grafico C10 – Índice de la amplitud de la calzada.

7.4 Resultados comparativos entre el simulador ARCs y el procedimiento analítico

El estudio de la estabilidad de los puentes de obra de fábrica basada en el trazado de la línea de empujes o presiones, mediante el programa ARCs, herramienta desarrollada por el Dr. P. Roca.

Es una herramienta muy versátil que partiendo de la geometría de la bóveda permite situar la línea de empujes o presiones en el tercio central del canto de las dovelas del arco mediante la variación del módulo de los empujes axiales y de las excentricidades que lo equilibran. Así mismo permite determinar el coeficiente de seguridad de la bóveda.

Con el desarrollo del procedimiento analítico clásico sobre una hoja de cálculo hemos podido determinar las cargas específicas de las pilas sobre los cimientos y, al mismo tiempo, realizar las comparaciones con los resultados de ARCs.

Podemos concluir manifestando que los órdenes de magnitud de los empujes axiales obtenidos por ambos métodos son semejantes en el 100% de los arcos circulares continuos donde las desviaciones comparativas entre ambos procedimientos están comprendidas en un intervalo del $\pm 5,6\%$. Comparación que en los arcos apuntados pueden ser mayores

Destacamos que los valores de los coeficientes de seguridad de las estructuras de los puentes estudiados, bajo el efecto de cargas móviles formadas por un tren de dos ejes paralelos, separados dos metros y cargados cada uno con 12 Tn (120KN), tiene un valor de TRES.

Si la carga móvil se adecua a la que permite el ancho del puente con un valor equivalente a la que podría circular en la época de construcción del puente (tren formado por dos ejes separados aproximadamente dos metros y con una carga por eje entre 2 y 8 KN) los coeficientes de seguridad, con la línea de empujes situada en el tercio central de la boquilla, se sitúan en un intervalo que oscila entre 45 y 180.

7.4.1.1. A partir de la recopilación de datos que se puede ver en el anexo 2, hemos determinado el valor medio de los empujes horizontales que se generan en cada una de las bóvedas, obtenidos, por un lado, con el simulador ARCs y, por otro, con el procedimiento analítico.

7.4.1.2. Hemos calculado el ratio: valor del empuje horizontal obtenido mediante el procedimiento analítico respecto al mismo valor obtenido por el programa ARCs. Ratio que operamos para poderlo presentar en %.

7.4.2 Sobre la carga específica de las pilas en los cimientos

Para cada puente:

- a) Hemos obtenido un valor medio de la carga específica de las pilas sobre los cimientos debida a la carga propia de la estructura.
- b) Obteniendo un valor medio entre todas las pilas de $0,35313 \text{ N/mm}^2$.

Intervalo para la carga específica N/mm^2	% de las pilas
Menos de 0,2	10
$> 0,2 < 0,4$	40
$> 0,4 < 0,8$	40
$> 0,8$	10

Tabla C10 – Valores de las cargas específicas de las pilas sobre cimientos

- c) Hemos agrupado los puentes por cuenca y cercanía, obteniendo para cada agrupación (familia) el valor medio de la carga específica de la pila sobre el cimiento.
- d) Se calcula el valor medio de la carga específica sobre los cimientos para cada puente. Para permitir la comparación de estos valores, los hemos referido a una base 100, tomando para esta el valor medio de $0,35313 \text{ N/mm}^2$.

7.4.2.1. Intervalos con valores referidos a la base 100 ($0,35313 \text{ N/mm}^2$):

- Menores de 50 se encuentran 2 puentes, que representan el 10% del total.
- Entre 50 a 100 se encuentran 9 puentes, que representan el 45% del total.
- Entre 100 a 170 se encuentran 9 puentes, que representan el 45% del total.

7.5 Conclusiones sobre la hidráulica del puente:

- En intervalo de distribución en el que se centran las pendientes motrices esta comprendido entre el 0,5 y 3,25%.
- No se ha encontrado una correlación significativa entre la altitud y la pendiente motriz.
- En intervalo de distribución de los porcentajes de obstrucción en función de los calados está comprendido entre 0 y 40%.
- Se encuentra una correlación muy significativa entre la superficie de paso que ofrece cada puente con la superficie de la subcuenca anterior al puente.
- El valor medio obtenido con la totalidad de los puentes es: $1,35 \text{ m}^2 / \text{Km}^2$ de la subcuenca anterior.

7.5.1. No se observa una correlación positiva entre la altitud respecto al nivel del mar a la que se encuentra el puente y la pendiente motriz, valorada a 700 metros antes y después de la localización del puente.

Puente	Altitud	Pendiente
Cabreta	778	2,135
Camprodon	939	1,929
Sant Joan de les Abadesses	773	0,643
Manlleu	441	0,428
Remei	480	0,692
Queralt	475	0,863
Bruguer	460	0,42
Malafogassa	442	1,071
La Bisbal	31	0,511
Gualta	4,1	0,107
Sant Roc	427	0,52
Sant Joan les Fonts	320	2,142
Oix	390	1,071
Valentí	340	3,2
Lliverca	229	0,9
Besalú	134	0,373
Can Prat	202	0,286
Sant Antoni	170	1,071
Sant Llorenç	160	0,928
Castelló d'Empúries	8,6	0,142

Tabla C11 – Altitudes y pendientes motrices en el tramo del río donde se localiza el puente.

7.5.2. La totalidad de los puentes estudiados tienen su pendiente motriz dentro de los intervalos siguientes:

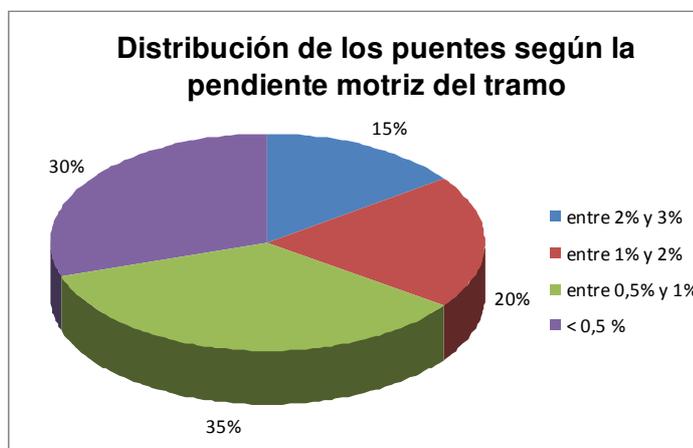


Gráfico C11 – Distribución de los puentes según la pendiente motriz del tramo del río donde se localizan.

7.5.3. El coeficiente mínimo de obstrucción que presentan los puentes, lo hemos clasificado dentro de los intervalos siguientes:

Puente	Coef. Obs. Mínimo
Llerca	0
Sant Antoni	5,8
Can Prat	7,21
La Bisbal	7,77
Oix	10,18
Manlleu	10,72
Queralt	12,92
Bruguer	15,9
Cabreta	18,39
Castelló d'Empúries	18,41
Valentí	19,87
Malafogassa	20,95
Sant Roc	21,29
Sant Llorenç	22,95
Remei	25,48
Camprodon	26,56
Gualta	33,83
Sant Joan de les Abadesses	36,68
Sant Joan les Fonts	37,85
Besalú	40,93

Cero %	1 puente (Llerca)
Entre 5 y 15%	6 puentes
Entre 15,1 y 25%	7 puentes
Entre 25,1 y 35%	3 puentes
Mayor de 35%	3 puentes

Tabla C12 – Coeficientes de obstrucción mínimo que presenta cada puente.

7.5.5 El área de paso del puente respecto a las características de la subcuenca

7.5.5.1. Se han relacionado varios parámetros de la geometría del puente con la pluviometría y los caudales punta de las avenidas para periodos de retorno de 100 y 500 años.

Todos los gráficos que se presentan en este apartado proceden de los datos que adjuntamos en el anexo 3 de estas conclusiones.

Entre todas, las más sobresalientes es la correlación entre la superficie de paso que ofrece el puente y la superficie de la subcuenca que tiene aguas arriba:

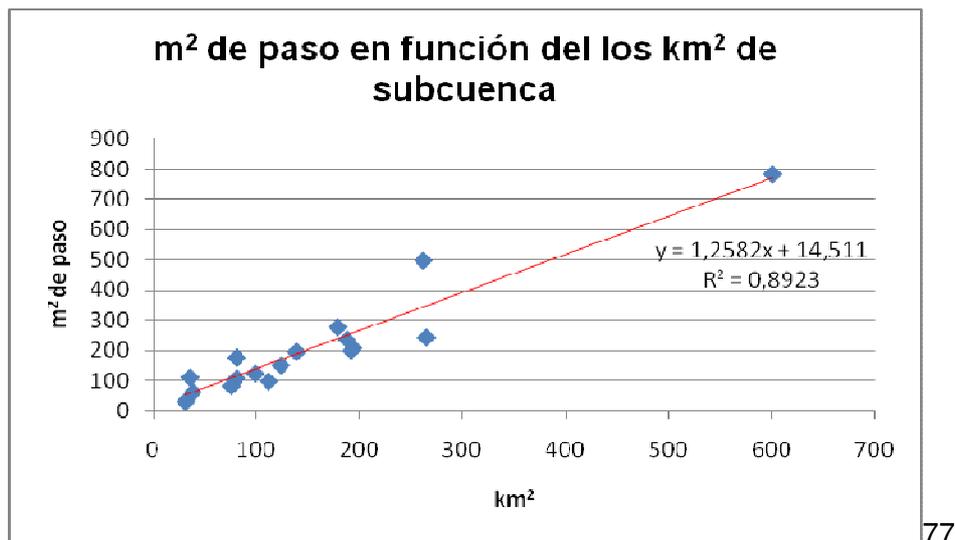


Gráfico C12– Valor de los m² de paso en función de los km² de subcuenca para cada puente.

El gráfico anterior, aunque sorprendente, representa la fidelidad de los datos de la tabla A.3.2. Para obtener la recta de regresión que aparece en el gráfico, no hemos tenido en cuenta los puentes de Castelló d’Empúries y de Manlleu, que han sido notablemente mutilados a lo largo de los últimos tiempos. Su inclusión deformaría la realidad de la representación del gráfico.

7.5.5.2 Destacamos que el valor medio, entre todos los puentes, es de 1,35 m² de paso por cada Km² de subcuenca. En el gráfico C 13 indicamos ese valor medio y, también, el valor medio sin tener en cuenta el puente de Valentí, que por presentar unos valores extremos no está contabilizado.

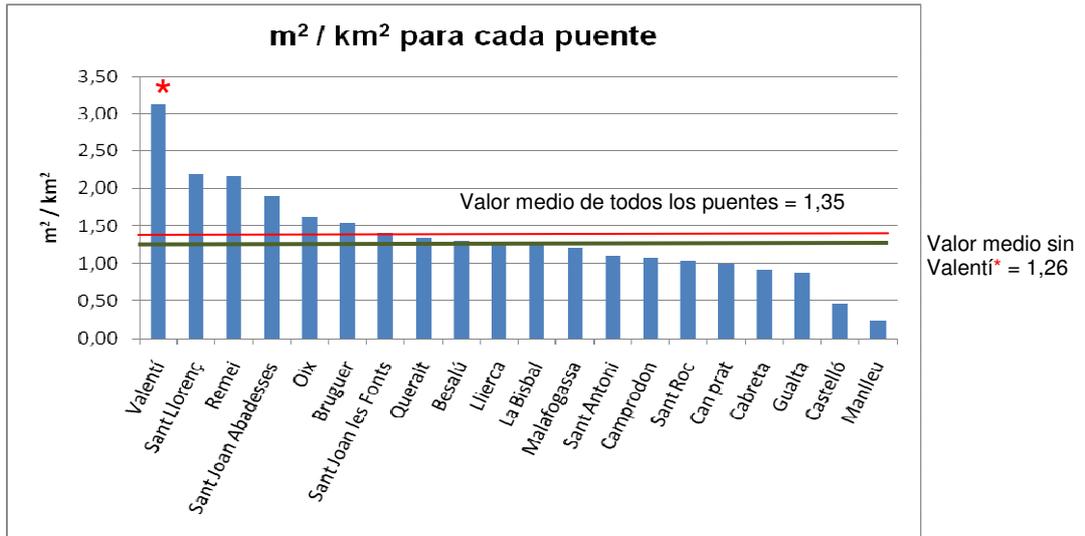


Gráfico C13– Puentes ordenados en función del valor del ratio m² / km² subcuena.

7.5.5.3. Se debe destacar que en los puentes mutilados hemos utilizado la relación que ofrecen actualmente.

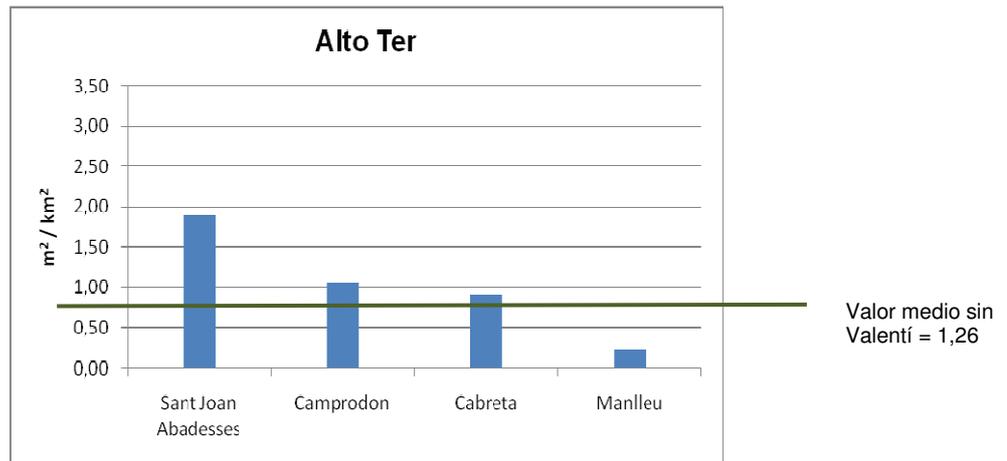


Gráfico C14– Ratio m² / km² para los puentes del Alto Ter.

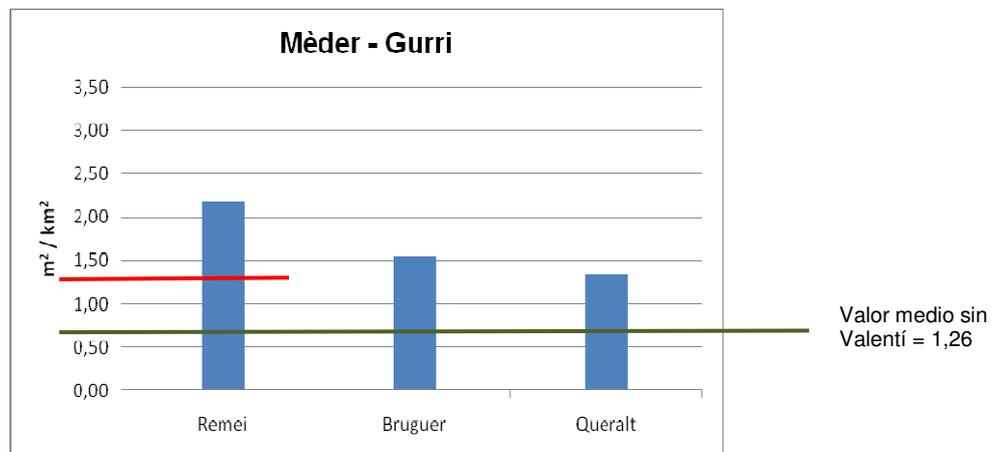


Gráfico C15– Ratio m² / km² para los puentes del Mèder y el Gurri.

7.5.5.4. El puente del Remei, construido en 1324 y modificado en 1753 con ocasión de modificar la forma de cada una de las bóvedas, según hemos planteado como hipótesis en el plano P5 – 7/7 las bóvedas pasaron de medio punto a las actuales, con lo cual hemos calculado que cada uno de los arcos aumentó, aproximadamente, 4 m² en esta modificación (con la línea roja indicamos la hipótesis de la posible relación m² / km² antes de esta modificación).

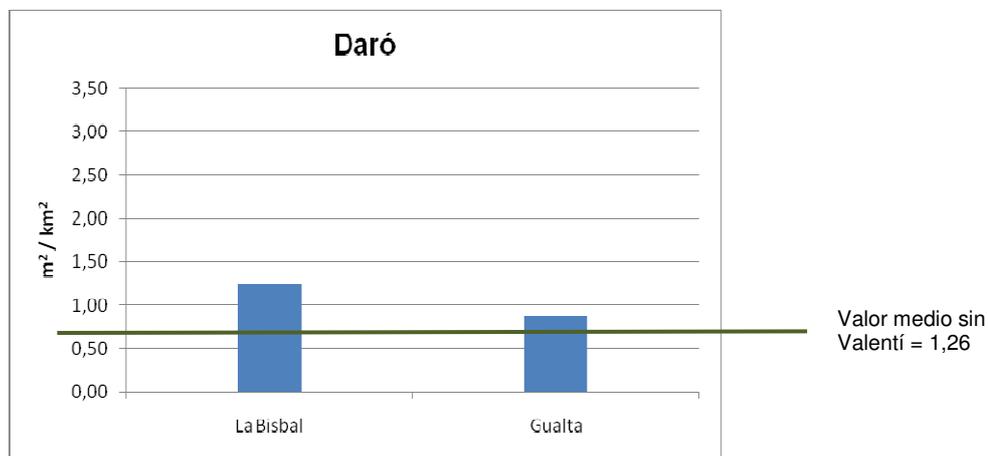


Gráfico C16– Ratio m² / km² para los puentes del Daró.

7.5.5.5. El Daró, a su paso por Gualta, es un río con motas naturales en cada uno de sus márgenes. En el curso de aguas arriba al puente, ante una avenida como la del año 2005 (ver imágenes 10.5 y 10.7), antes de que el puente quede sin aire, se inunda toda la llanura, alcanzando incluso el margen derecho del Ter. Es un puente con una superficie de paso insuficiente para soportar las avenidas estacionales que padece.

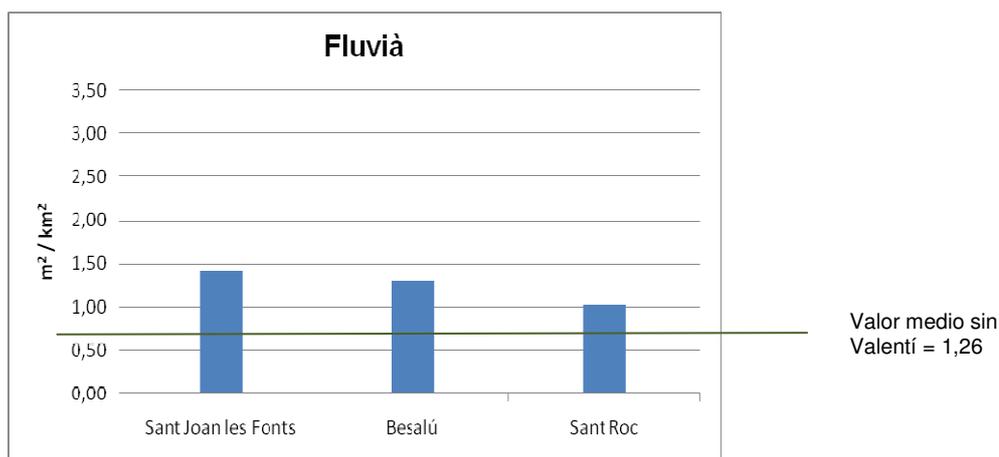


Gráfico C17– Ratio m² / km² para los puentes del Fluvià.

Se puede observar en el gráfico que los tres puentes tienen sensiblemente el mismo valor de ratio.

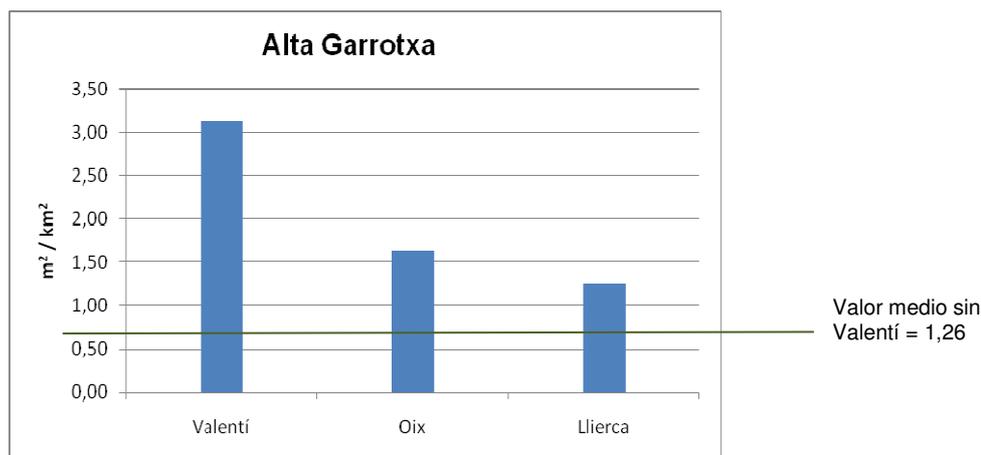


Gráfico C18– Ratio m^2 / km^2 para los puentes de la comarca de la Alta Garrotxa.

7.5.5.6. El puente de Valentí es atípico en cuanto a la superficie de paso que ofrece respecto al resto de los puentes. Por esta razón, en el primer gráfico de este apartado, los hemos eliminado para el cálculo de la media aplicada en cada uno de los gráficos anteriores.

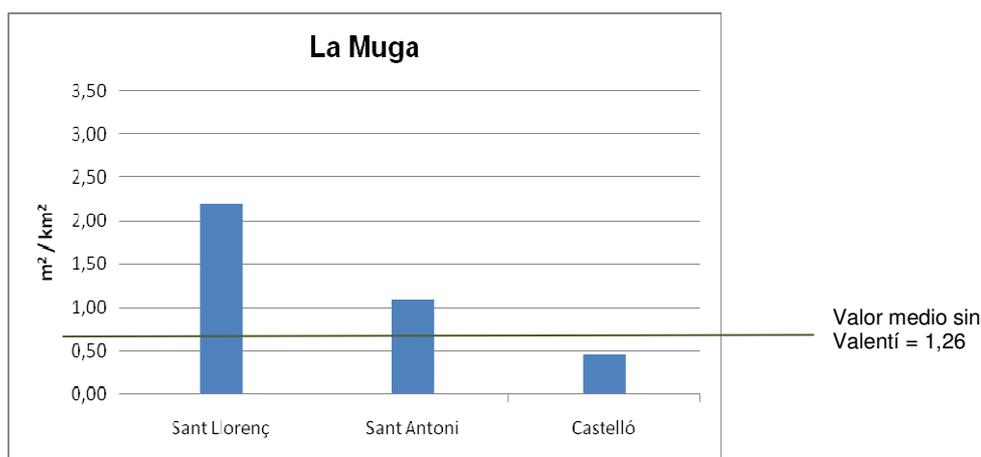


Gráfico C19 Ratio m^2 / km^2 para los puentes de La Muga.

7.5.5.7. En estos tres puentes se encuentra la mayor dispersión del ratio al que nos estamos refiriendo. El de Castelló d'Empúries se podría justificar por las numerosas transformaciones que ha sufrido a lo largo de las centurias en que está en servicio.

El de Sant Llorenç de la Muga, de tres bóvedas, debe salvar un vano importante, lo que quizás conlleve a las exageradas dimensiones de la superficie de paso. En el dossier de este puente citamos los efectos de la avenida de 1992, donde el agua llegó a sobrepasar la altura de los pretils del margen derecho. No se cita en este episodio, que una de las causas de la inundación fue debida a la obstrucción del puente moderno existente aguas debajo, debido a la acumulación de los desechos forestales que arrastraron las aguas.

7.5.5.8. El puente de Sant Antoni es una formidable estructura que cruza todos los estratos rocosos en la superficie del terreno. Es un puente que claramente presenta

dos bóvedas con unas dimensiones exageradamente pequeñas respecto a la superficie total de su paramento.

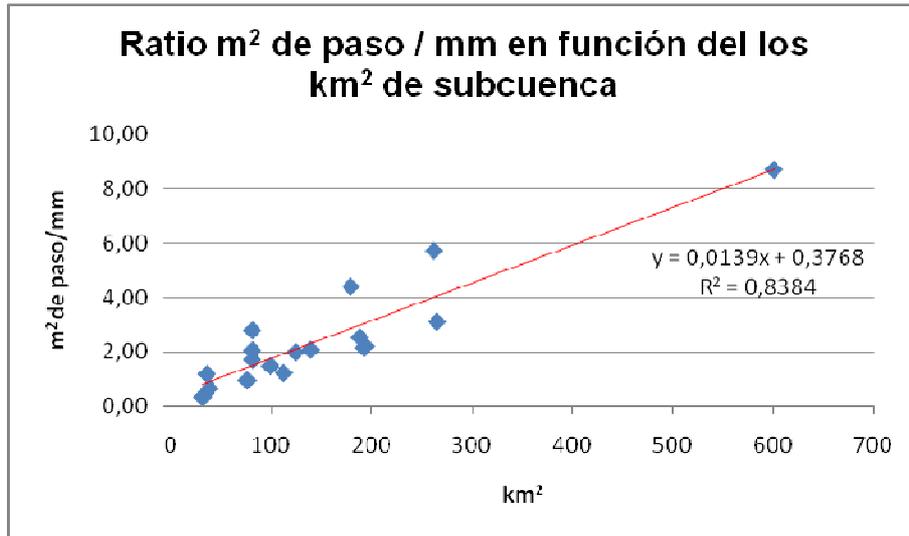


Gráfico C20 – Valor del ratio m² de paso / mm de lluvia diaria en función de los km² de subcuenca para cada puente.

Para el gráfico anterior, hacemos un comentario semejante al efectuado en el párrafo anterior. No deja de ser sorprendente que, para unos puentes construidos hace centurias, se encuentre una buena correlación entre el ratio m² de paso/mm lluvia-día con los km² de la subcuenca.

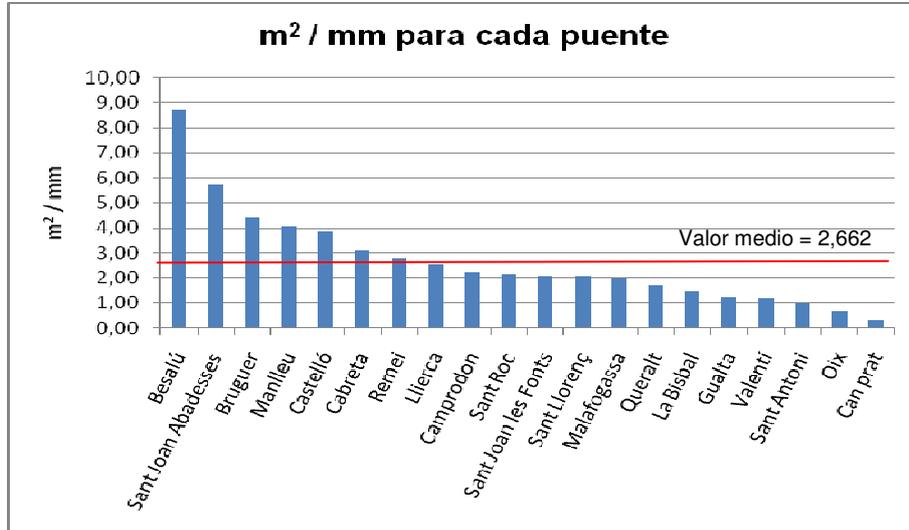


Gráfico C21 – Puentes ordenados en función del valor del ratio m² / mm de lluvia-día.

El valor medio del ratio (m² de paso / mm de lluvia media diaria en la subcuenca anterior) es de 2,662 m²/mm lluvia-día. En el gráfico anterior se puede observar la comparación entre este valor medio de todos los puentes con el valor de cada uno de ellos.

A continuación, en los dos gráficos siguientes, se compara el ratio m² de paso / caudal punta para período de retorno de 100 años, en el primero, y de 500 años en el

segundo. Recordamos que los valores medios e individuales proceden de la tabla del anexo 3 a las conclusiones.

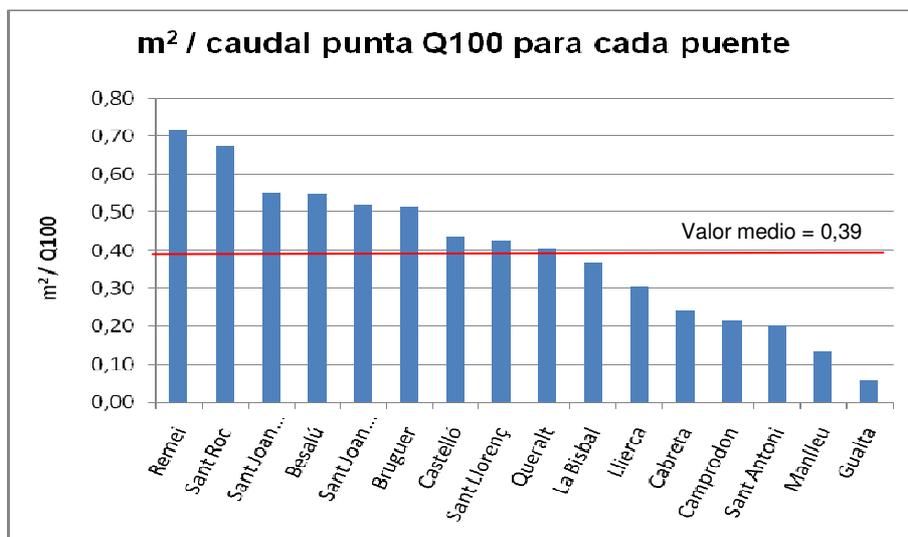


Gráfico C22 – Puentes ordenados en función del valor del ratio $m^2 / Q100$

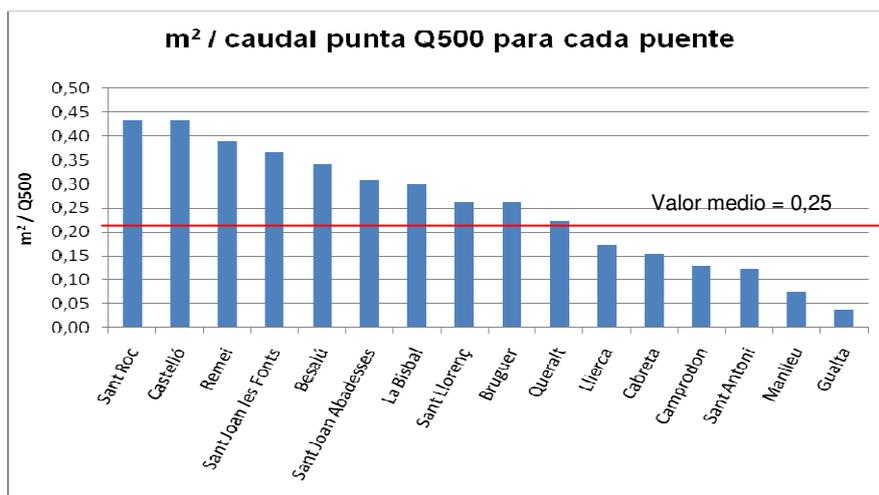


Gráfico C23– Puentes ordenados en función del valor del ratio $m^2 / Q500$

7.5.5.12. Respecto a los casos desarrollados en el dossier de cada puente, los datos referentes a las cotas de los calados, se hace de una forma aproximada: basándonos en el valor estimado de la sección en las proximidades del puente, dejando para una investigación posterior, el recurrir al montaje del modelo hidrológico de la cuenca empleando el programa HEC-HMS a partir del modelo geográfico Arc ViewGis.

7.5.5.13 La indicación de la posible zona de inundación en el 60 % de los puentes se debe a la recopilación de información en las entrevistas con los agentes fluviales del ACA, y a las alturas indicadas por las marcas facilitadas por los ayuntamientos de Manlleu, Vic, Sant Joan les Fonts, Castelló d'Empúries y Sant Llorenç de la Muga.

7.6. Conclusiones sobre el análisis comparativo de las geometrías:

- **Comparamos puentes construidos en Europa, España y los de la tesis.**
- **Con independencia del lugar de construcción: Y con tendencias diferentes, al aumentar la luz, aumenta el canto de las dovelas.**
- **El ancho de la pila: en España y en la tesis aumenta con la luz. En Europa disminuye.**
- **El valor del canto del estribo: en España y en la tesis aumenta con la luz. en Europa disminuye.**
- **Con tendencias diferentes el ratio canto/luz disminuye con la luz en España y en la tesis.**
- **El ratio ancho pila /luz en función de la luz aumenta en España y en la tesis, en Europa disminuye.**
- **Con tendencias diferentes, el valor del ratio canto estribo/luz disminuye con la luz.**
- **En España y en la tesis el ratio canto/luz aumenta con el año de construcción. En Europa ocurre lo contrario: disminuye con los años.**

Es necesario insistir en el número de puentes considerado para analizar estos parámetros, de Europa son muchos menos que los datos sobre España y para los estudiados en la tesis, sin lugar a dudas es un factor determinante. En los gráficos que se presentan a continuación se deben observar con la prudencia las tendencias de algunos de ellos ya que con una serie de datos mayor que la empleada las tendencias podrían ser diferentes. También en este caso el tema lo dejamos para una posterior investigación.

En este apartado, presentamos las conclusiones de haber comparado las geometrías de algunos de los puentes construidos en España y en Europa entre los años 1000 al 1900, a los que hemos añadido los estudiados en la tesis, aceptando como bueno el año de construcción que conocemos por algún documento y/o por lo que refleja la tradición popular.

Con objeto de facilitar la lectura del documento, omitimos la tabla con los valores numéricos de todos los gráficos representados a continuación, que se encuentran en el **anexo 4** a las conclusiones.

Para comparar las geometrías mediante los gráficos siguientes, distinguimos tres grupos:

7.6.1. Relación entre parámetros constructivos.

- Flecha = f (luz) $f = f(L)$ (valor de la flecha en función de la luz)
- Canto en la clave = f (luz) $c = f(L)$ (canto de la dovela en la clave en función de la luz)
- Ancho Pila= f (luz) $B_p = f(L)$ (ancho de la pila en función de la luz)
- Canto estribo = f (luz) $c_{hE} = f(L)$ (Canto del estribo en función de la luz)

7.6.2. Relación entre ratios y la luz del vano.

- Flecha /luz = f (luz) $f/L = f(L)$ (ratio flecha/luz en función de la luz)
- Canto/luz = f (luz) $c/L = f(L)$ (ratio canto dovela clave/luz en función de la luz)
- Ancho pila/luz = f (luz) $B_p/L = f(L)$ (ratio ancho pila/luz en función de la luz)

7.6.3. Relación entre ratios y años de construcción.

- Canto/luz = f (año construcción) $c/L = f(\text{año})$ (ratio canto/luz en función del año de construcción)
- Ancho pila/luz = f (año construcción) $B_p/L = f(\text{año})$ (ratio ancho pila/luz en función de la fecha de construcción)
- Canto estribo/luz = f (luz) $c_{hE}/L = f(L)$ (ratio canto estribo/luz en función de la luz)

7.6.1. Relación entre parámetros constructivos

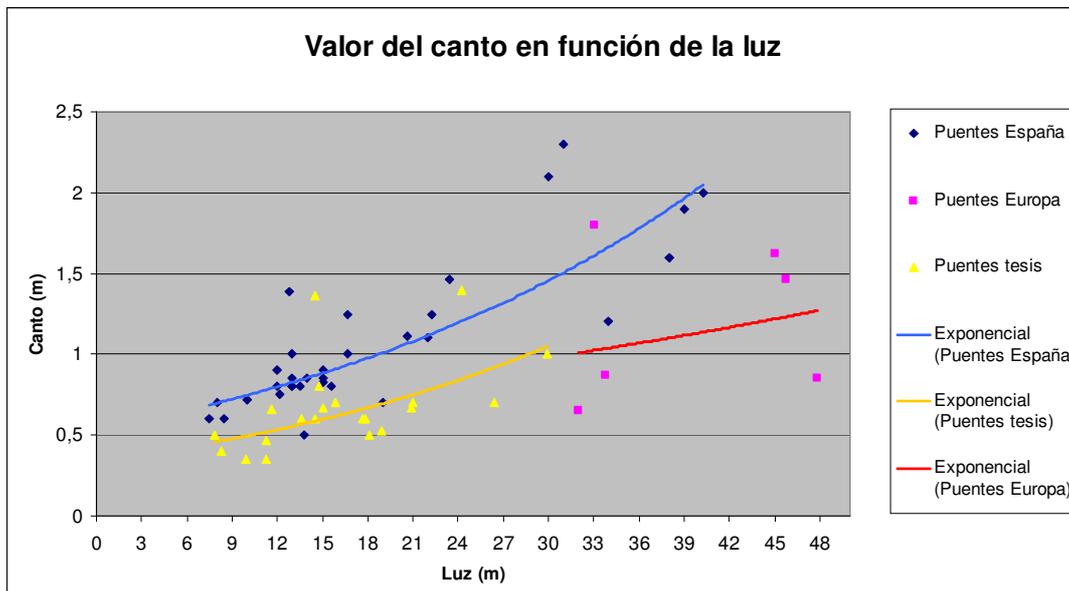


Gráfico C24 – Evolución del valor del canto de las dovelas del arco (c) con la luz (L) para puentes construidos en España, Europa y los estudiados en la tesis.

7.6.1.1. En el Gráfico C24, se puede observar que, conforme aumenta la luz, aumenta también el canto de las dovelas. La tendencia de este aumento es mayor en los puentes construidos en España con respecto a los construidos en Europa. Respecto a los puentes estudiados en la tesis, los valores del canto son inferiores a los construidos en España, hay una mayor dispersión y la tendencia del incremento se acerca más a los puentes europeos que a los españoles.

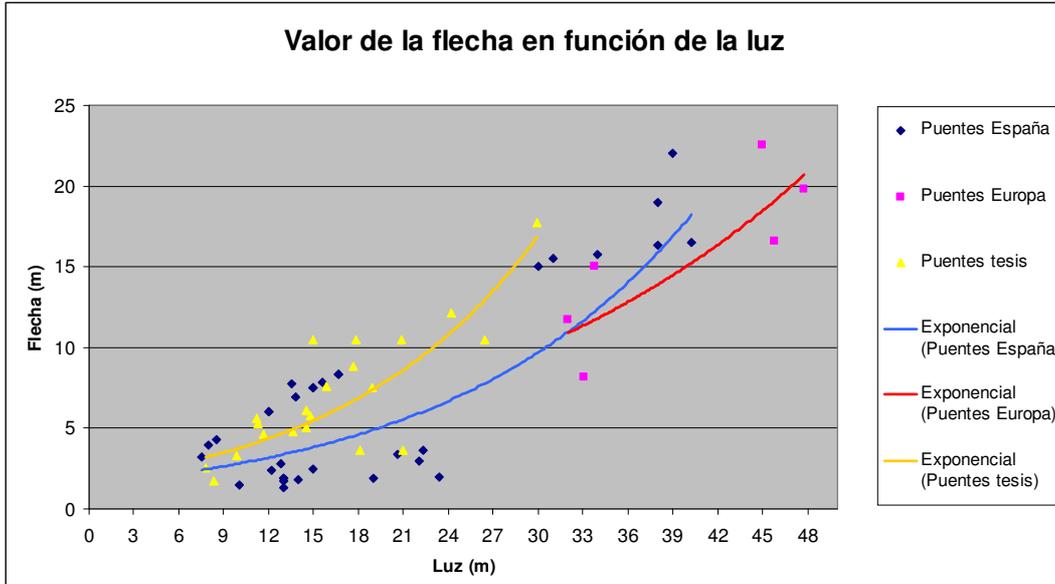


Gráfico C25 – Evolución del valor de la flecha (f) con la luz (L) para puentes construidos en España, Europa y los estudiados en la tesis.

7.6.1.2. Observando el Gráfico C25 vemos que, en las tres familias, el valor de la flecha aumenta progresivamente con el incremento de la luz. No obstante, es importante destacar que, la familia donde la relación es mayor, coincide con los estudiados, indicando que son puentes con directrices del arco mayores que en las otras dos familias.

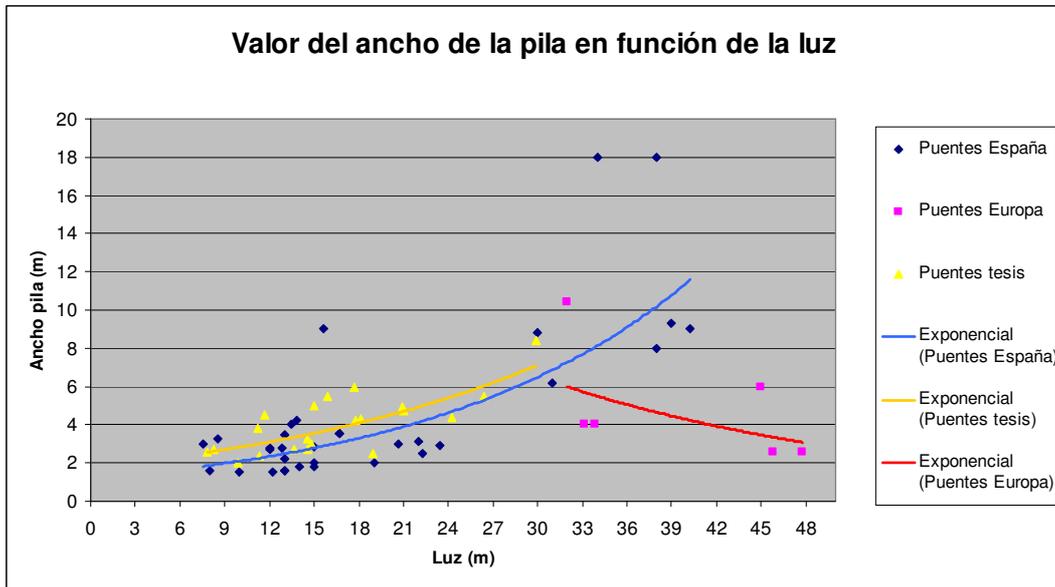


Gráfico C26 – Evolución del valor del ancho de la pila (B_p) con la luz (L) para puentes construidos en España, Europa y los estudiados en la tesis.

7.6.1.3. En el Gráfico C26, se puede constatar que el ancho de la pila aumenta en función de la luz, tanto en los españoles como en los estudiados en la tesis. La tendencia de la familia española es algo inferior a la familia de los estudiados, indicando que las pilas de los españoles son más esbeltas. Sorprende observar una tendencia en sentido contrario en la familia europea: a mayor luz pilas más esbeltas.

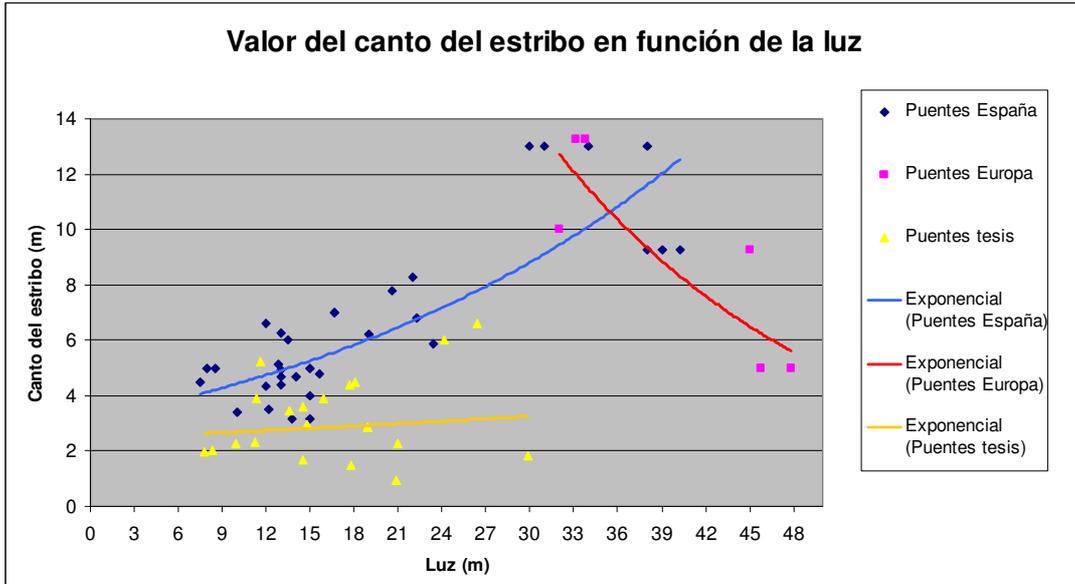


Gráfico C27 – Evolución del valor del canto del estribo (c_{hE}) con la luz (L) para puentes construidos en España, Europa y los estudiados en la tesis.

7.6.1.4. Como se puede observar en el Gráfico C27, en los puentes estudiados en la tesis, el canto del estribo aumenta con la luz, pero en muchísima menor proporción que en los puentes construidos en España. En cambio, los construidos en Europa llevan una relación totalmente inversa: conforme aumenta la luz, disminuye sensiblemente el canto del estribo, en el bien entendido que los valores mínimos del estribo son del mismo orden de magnitud que la mayoría empleada en los puentes españoles y de la tesis.

7.6.2. Relación entre ratios y la luz del vano

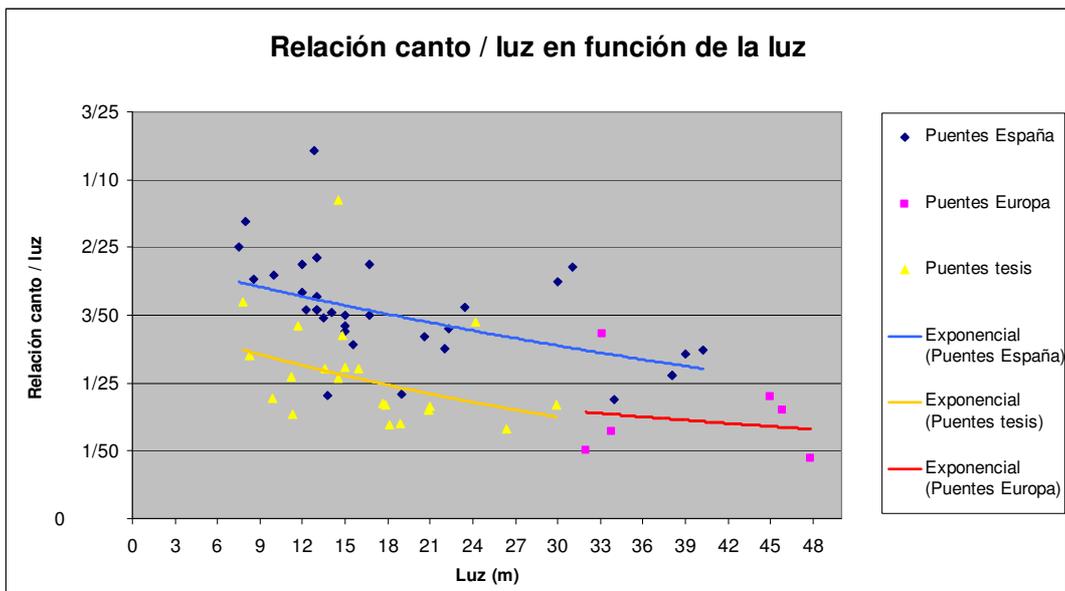


Gráfico C28 – Evolución del valor del ratio: canto de dovela / luz (c/L) (esbeltez del arco o vuelta) con la luz del vano.

7.6.2.1. En las tres familias, el valor del ratio disminuye con el aumento de la luz del vano. Se puede observar que los ratios para un mismo valor de luz, en los puentes

construidos en España, son mayores que los pertenecientes a las familias europeas y la de los estudiados. En estas dos últimas el valor del ratio es del mismo orden.

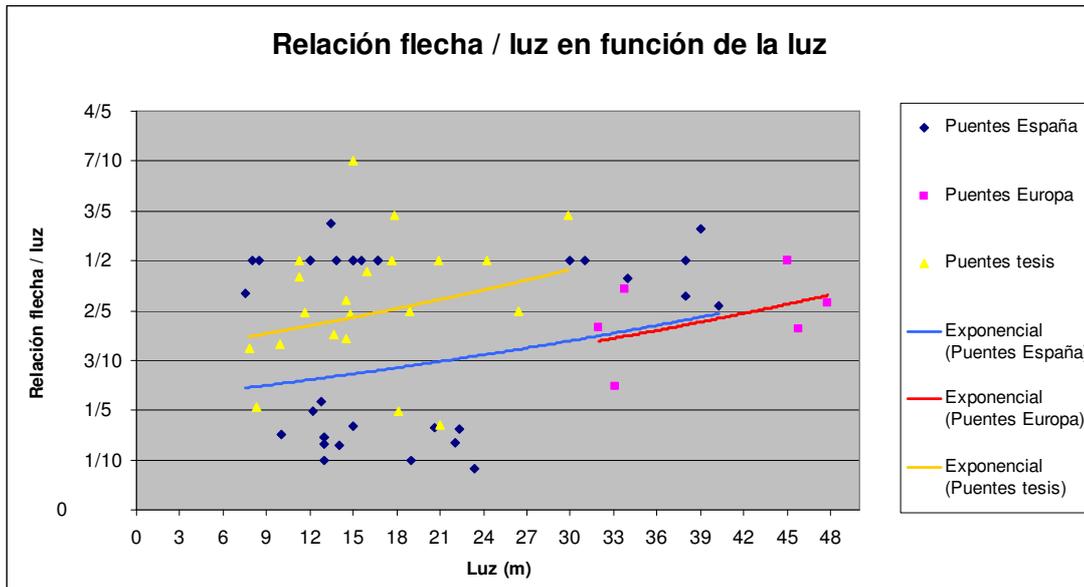


Gráfico C29 – Evolución del valor de la directriz del arco ($\sigma = f/L$) con la luz (L) del vano.

7.6.2.2. En las tres familias la directriz aumenta con la luz del vano. El valor $\frac{1}{2}$ para el ratio es el límite entre las directrices rebajadas y apuntadas. En las tres familias predominan las directrices rebajadas. Los valores de las europeas se aproximan bastante a los de la familia de la tesis. Las directrices rebajadas de la familia española lo son en valores menores que en las otras dos. Respecto a las directrices apuntadas ($\sigma = f/L > \frac{1}{2}$), sólo se dan en 5 arcos: tres de la familia de la tesis y dos en la española.

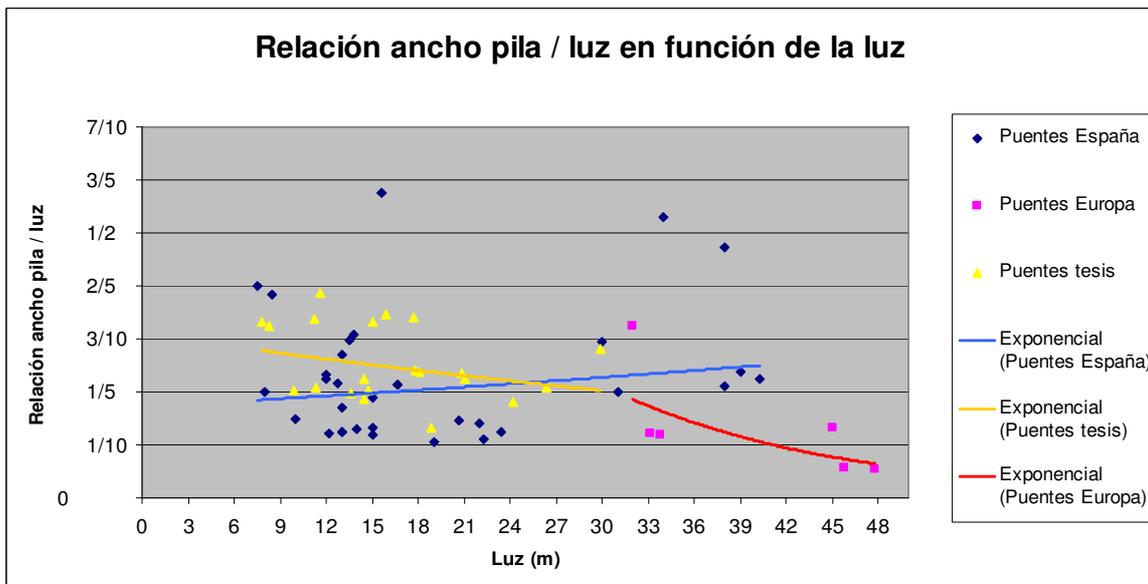


Gráfico C30 – Evolución del valor del ratio ancho pila/luz (B_p / L) con la luz del vano.

7.6.2.3. La evolución de los ratios de las familias europea y tesis, son ligeramente semejantes: disminuyen con la luz. En la familia española el de mantiene con una ligera tendencia a incrementa.

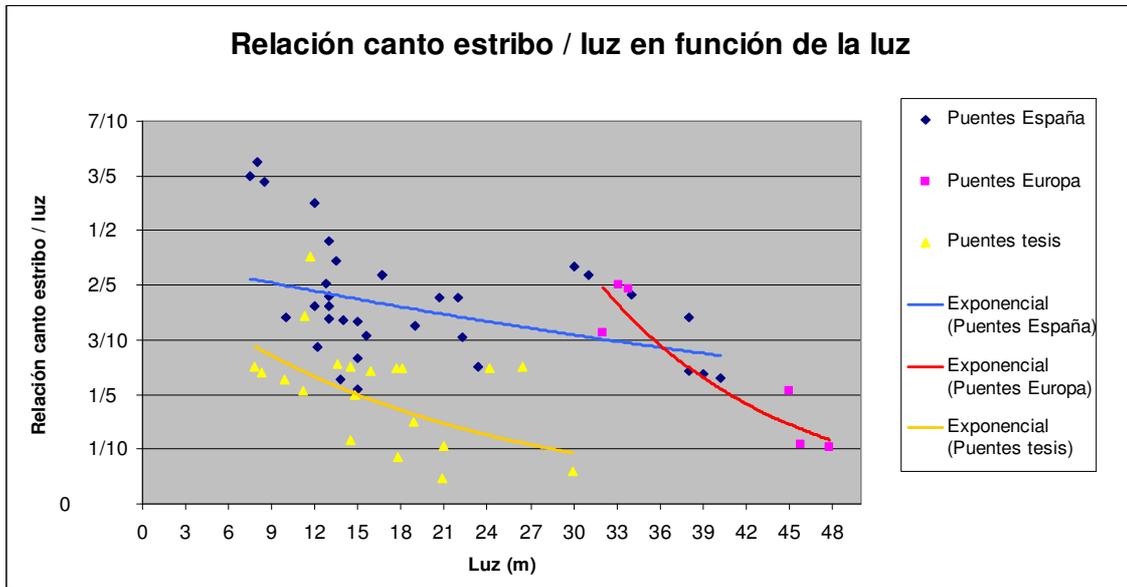


Gráfico C31 – Evolución del valor de la relación: canto del estribo/ luz (c_{hE}/L) con la luz del vano.

7.6.2.4. En las tres familias es una tendencia que disminuye. En el caso de la familia de la tesis los estribos se han estimado conforme a la ley de Blondier. En las otras dos familias deben ser datos reales de la construcción de los puentes. Quizás las diferencias provienen del origen de la información. Sí que se debe resaltar el cierto paralelismo entre las tendencias de las familias europea y de la tesis.

7.6.3. Relación entre ratios y años de construcción

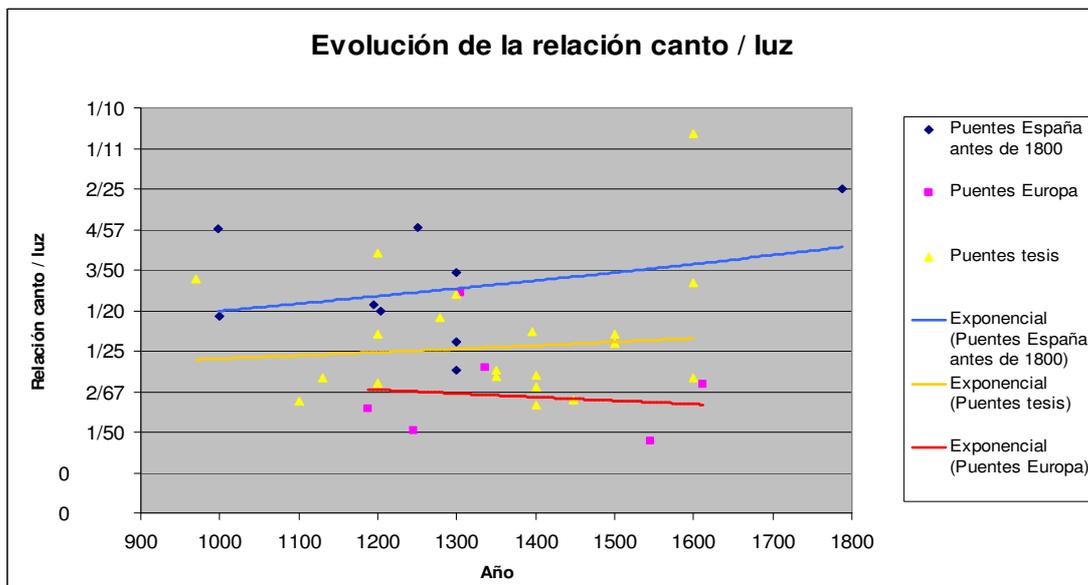


Gráfico C32– Evolución temporal del valor del ratio: canto de dovela/luz (esbeltez de la vuelta (c/L)).

7.6.3.1. En los puentes construidos en España durante el periodo considerado, la relación canto de las dovelas/luz, aumentó. Lo mismo ocurre, en menor porcentaje, en los puentes estudiados en la tesis. Sorprende ver la evolución del mismo ratio para los

puentes construidos en Europa: la tendencia es ligeramente inversa, conforme transcurren los años esta relación disminuye.

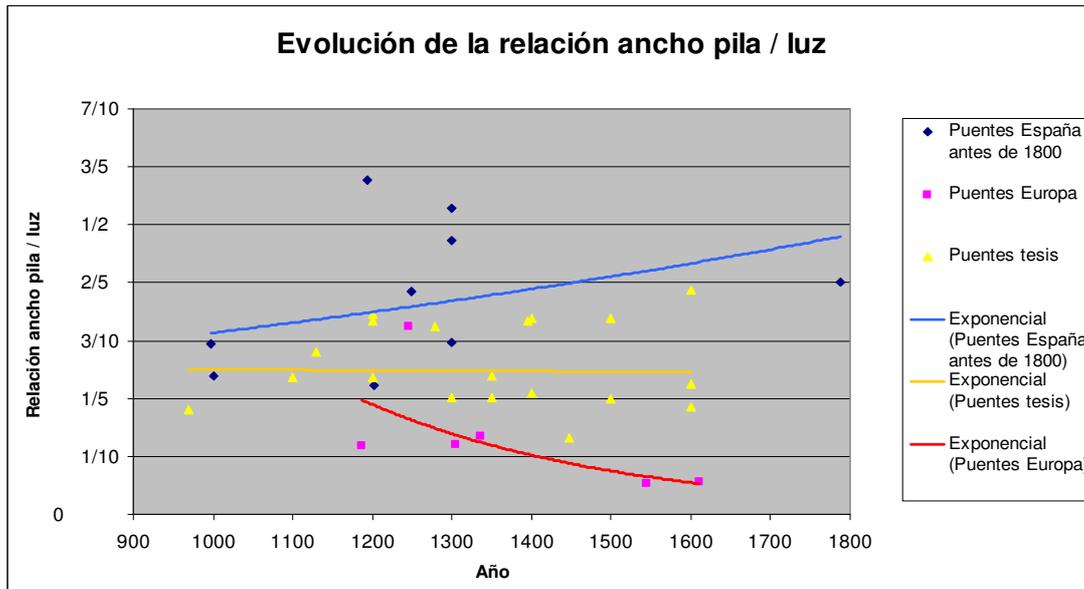


Gráfico C 33 – Evolución temporal del valor del ratio: ancho pila / luz (B_p / L).

7.6.3.2. En las familias europeas y de la tesis, el ratio disminuye. O sea las pilas cada vez se construyen con menor grosor. La tendencia de los puentes de la familia española, lo hacen en sentido contrario.

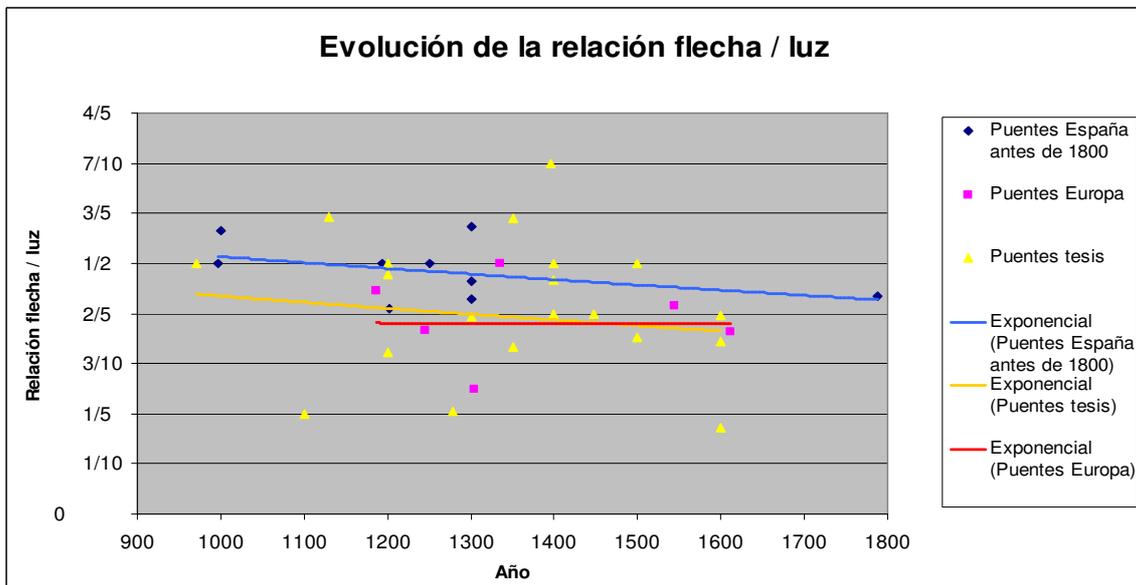


Gráfico C 34 – Evolución temporal de la directriz del arco ($\sigma = f/L$).

7.6.3.3 Evolución de la directriz de los arcos: en España se tiende a pasar de $1/2$ a valores cercanos a los $2/5$, es decir arcos rebajados. En Europa se mantiene la tendencia del estilo, prácticamente casi siempre son arcos rebajados inferiores a $2/5$. En cambio en la familia de la tesis, con una ligera tendencia a disminuir, cubren una amplia dispersión de directrices: de medio punto, apuntadas y rebajadas.

De las comparaciones de estos últimos apartados, queda la impresión de una cierta tendencia de la influencia ejercida por las construcciones de Europa sobre los puentes que componen la familia estudiada en la tesis.

7.6.3.4. Hemos relacionado el ancho de la calzada con el posible año de construcción y se encuentre, algunos de ellos una cierta correlación, que debería distinguirse también para el entorno donde se localiza.

Nos referimos exclusivamente a aquellos donde las fechas de construcción han sido validadas en investigaciones anteriores, y que sólo los indicamos como un enunciado de una posible investigación posterior:

Puente	Año construcción	Ancho útil de la calzada metros
Cabreta	870	2
Queralt	1200	2,12
Remei	1300	3,3
Bruger	1348	3

7.7. Conclusiones sobre los hechos históricos

Predomina la información proveniente de investigadores locales, que se publican en revistas patrocinadas por los ayuntamientos en ocasión de Fiestas Mayores.

Las fuentes documentales, en su mayoría proceden de los libros de actas de los ayuntamientos, de los archivos parroquiales y de los registros de actas notariales.

El Centro Excursionista de Catalunya, con la mayor parte de sus publicaciones periódica digitalizadas conjuntamente con la Universidad Autónoma de Barcelona se podrá convertir en una de las mejores fuentes para investigaciones futuras.

Las referencias históricas sobre los puentes de la Comarca de Osona proceden en su mayoría de la base documental del archivo diocesano de Vic, investigado durante años por el historiador Pladevall, A.

Sobre los puentes de Camprodon y Manlleu las bases documentales provienen de los archivos parroquiales y de las investigaciones realizadas por Pladelasala.

Las referencias históricas sobre los puentes de la Alta Garrotxa, en su mayoría son fruto de los trabajos de campo y la promoción de la historia local realizada por de la Asociación de amigos de Sant Joan les Font y al mecenazgo del ayuntamiento de la misma localidad.

Las últimas publicaciones sobre puentes son obras muy cuidadas, con excelentes fotografías y un aporte de referencias históricas en su mayoría provenientes de las fuentes y autores anteriormente citados. Son publicaciones de carácter divulgativo que pueden ser útiles para el inicio de censos de los cuales se pueden derivar las investigaciones iniciales.

Uno de los fondos documentales digitalizados de carácter nacional e internacional que es consultable desde Internet es el de la Asociación española de Historia de la Construcción.

Aun sin haberlo podido consultar de forma directa, toda la obra de reconstrucción realizada bajo el programa de “reconstrucción de ciudades y pueblos devastados” y dirigida por Pons Sorrolla, F, se encuentra en el Archivo Nacional de la Administración de Alcalá de Henares.

En los archivos del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, se pueden encontrar los documentos relativos a tramitaciones de declaración de Monumentos históricos.

El archivo digitalizado de la revista “obras publicas” del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, consultable desde Internet es una de las fuentes documentales más serias para abordar trabajos de historia de las Obras publicas.

Sin lugar a dudas es la parte más laboriosa del trabajo

7.7.1. Sobre los puentes de la comarca de Osona todo lo escrito parte de las investigaciones realizadas por A. Pladevall (1969). Las publicaciones de divulgación posteriores, en la mayor parte de los casos, se refieren a este autor.

7.7.2. Sobre los puentes de la Garrotxa el más citado es el de Besalú por Danés (1907) y Solà Morales (1971).

7.7.3. Sobre los puentes reconstruidos: Sant Joan de les Abadesses, Besalú, Castelló d'Empuries se encuentran las **memorias de la reconstrucciones** de 1974, 1967 y 2008, respectivamente.

7.7.4. Los puentes intervenidos para trabajos de consolidación: Cabreta, Camprodon, Manlleu, Bruguer, Oix, Valenti, Gualta, Sant Joan les Fonts, (40%) contiene **documentación relativa a la memoria de la obra, en la que se encuentran referencias históricas.**

7.7.5. Las revistas locales recogen **información histórica, posiblemente, sin contrastar** referentes a los puentes de: Camprodon, Sant Joan de les Abadesses, Manlleu, Remei, Queralt, Bruguer, La Bisbal, Malafogassa, Llierca (45%)

7.7.6. Sobre otros puentes **no hemos sabido encontrar referencias históricas:** Sant Antoni, Sant Llorenç, Can Prat. (15%).

Contraste de las hipótesis

8. Resultado del contraste de Hipótesis

Reproducimos la numeración del apartado donde se plantean las hipótesis.

4.1 Formulación de las hipótesis referentes a las fuentes de información de carácter general e histórico

1. Los planos de los puentes se encontrarán en algún organismo estatal o autonómico, que pueda estar relacionado con cultura, vías de comunicación y/o dominio hidráulico.

Hipótesis parcialmente aceptada. Sólo hemos podido encontrar el 20% de los planos de la totalidad de los puentes estudiados. Es posible que el resto existan, pero no hemos podido encontrarlos en la investigación realizada.

2. La evolución de las inspecciones realizadas sobre la situación del puente la podremos encontrar en los mismos organismos a los que nos referimos en el apartado anterior.

Hipótesis parcialmente aceptada. Sólo hemos podido encontrar información no evolutiva, sino puntual, sobre alguna patología. Concretamente, en el Departament de Monuments de la Diputació de Girona.

3. En las Secciones de Urbanismo y en los Archivos de los Ayuntamientos en cuyo término municipal se localice alguno de estos puentes, podremos encontrar información técnica e histórica sobre el puente.

Hipótesis parcialmente aceptada. Sólo hemos podido encontrar información en el 35% de las Secciones de Urbanismo y Ayuntamientos.

4. En los archivos históricos comarcales y en los dependientes del Departament de Cultura de la Generalitat podríamos encontrar documentos históricos asociados a la vida y uso del puente.

Hipótesis parcialmente aceptada. Sólo hemos podido encontrar información en el 42,8% de estos centros.

5. En las Asociaciones de Amigos de: Alta Garrotxa, la Selva, Condado de Besalú, Sant Joan les Fonts, etc. podremos encontrar referencias históricas relacionadas con los puentes.

Hipótesis aceptada. En aquellas asociaciones en que hemos tenido acceso, no solo hemos encontrado información, sino que hemos recibido todo tipo de ayuda encaminada a mejorar el contenido de la tesis. Es de justicia mencionar, que las asociaciones que más nos han ayudado han sido: Amics de Sant Joan les Fonts y 2 miembros muy destacados de Amics del Condat de Besalú.

6. En el archivo general del Ministerio de Fomento, posiblemente encontraremos documentación relativa al puente.

Hipótesis rechaza. Con el procedimiento empleado. No ha sido posible encontrar ninguna información, ni técnica ni histórica.

7. En el archivo general de la Administración de Alcalá de Henares, quizás, encontraríamos documentación sobre el puente.

Hipótesis aceptada. En el archivo general de la Administración se encuentra el fondo documental de los trabajos realizados por Francisco Pons Sorolla como director del Departamento de Reconstrucción de Ciudades y Pueblos Devastados.

4.2. Hipótesis referentes a la estructura y la hidráulica del puente

1. En algunos casos, es posible, que las estructuras actuales de los denominados popularmente puentes romanos, románicos, góticos o medievales, se deriven de otras más antiguas, posiblemente algunas de origen romano.

Hipótesis aceptada con condiciones. Sólo hemos encontrado posibles rasgos de basamentos romanos en el puente de Sant Roc (ver dossier decimoprimer).

2. Estas construcciones, que se vienen manteniendo en pie durante centurias, deben tener un coeficiente de seguridad superior al que se utilizaría hoy en día.

Hipótesis aceptada. Mediante el programa ARCs, hemos podido determinar que, con el valor propio del peso de la estructura incrementado con una carga puntual móvil capaz de desplazarse por la calzada (de 4 a 8 KN), el coeficiente de seguridad, logrado oscila entre 45 y 180.

3. Las dimensiones de dovelas y pilas coincidirán con los valores propuestos por alguna de las reglas empíricas utilizadas por los constructores de puentes.

Hipótesis parcialmente aceptada. No hemos encontrado prácticamente ninguna dovela con el canto coincidente con alguna de las propuestas por las reglas empíricas. Si que es cierto que hemos obtenido valores cercanos.

4. Las dimensiones de dovelas y pilas podrían estar en función de la “dureza” de los materiales empleados.

Hipótesis parcialmente aceptada y matizada. Hemos realizado mediciones de dureza de piedra con un esclerómetro, sin encontrar claramente una correlación entre la medida del esclerómetro y las dimensiones de dovelas y pilas (no hemos creído conveniente añadir a este trabajo la multitud de resultados obtenidos con el uso del esclerómetro).

5. Las relaciones geométricas de los elementos estructurales que forman el puente, deben coincidir con las empleadas en la construcción de puentes históricos en el resto de España y de Europa.

Hipótesis rechazada. No hemos encontrado una relación clara y directa entre las series europeas y las españolas con la serie de puentes estudiados. Si que pueden seguir tendencias parecidas, pero nunca coincidentes.

6. La amplitud de la calzada puede ser un parámetro que permita valorar la época de construcción de los puentes.

Hipótesis aceptada. La amplitud de la calzada es mayor en aquellos puentes que parecen haber sido construidos en una época más cercana. Por ejemplo, Sant Llorenç y Sant Antoni, en La Muga, comparados con los puentes de Cabreta, Camprodon, Oix, Valentí y Llierca.

7. Por la influencia del país cercano, posiblemente los Maestros constructores de estas estructuras, procedían de estados europeos, con más probabilidades que de otras zonas de la Península.

Hipótesis pendiente de contrastar. En los últimos años se ha encontrado un documento, en el Arxiu Comarcal de la Garrotxa, del contrato firmado por el maestro de obras Pere Baró, de la Lombardía, para la construcción del puente de Besalú.

8. Posiblemente, algunos de los puentes se encargaron a Maestros de obras localmente conocidos.

Hipótesis aceptada. Sólo hemos podido encontrar referencias de los puentes construidos en Osona, de los cuales se conoce el nombre y la profesión de los Maestros de obras de la ciudad de Vic, que participaron o se responsabilizaron de la construcción de los puentes de Manlleu, el de Sau y Queròs.

9. Es improbable que estas construcciones se realizaran en el período comprendido entre el siglo XIV y XV. En 1347 comienzan las epidemias de la peste negra, en la que más de la mitad de los habitantes de Cataluña fallecen. Posteriormente, durante el siglo XVI, los efectos de las ondas sísmicas fueron sensiblemente notables en Girona.

Hipótesis pendiente de contrastar. Durante el período comprendido entre los siglos XIV y XV, parece de sentido común que estas obras estuvieran paralizadas, ya que no habían medios, ni económicos ni humanos, para realizarlos; ni tampoco un interés implícito en su construcción. No obstante, en el libro de obras de la Iglesia de Sant Fèlix, el Dr. Chamorro, en su tesis doctoral, se sabe que durante ese período se realizaban obras de esta iglesia.

10. Podremos encontrar datos fiables sobre la hidráulica del puente en las Subdelegaciones del Departament de Medi Ambient de Girona o la ACA¹⁷.

Hipótesis parcialmente aceptada. Como consecuencia de los estudios de las zonas inundables de los ríos que estudiamos, en el caso concreto del Ter, la ACA realizó un estudio sobre todos los elementos de naturaleza hidráulica que afectaban al río, entre ellos, los puentes. Hemos tenido acceso a una buena parte de esta información, pero no nos ha servido para conocer la geometría de los puentes (utilizan dibujos muy simplificados), ni los resultados de la aplicación del programa HEC – RAS, que solo se ha utilizado parcialmente con los puentes que hemos estudiado.

¹⁷ Agencia Catalana del Agua, que engloba la antigua Confederación Hidrológica del Pirineo Oriental

11. No es probable que las dimensiones de los puentes respecto a la capacidad de desagüe, sigan alguna ley.

Hipótesis rechazada. Excepto en dos puentes (ambos mutilados y transformados), en el resto se encuentra la correlación entre la superficie de desagüe del puente respecto a los Km² de la subcuenca aguas arriba del puente.

12. Conceptos como pluviometría, cuenca hidrológica, caudales de los ríos es posible de que se tengan en cuenta solo en algunos puentes, quizás en los últimos construidos.

Hipótesis rechazada. Como en la hipótesis anterior, excepto en los dos puentes que han sufrido modificaciones, en el resto, además de cumplirse lo que explicamos en la hipótesis anterior, se encuentra una alta correlación entre la superficie de desagüe del puente y la lluvia media diaria (mm) caída en la cuenca aguas arriba del puente.

Anexo 1 a las conclusiones:

Procedimiento empleado en el cálculo analítico

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	

Cabreta	Altura pretil	1.5	Luz	24.2
	Espesor pret	0.4	flecha	118
	Luz a consider	5.7	altura relleno	0.9
	Volum dos pret	6.84	alt equi pret	0.428571429
	Ancho rasante	2.8	Alt +eq pret	1.328571429
	altura equivalente rasante	0.42857143	Ancho rasan	3
			Volumen	96.454
			Pes. Especo	2.350
			Peso lineal	226.667,57
			Pila 2ª	
			3 Vi=V2	113.333,79
			2 Hi=H2	58.109,43
			Carga bóveda	
			6	81.780,00
			0.42857143	Carga total
			9.75	Vi=V2
			10.1785714	Hi=H2
			61.0714286	Volumen a considerar
			2.350,00	Vit=V2t
			143.517,86	Hit=H2t
				H KN
			443.179,79	V2
			586.697,64	Peso total sobre el cimientto Kg
			5.866,98	Peso total sobre el cimientto KN
			97.782,94	Carga especifica sobre el cimientto kg /tr
			977,83	Carga especifica sobre el cimientto kN /r
			9.78	Carga espesf sobr cimientto kg / c
			0.03778294	Carga especifica en KN/cm2
			0.3778294	Carga especifica en N/mm2

Bóveda primera	Luz	7
	flecha	3
	altura relleno	3.35
	alt equi pret	0.42857143
	Alt +eq pret	3,77857143
	Ancho rasan	3
	Volumen	79.350
	Pes. Especo	2.350
	Peso lineal	186.472,50
		Pila 3ª
		3 Vi=V2
		93.236,25
		Ancho Rasante incluido el pretil
		4.4 Hi=H2
		54.387,81
		Ancho superior
		4.4
		Carga bóveda
		13,2
		21.150,00
		0.42857143
		49.350,00
		8.25
		Vi=V2
		8.168,75
		Hi=H2
		6.168,75
		Altura total
		114.557143
		Volumen a considerar
		2.350,00
		Vit=V2t
		117.911,25
		Hit=H2t
		60.556,56
		Peso propio sobre el cimientto
		443.179,79
		H KN
		117.911,25
		V2
		830.300,32
		Peso total sobre el cimientto Kg
		8.303,00
		Peso total sobre el cimientto KN
		62.801,54
		Carga especifica sobre el cimientto kg /tr
		629,02
		Carga especifica sobre el cimientto kN /r
		6.29
		Carga espesf sobr cimientto kg / c
		0.06290154
		Carga especifica en KN/cm2
		0.6290154
		Carga especifica en N/mm2

E9 = H7	H18 = H17 x H4/3
H8 = H7 + H6	H19 = H18/2
H10 = H9 x H8 x H4	H20 = 3x H18 x H4 / (56 x H5)
H12 = H10 x H11	H22 = H14 + H19
H14 = H12/2	H23 = H15 + H20
H15 F= H12 x H4 / (8 x H15)	H24 = H23/100
H17 = H5 x 1 x H9 x H11	

Bóveda segunda	Luz	7
	flecha	3
	altura relleno	3.35
	alt equi pret	0.42857143
	Alt +eq pret	3,77857143
	Ancho rasan	3
	Volumen	79.350
	Pes. Especo	2.350
	Peso lineal	186.472,50
		Pila 3ª
		3 Vi=V2
		93.236,25
		Ancho Rasante incluido el pretil
		4.4 Hi=H2
		54.387,81
		Ancho superior
		4.4
		Carga bóveda
		13,2
		21.150,00
		0.42857143
		49.350,00
		8.25
		Vi=V2
		8.168,75
		Hi=H2
		6.168,75
		Altura total
		114.557143
		Volumen a considerar
		2.350,00
		Vit=V2t
		117.911,25
		Hit=H2t
		60.556,56
		Peso propio sobre el cimientto
		443.179,79
		H KN
		117.911,25
		V2
		830.300,32
		Peso total sobre el cimientto Kg
		8.303,00
		Peso total sobre el cimientto KN
		62.801,54
		Carga especifica sobre el cimientto kg /tr
		629,02
		Carga especifica sobre el cimientto kN /r
		6.29
		Carga espesf sobr cimientto kg / c
		0.06290154
		Carga especifica en KN/cm2
		0.6290154
		Carga especifica en N/mm2

Tabla A.1.1 Hoja de calculo correspondiente al calculo analítico de empujes V y H , P. Cabreta

Anexo 2 a las conclusiones:

**Tablas de datos sobre empujes en las bóvedas y cargas
específicas en los cimientos**

Ax. 2.1. Valores de empujes horizontales obtenidos con ARCs y proc. analítico

Cabreta	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	1050	545
excentricidades	5 y 4,5	0,8 y 0,8
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	950	545
excentricidades (sin carga)	4,5 y 4,5	0,8 y 0,8
Procedimiento analítico (KN)	1239,39	605,57

Tabla A 2.1 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de la Cabreta.

Media analítico/media ARCs = + 23,4%

Camprodon	Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	(K) Bóveda 4ª	Bóveda 5ª
Simulación ARCs (KN)(K 1/2)	254	380	780	1750	-
excentricidades	0,8 y 0,7	1 y 1	1,4 y 1,4	3,5 y 5,3	-
Simulación ARCs (KN)(K 1/4)	355	524	909	1720	-
excentricidades	1 y 0,9	1,2 y 1,2	1,5 y 1,4	3,5 y 5	-
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	250	360	730	1270	-
excentricidades (sin carga)	0,8 y 0,7	1 y 0,8	1,3 y 1,2	3,1 y 5	-
Procedimiento analítico (KN)	222,85	337,62	550,59	1268,31	617

Tabla A 2.2 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Camprodon.

Media analítico/media ARCs = - 8,96%

Sant Joan de les Abadesses	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª	Bóveda 3ª
Simulación ARCs (KN)	1400	4300	1000
excentricidades	1,4 y 1,3	5 y 4,5	1,9 y 2
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	1290	3760	930
excentricidades (sin carga)	1,2 y 1,1	4,2 y 4	1,8 y 1,9
Procedimiento analítico (KN)	887	3430	547

Tabla A.2.3 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Sant Joan de les Abadesses.

Media analítico/media ARCs = - 18,66%

Manlleu	Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	(K) Bóveda 5ª	(K) Bóveda 6ª
Simulación ARCs (KN) (K = 5ª)	-	-	-	1631	1770	1830
excentricidades	-	-	-	1,75 y 1	2,5 y 1,8	1,7 y 2,4
Simulación ARCs (KN) (K = 6ª, 1/2)	-	-	-	1561	1480	2200
excentricidades	-	-	-	1,5 y 0,9	2,1 y 1,5	2,7 y 2,4
Simulación ARCs (KN) (K = 6ª 1/4)	-	-	-	1631	1600	2150
excentricidades	-	-	-	1,75 y 1	2,5 y 1,8	2,7 y 2,4
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	-	-	-	1561	1480	1640
excentricidades (sin carga)	-	-	-	1,5 y 0,9	2,1 y 1,5	2,3 y 1,8
Procedimiento analítico (KN)	376	1235	1803	1560	1461	1611

Tabla A 2.4 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Manlleu.

Media analítico/media ARCs = - 1,02 %

Remei	Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	(K) Bóveda 5ª	Bóveda 6ª
Simulación ARCs (KN)	220	633	608	774	1360	550
excentricidades	0,4 y 0,4	0,3 y 0,2	0,4 y 0,2	0,3 y 0,3	0,3 y 0,3	0,3 y 0,3
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	220	633	608	674	710	550
excentricidades (sin carga)	0,35 y 0,35	0,3 y 0,2	0,4 y 0,2	0,3 y 0,3	0,3 y 0,3	0,3 y 0,3
Procedimiento analítico (KN)	246,78	635,09	604,74	767,36	683,25	558,67

Tabla A2.5 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente del Remei.

Media analítico/media ARCs = + 2,97%

Queralt	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª
Simulación ARCs (KN)	265	590	220	330
excentricidades	0,8 y 0,8	0,8 y 0,8	0,3 y 0,15	0 y 1,2
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	216	264	220	330
excentricidades (sin carga)	0 y 0,3	0 y 0	1,15 y 1	0 y 1,2
Procedimiento analítico (KN)	265,89	264,97	268,88	77,93

Tabla A 2.6 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Queralt.

Media analítico/media ARCs = -14,4%

<u>Bruguer</u>	Bóveda 1ª	(K1/4) Bóveda 2ª	(K 1/2) Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	Bóveda 5ª
Simulación ARCs (KN)(K 1/2)	670	933	1440	1121	-
excentricidades	0,4 y 0,3	0,9 y 0,5	1,5 y 1,3	0,4 y 0,5	-
Simulación ARCs (KN)(K 1/4)	800	1400	950	1170	-
excentricidades	0,7 y 0,5	1,2 y 0,6	1,5 y 1,3	0,7 y 0,9	-
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	670	933	800	1121	-
excentricidades (sin carga)	0,4 y 0,3	0,9 y 0,5	0,8 y 0,7	0,4 y 0,5	-
Procedimiento analítico (KN)	646,42	936,39	699,18	1121,34	503,63

Tabla A 2.7 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Bruguer.

Media analítico/media ARCs = - 3,42%

<u>Malafogassa</u>	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	350	925
excentricidades	1,4 y 1	2,2 y 1,2
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	350	910
excentricidades (sin carga)	1,4 y 1	2,2 y 1,2
Procedimiento analítico (KN)	342,61	890,3

Tabla A 2.8 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Malafogassa.

Media analítico/media ARCs = - 2,15%

<u>La Bisbal</u>	(K) Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	834	853
excentricidades	1,5 y 1	1,5 y 1
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	800	800
excentricidades (sin carga)	1,5 y 1	1,5 y 1
Procedimiento analítico (KN)	834,81	853,54

Tabla A 2.8 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de la Bisbal.

Media analítico/media ARCs = + 5,52%

<u>Gualta</u>	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	Bóveda 5ª
Simulación ARCs (KN)	610	230	130	145	228
excentricidades	0,55 y 0,55	0,7 y 0,3	1,3 y 1,15	0,9 y 1,15	0,4 y 0,6
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	236	230	130	145	228
excentricidades (sin carga)	0,4 y 0,3	0,7 y 0,3	1,3 y 1,15	0,9 y 1,15	0,4 y 0,6
Procedimiento analítico (KN)	236,27	260,08	151,74	178,05	227,33

Tabla A.2.9 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Gualta.

Media analítico/media ARCs = + 8,72%

Sant Roc	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª	Bóveda 3ª
Simulación ARCs (KN)	476	1600	492
excentricidades	1,5 y 1,5	1,7 y 1,7	1,4 y 1,4
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	476	1220	492
excentricidades (sin carga)	1,5 y 1,5	1,7 y 1,7	1,4 y 1,4
Procedimiento analítico (KN)	394,79	1158,27	406,32

Tabla A.2.10 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Sant Roc.

Media analítico/media ARCs = - 10%

Sant Joan les Fonts	Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	(K) Bóveda 3ª
Simulación ARCs (KN)	295	460	1650
excentricidades	1,1 y 1,1	1,2 y 1,2	3,3 y 3,3
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	295	460	1240
excentricidades (sin carga)	1,1 y 1,1	1,2 y 1,2	3,3 y 3,3
Procedimiento analítico (KN)	295,41	434,75	1160

Tabla A.2.11 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Sant Joan les Fonts.

Media analítico/media ARCs = - 5,25%

Oix	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	270	39
excentricidades	1,4 y 0,6	0,5 y 0,6
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	180	39
excentricidades (sin carga)	1,3 y 0,6	0,5 y 0,6
Procedimiento analítico (KN)	194,35	35,6

Tabla A.2.12 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Oix.

Media analítico/media ARCs = + 5%

Valentí	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	160	310
excentricidades	1,6 y 1,3	1,8 y 1,6
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	160	294
excentricidades (sin carga)	1,6 y 1,3	1,8 y 1,6
Procedimiento analítico (KN)	187,54	293,43

Tabla A.2.13– Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Valentí.

Media analítico/media ARCs = + 5%

Llierca	Bóveda única
Simulación ARCs (KN)	718
excentricidades	2,5 y 2
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	690
excentricidades (sin carga)	2,5 y 1,9
Procedimiento analítico (KN)	703,53

Tabla A.2.14 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Llierca.

Media analítico/media ARCs = + 1,96%

Besalú	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	(K) Bóveda 5ª	Bóveda 6ª	Bóveda 7ª
Simulación ARCs (KN)	2450	1900	1000	1500	3350	1850	1200
excentricidades	1,8 y 2,5	2,2 y 1,7	1,5 y 1,3	0,8 y 0,6	2 y 2,2	1,9 y 2,4	1,2 y 1,2
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	1998	1986	1050	1500	2809	1863	1200
excentricidades (sin carga)	1,8 y 2,5	2,2 y 1,2	1,5 y 1,3	0,8 y 0,6	2 y 2,2	1,9 y 2,4	1,2 y 1,2
Procedimiento analítico (KN)	1389	1722	958	852	2809	1871	1076

Tabla A.2.15 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Besalú.

Media analítico/media ARCs = -13,93%

Can Prat	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª	Bóveda 3ª
Simulación ARCs (KN)	52	520	42
excentricidades	0,7 y 0,7	1,8 y 1,75	0,5 y 0,6
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	52	300	42
excentricidades (sin carga)	0,7 y 0,7	1,75 y 1,75	0,5 y 0,6
Procedimiento analítico (KN)	41,39	325,14	41,14

Tabla A.2.16– Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Can Prat.

Media analítico/media ARCs = + 3,45%

Sant Antoni	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª
Simulación ARCs (KN)	520	265
excentricidades	1,15 y 1,5	0,9 y 0,9
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	500	265
excentricidades (sin carga)	1,15 y 1,5	0,9 y 0,9
Procedimiento analítico (KN)	577,93	239,3

Tabla A. 2.17– Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Sant Antoni.

Media analítico/media ARCs = + 6,8%

Sant Llorenç	Bóveda 1ª	(K) Bóveda 2ª	Bóveda 3ª
Simulación ARCs (KN)	280	2240	336
excentricidades	2,2 y 0,5	0,5 y 0,3	1,5 y 1,5
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	280	1450	336
excentricidades (sin carga)	2,2 y 0,5	0,5 y 0,3	1,1 y 1,1
Procedimiento analítico (KN)	282	1532	324,52

Tabla A.2.17 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Sant Llorenç.

Media analítico/media ARCs = + 3,6%

Castelló d'Empúries	(K) Bóveda 1ª	Bóveda 2ª	Bóveda 3ª	Bóveda 4ª	(K) Bóveda 5ª	Bóveda 6ª	Bóveda 7ª
Simulación ARCs (KN)	1864	670	898	1262	2418	974	1160
excentricidades	0,5 y 0,6	1,9 y 2,4	1,2 y 1	1,1 y 1	0,5 y 0,9	1 y 1	0,3 y 2,15
Simulación ARCs (KN) (sin carga)	1144	670	898	1182	1818	974	1070
excentricidades (sin carga)	0,3 y 0	1,9 y 2,4	1,2 y 1	1 y 0,6	0,5 y 0,7	1 y 1	0,1 y 2,15
Procedimiento analítico (KN)	1465	616	898	1288	1841	1007	1161

Tabla A.2.18 – Valores de los empujes horizontales obtenidos mediante el programa ARCs (con carga móvil K y sin ella) y mediante el procedimiento analítico para el puente de Castelló d'Empúries.

Media analítico/media ARCs = + 6,7%

Ax. 2.2. Valores de las cargas específicas sobre los cimientos

<u>Cabreta</u>	Pila 1ª	Pila 2ª	Pila 3ª	Valor medio
Carga específica (N/mm²)	0,949	0,616	0,126	0,56366667

Tabla A.2.19 – Valores de la carga específica para el puente de la Cabreta

<u>Camprodon</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Valor medio		
Carga específica (N/mm ²)	0,123	0,339	0,366	0,521	0,517	0,3732		
<u>Sant Joan de les Abadesses</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Estribo 4º	Valor medio			
Carga específica (N/mm ²)	0,342	0,751	0,598	0,442	0,53325			
<u>Manlleu</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Pila 6ª	Estribo 7º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,142	0,187	0,184	0,276	0,341	0,352	0,415	0,21171429
Valor medio familia	0,3685							

Tabla A.2.20 – Valores de la carga específica para la familia de puentes Camprodon – S.J. Abadesses – Manlleu.

<u>Remei</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Pila 6ª	Estribo 7º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,06	0,134	0,19	0,305	0,319	0,305	0,13	0,20614286
<u>Queralt</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Estribo 3º	Valor medio				
Carga específica (N/mm ²)	0,278	0,27	0,252	0,26666667				
<u>Bruguer</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Estribo 6º	Valor medio	
Carga específica (N/mm ²)	0,131	0,353	0,477	0,5	0,371	0,139	0,3285	
Valor medio familia	0,2634							

Tabla A.2.21 – Valores de la carga específica para la familia de puentes Remei – Queralt – Bruguer.

<u>Malafogassa</u>	Pila 1ª	Pila 2ª	Pila 3ª	Valor medio
Carga específica (N/mm²)	0,225	0,564	0,405	0,398

Tabla A.2.22 – Valores de la carga específica para el puente de Malafogassa

<u>La Bisbal</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Estribo 3º	Valor medio			
Carga específica (N/mm ²)	0,608	0,447	0,614	0,55633333			
<u>Gualta</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Estribo 6º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,104	0,236	0,259	0,298	0,189	0,084	0,195
Valor medio familia	0,3154						

Tabla A.2.23 – Valores de la carga específica para la familia de puentes La Bisbal – Gualta.

<u>Sant Roc</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Estribo 4º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,292	0,411	0,412	0,276	0,34775
<u>Sant Joan les Fonts</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Estribo 4º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,266	0,242	0,56	0,488	0,389
Valor medio familia	0,368375				

Tabla A.2.24 – Valores de la carga específica para la familia de puentes Sant Roc – S.J. les Fonts.

<u>Oix</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Estribo 3º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,118	0,294	0,065	0,159
<u>Valentí</u>	Estribo 1º	Pila 2ª	Estribo 3º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,127	0,329	0,365	0,27366667
<u>Llierca</u>	Estribo 1º	Estribo 2º	Valor medio	
Carga específica (N/mm ²)	0,209	0,209	0,209	
Valor medio familia	0,2145			

Tabla A.2.25 – Valores de la carga específica para la familia de puentes Oix – Valentí – Llierca.

Besalú	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Pila 6ª	Pila 7ª	Estribo 8º	Valor medio
Carga específica (N/mm²)	0,688	0,644	0,559	0,318	0,828	0,888	0,721	0,134	0,5975

Tabla A.2.26 – Valores de la carga específica para el puente de Besalú.

Can Prat	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Estribo 4º	Valor medio
Carga específica (N/mm²)	0,062	0,278	0,273	0,037	0,1625

Tabla A.2.27 – Valores de la carga específica para el puente de Can Prat.

Sant Antoni	Estribo 1º	Pila 2ª	Estribo 3º	Valor medio					
Carga específica (N/mm ²)	0,138	0,188	0,073	0,133					
Sant Llorenç	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Estribo 4º	Valor medio				
Carga específica (N/mm ²)	0,214	0,225	0,263	0,237	0,23475				
Castelló d'Empúries	Estribo 1º	Pila 2ª	Pila 3ª	Pila 4ª	Pila 5ª	Pila 6ª	Pila 7ª	Estribo 8º	Valor medio
Carga específica (N/mm ²)	0,176	0,473	0,642	0,711	0,593	0,579	0,445	0,244	0,482875
Valor medio familia	0,28354167								

Tabla A.2.28 – Valores de la carga específica para la familia de puentes S. Antoni – S. Llorenç – Castelló d'Empúries.

Anexo 3 a las conclusiones:

Subcuencas, pluviometría y caudales punta para períodos de retorno de 100 y 500 años.

Estimación de cuantiles para distintos periodos de retorno, mediante el uso de mapas de representación del coeficiente de variación C_v y del promedio \bar{P} de la máxima precipitación diaria anual

En el anejo 1 se incluyen una serie de mapas en los que se representan tanto las Isolíneas del coeficiente de variación C_v como las del valor medio \bar{P} de la máxima precipitación diaria anual.

La base de representación es la serie 4C del Servicio Geográfico del Ejército (escala original 1:400.000) que ha conducido a 25 planos reducidos a tamaño A-3 (escala real 1:800.000) y referidos a un sistema de coordenadas UTM transformadas al huso 30.

En los planos se ha representado también, y con objeto de servir de ayuda a la localización del punto en el que se va a realizar la obtención de los cuantiles, la red hidrográfica obtenida a partir de la base de datos 1:1.000.000 del Instituto Geográfico Nacional y la red de carreteras y poblaciones.

Parte de la información contenida en estas capas ha sido simplificada con objeto de facilitar la lectura del coeficiente de variación C_v y la del valor medio, \bar{P} buscándose, en todo caso, la presencia de suficientes referencias geográficas que ayuden a la localización en el plano del punto o puntos donde se vayan a realizar los cálculos.

El proceso operativo de obtención de los cuantiles para distintos periodos de retorno a partir de estos mapas es el siguiente:

- 1) Localización en los planos del punto geográfico deseado.
- 2) Estimación mediante las Isolíneas representadas del coeficiente de variación C_v y del valor medio \bar{P} de la máxima precipitación diaria anual.
- 3) Para el periodo de retorno deseado T y el valor de C_v , obtención del cuantil regional Y_T (también denominado «Factor de Amplificación K_T » en el «Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular» de 1997), mediante la figura 3.3 o el uso de la tabla 7.1.
- 4) Realizar (según se recoge en la expresión 3.1) el producto del cuantil regional Y_T por el valor medio \bar{P} obteniéndose X_T , es decir, el cuantil local buscado (también denominado P_T en el «Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular» de 1997).

Determinación de las precipitaciones diarias máximas en las localidades para periodos de retorno T100 y T500

Tabla A.3.1. Cuantiles Y de la Ley SQRT-ET_MAX También denominados factores de Amplificación K_T en el mapa para el calculo de máximas precipitaciones diarias en la España Peninsular (1997)

C_v	Periodo de retorno en años (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0,30	0,935	1,194	1,377	1,625	1,823	2,022	2,251	2,541
0,31	0,932	1,198	1,385	1,640	1,854	2,068	2,296	2,602
0,32	0,929	1,202	1,400	1,671	1,884	2,098	2,342	2,663
0,33	0,927	1,209	1,415	1,686	1,915	2,144	2,388	2,724
0,34	0,924	1,213	1,423	1,717	1,930	2,174	2,434	2,785
0,35	0,921	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,831
0,36	0,919	1,225	1,446	1,747	1,991	2,251	2,525	2,892
0,37	0,917	1,232	1,461	1,778	2,022	2,281	2,571	2,953
0,38	0,914	1,240	1,469	1,793	2,052	2,327	2,617	3,014
0,39	0,912	1,243	1,484	1,808	2,083	2,357	2,663	3,067
0,40	0,909	1,247	1,492	1,839	2,113	2,403	2,708	3,128
0,41	0,906	1,255	1,507	1,854	2,144	2,434	2,754	3,189
0,42	0,904	1,259	1,514	1,884	2,174	2,480	2,800	3,250
0,43	0,901	1,263	1,534	1,900	2,205	2,510	2,846	3,311
0,44	0,898	1,270	1,541	1,915	2,220	2,556	2,892	3,372
0,45	0,896	1,274	1,549	1,945	2,251	2,586	2,937	3,433
0,46	0,894	1,278	1,564	1,961	2,281	2,632	2,983	3,494
0,47	0,892	1,286	1,579	1,991	2,312	2,663	3,044	3,555
0,48	0,890	1,289	1,595	2,007	2,342	2,708	3,098	3,616
0,49	0,887	1,293	1,603	2,022	2,373	2,739	3,128	3,677
0,50	0,885	1,297	1,610	2,052	2,403	2,785	3,189	3,738
0,51	0,883	1,301	1,625	2,068	2,434	2,815	3,220	3,799
0,52	0,881	1,308	1,640	2,098	2,464	2,861	3,281	3,860

Tabla A.3.1 Tabla de la ley de SQRT-ET MAX

En el Grafico A.3.1 las isocuantas de color violeta en color valor medio P (mm/dia) de la máxima precipitación diaria anual. En color rojo el C_v coeficiente de variación.

A partir de C_v y del periodo de retorno T100 y T500 se obtiene el cuantil adimensional regional Y_1 con el empleo de la tabla A.3.1

Multiplicando P (mm/dia) por el cuantil obtenido en la tabla A.3.1 Y_1 se obtiene el cuantil local X_1 (mm/dia)

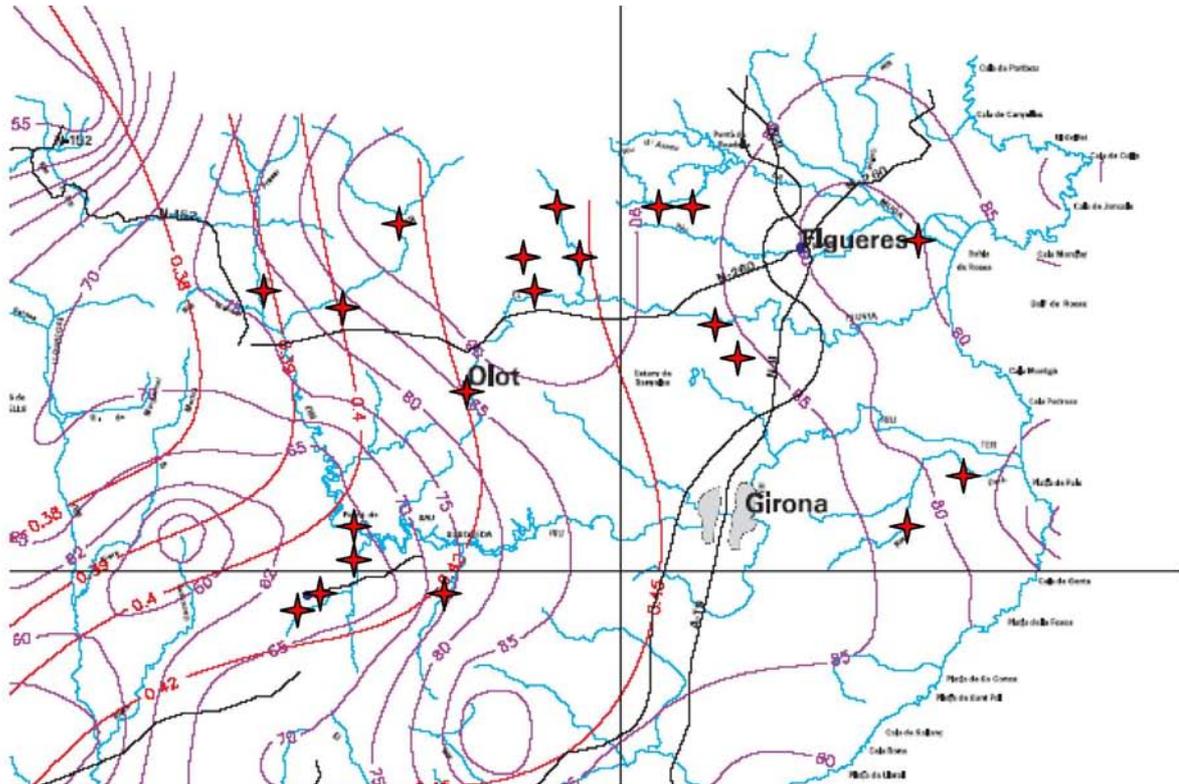


Grafico A.3.1 Líneas de Precipitación en el Huso 30

Puente	<i>m² paso</i>	km ²	<i>m² / km²</i>	mm	<i>m² / mm</i>	Q100	Q500	<i>m² / Q100</i>	<i>m² / Q500</i>
Cabreta	242,75	265,00	0,92	78	3,11	1006,00	1590,00	0,24	0,15
Camprodon	208	194,00	1,07	94	2,21	959,00	1618,00	0,22	0,13
Sant Joan Abadesses	497	262,00	1,90	87	5,71	959,00	1618,00	0,52	0,31
Manlleu	259	1127,00	0,23	64	4,05	1962,00	3440,00	0,13	0,08
Remei	176	81,00	2,17	63	2,79	245,00	452,00	0,72	0,39
Queralt	108,3	81,00	1,34	63	1,72	266,00	483,00	0,41	0,22
Bruguer	277	179,00	1,55	63	4,40	539,00	1058,00	0,51	0,26
Malafogassa	151	124,00	1,22	76	1,99				
La Bisbal	123,38	99,00	1,25	83	1,49	335,00	411,72	0,37	0,30
Gualta	98,58	112,00	0,88	80	1,23	1740,00	2680,00	0,06	0,04
Sant Roc	198,53	192,00	1,03	92	2,16	295,00	457,00	0,67	0,43
Sant Joan les Fonts	195,57	139,00	1,41	94	2,08	354,00	534,00	0,55	0,37
Oix	62,39	38,43	1,62	94	0,66				
Valentí	111,18	35,57	3,13	93	1,20				
Llierca	236	188,00	1,26	93	2,54	777,50	1351,00	0,30	0,17
Besalú	781	601,00	1,30	90	8,68	1425,00	2284,00	0,55	0,34
Can prat	31,41	31,41	1,00	89	0,35				
Sant Antoni	82,74	75,76	1,09	86	0,96	412,00	666,00	0,20	0,12
Sant Llorenç	177,04	80,93	2,19	86	2,06	417,00	676,00	0,42	0,26
Castelló	347	755,00	0,46	90	3,86	800,00	800,00	0,43	0,43
Media general			1,35		2,662			0,39	0,25

Tabla A.3.2 – Datos sobre la hidráulica de cada puente y ratios de estudio.¹⁸

¹⁸ Los datos que no aparecen en negrita ni en cursiva han sido facilitados por el Departamento de Dominio Hidráulico de la ACA de Girona.

Anexo 4 a las conclusiones:

**Tablas de datos para la elaboración de los
gráficos del análisis comparativo de las geometrías de
puentes arco de obra de fábrica**

Nombre	Luz (m)	Canto (m)	Canto / Luz
Alcántara	30	2,1	4/57
Ourense	39	1,9	2/41
Tudela de Ebro	15,6	0,8	2/39
S. Martí Tol	40,25	2	1/20
Zulema Henares	8,5	0,6	6/85
Martorell	38	1,6	4/95
S. J. Abadesses	34	1,2	3/85
S. Juan Alberche	13,5	0,8	1/17
Abroñigal	7,5	0,6	2/25
Beloro	12,8	1,39	5/46
Cabriel Velancia	16,7	1,25	3/40
Jucar	22,29	1,25	5/89
Tablete Granada	16,7	1	3/50
Leciñana	22	1,1	1/20
Peralta Asa	13,8	0,5	2/55
Bayos	15	0,83	1/18
Herrera	8	0,7	7/80
Puebla	13	1	1/13
Hortadela de Ebro	23,4	1,46	1/16
Navarcles	20,62	1,11	5/93
Bilbao	19	0,7	1/27
Esca	12,2	0,75	4/65
Rueda Jalon	13	0,8	4/65
Lozoya Madrid	15	0,85	3/53
Jarama	15	0,9	3/50
Esca	13	0,8	4/65
Sacal	14	0,85	2/33
Veral	10	0,72	1/14
Vol-Mart	12	0,8	1/15
Massos	12	0,9	3/40
Almaraz	38	1,6	4/95
Córdoba	31	2,3	2/27
Guadaleison	13	0,85	3/46
Avignon	33,8	0,87	1/39
Guillotierre	32	0,65	1/49
Sant Esprit	33,1	1,8	5/92
Cerec	45	1,62	1/28
Tournon	47,8	0,85	1/56
Claix	45,8	1,46	3/94
Cabreta	24,2	1,4	3/52
Camprodon	20,9	0,67	1/31
S. Joan Abadesses	29,9	1	1/30
Valentí	11,22	0,47	1/24
Llerca	17,68	0,6	2/59
Castelló d'Empúries	18,1	0,5	1/36
S. Llorenç	21	0,7	1/30
Besalú 2	26,4	0,7	1/38
Besalú 1	15,9	0,7	4/91
Can Prat	11,3	0,35	3/97
Oix	13,6	0,6	3/68
S. Joan les Fonts	17,8	0,6	3/89
Manlleu	15	0,67	3/67
S.Roc	14,5	0,6	1/24
Malafogassa	18,9	0,53	2/71
Bruger	14,8	0,8	2/37
La Bisbal	14,5	1,36	3/32
Remei	8,3	0,4	4/83
Gualta	9,9	0,35	3/85
S. Antoni	11,63	0,66	5/88
Queralt	7,8	0,5	5/78

Tabla C43 – Valores de la luz, canto y relaciones de canto/luz

Nombre	Luz (m)	Flecha (m)	Flecha / luz
Alcántara	30	15	1/2
Ourense	39	22	22/39
Tudela de Ebro	15,6	7,8	1/2
S. Martí Tol	40,25	16,5	25/61
Zulema Henares	8,5	4,25	1/2
Martorell	38	16,3	3/7
S. J. Abadesses	34	15,8	33/71
S. Juan Alberche	13,5	7,755	27/47
Abroñigal	7,5	3,25	13/30
Beloro	12,8	2,78	5/23
Cabriel Velancia	16,7	8,35	1/2
Jucar	22,29	3,62	13/80
Tablete Granada	16,7	8,35	1/2
Leciñana	22	2,95	11/82
Peralta Asa	13,8	6,9	1/2
Bayos	15	7,5	1/2
Herrera	8	4	1/2
Puebla	13	1,73	2/15
Hortadela de Ebro	23,4	1,95	1/12
Navarcles	20,62	3,42	1/6
Bilbao	19	1,9	1/10
Esca	12,2	2,4	12/61
Rueda Jalon	13	1,91	5/34
Lozoya Madrid	15	7,5	1/2
Jarama	15	2,5	1/6
Esca	13	1,91	5/34
Sacal	14	1,8	9/70
Veral	10	1,5	3/20
Vol-Mart	12	6	1/2
Massos	12	6	1/2
Almaraz	38	19	1/2
Córdoba	31	15,5	1/2
Guadaleison	13	1,3	1/10
Avignon	33,8	15	4/9
Guillotierre	32	11,7	34/93
Sant Esprit	33,1	8,2	1/4
Cerec	45	22,5	1/2
Tournon	47,8	19,82	17/41
Claix	45,8	16,57	17/47
Cabreta	24,2	12,1	1/2
Camprodon	20,9	10,45	1/2
S. Joan Abadesses	29,9	17,7	29/49
Valentí	11,22	5,61	1/2
Llierca	17,68	8,84	1/2
Castelló d'Empúries	18,1	3,6	1/5
S. Llorenç	21	3,6	6/35
Besalú 2	26,4	10,5	35/88
Besalú 1	15,9	7,6	11/23
Can Prat	11,3	5,29	22/47
Oix	13,6	4,8	6/17
S. Joan les Fonts	17,8	10,5	23/39
Manlleu	15	10,5	7/10
S.Roc	14,5	6,1	8/19
Malafogassa	18,9	7,53	2/5
Bruger	14,8	5,8	29/74
La Bisbal	14,5	5	10/29
Remei	8,3	1,7	17/83
Gualta	9,9	3,3	1/3
S. Antoni	11,63	4,6	36/91
Queralt	7,8	2,52	21/65

Tabla C44 – Valores de Luz, flecha y ratio flecha / luz

Capítulo Primero. Aspectos generales sobre la realización de la tesis. Conclusiones

Nombre	Luz (m)	Ancho pila (m)	Ancho pila / Luz
Alcántara	30	8,8	22/75
Ourense	39	9,3	5/21
Tudela de Ebro	15,6	9	15/26
S. Martí Tol	40,25	9	19/85
Zulema Henares	8,5	3,27	5/13
Martorell	38	18	9/19
S. J. Abadesses	34	18	9/17
S. Juan Alberche	13,5	4	8/27
Abroñigal	7,5	3	2/5
Beloro	12,8	2,78	5/23
Cabriel Velancia	16,7	3,57	3/14
Jucar	22,29	2,5	11/98
Tablete Granada	16,7	3,57	3/14
Leciñana	22	3,1	10/71
Peralta Asa	13,8	4,25	4/13
Bayos	15	2,85	15/79
Herrera	8	1,6	1/5
Puebla	13	2,2	11/65
Hortadela de Ebro	23,4	2,92	1/8
Navarcles	20,62	3	8/55
Bilbao	19	2	2/19
Esca	12,2	1,5	8/65
Rueda Jalon	13	1,6	8/65
Lozoya Madrid	15	2	2/15
Jarama	15	1,8	3/25
Esca	13	1,6	8/65
Sacal	14	1,8	9/70
Veral	10	1,5	3/20
Vol-Mart	12	2,8	7/30
Massos	12	2,7	9/40
Almaraz	38	8	4/19
Córdoba	31	6,2	1/5
Guadaleison	13	3,5	7/26
Avignon	33,8	4	9/76
Guillotierre	32	10,4	13/40
Sant Esprit	33,1	4	11/91
Cerec	45	6	2/15
Tournon	47,8	2,6	5/92
Claix	45,8	2,6	5/88
Cabreta	24,2	4,4	2/11
Camprodon	20,9	4,94	13/55
S. Joan Abadesses	29,9	8,4	25/89
Valentí	11,22	3,8	21/62
Llierca	17,68	6	19/56
Castelló d'Empúries	18,1	4,3	19/80
S. Llorenç	21	4,7	15/67
Besalú 2	26,4	5,5	5/24
Besalú 1	15,9	5,5	9/26
Can Prat	11,3	2,35	5/24
Oix	13,6	2,7	1/5
S. Joan les Fonts	17,8	4,27	6/25
Manlleu	15	5	1/3
S.Roc	14,5	3,25	13/58
Malañogassa	18,9	2,5	9/68
Bruger	14,8	3	15/74
La Bisbal	14,5	2,7	8/43
Remei	8,3	2,7	27/83
Gualta	9,9	2	20/99
S. Antoni	11,63	4,5	12/31
Queralt	7,8	2,6	1/3

Tabla C45 – Valores de Luz, ancho de pila y ratio ancho pila / luz

Capítulo Primero. Aspectos generales sobre la realización de la tesis. Conclusiones

Nombre	Luz (m)	Canto estribo (m)	Canto estribo / luz
Alcántara	30	13	13/30
Ourense	39	9,25	23/97
Tudela de Ebro	15,6	4,8	4/13
S. Martí Tol	40,25	9,25	17/74
Zulema Henares	8,5	5	10/17
Martorell	38	13	13/38
S. J. Abadesses	34	13	13/34
S. Juan Alberche	13,5	6	4/9
Abroñigal	7,5	4,5	3/5
Beloro	12,8	5,15	35/87
Cabriel Velancia	16,7	7	13/31
Jucar	22,29	6,82	26/85
Tablete Granada	16,7	7	13/31
Leciñana	22	8,3	20/53
Peralta Asa	13,8	3,15	21/92
Bayos	15	3,15	17/81
Herrera	8	5	5/8
Puebla	13	6,25	25/52
Hortadela de Ebro	23,4	5,85	1/4
Navarcles	20,62	7,8	14/37
Bilbao	19	6,2	31/95
Esca	12,2	3,5	2/7
Rueda Jalon	13	4,4	22/65
Lozoya Madrid	15	4	4/15
Jarama	15	5	1/3
Esca	13	4,95	8/21
Sacal	14	4,7	1/3
Veral	10	3,4	17/50
Vol-Mart	12	4,34	17/47
Massos	12	6,6	11/20
Almaraz	38	9,25	9/37
Córdoba	31	13	13/31
Guadaleison	13	4,7	30/83
Avignon	33,8	13,25	20/51
Guillotierre	32	10	5/16
Sant Esprit	33,1	13,25	2/5
Cerec	45	9,25	15/73
Tournon	47,8	5	9/86
Claix	45,8	5	6/55
Cabreta	24,2	6	1/4
Camprodon	20,9	0,96	4/87
S. Joan Abadesses	29,9	1,8	5/83
Valentí	11,22	2,33	11/53
Llierca	17,68	4,4	1/4
Castelló d'Empúries	18,1	4,5	1/4
S. Llorenç	21	2,25	3/28
Besalú 2	26,4	6,6	1/4
Besalú 1	15,9	3,87	9/37
Can Prat	11,3	3,87	25/73
Oix	13,6	3,47	25/98
S. Joan les Fonts	17,8	1,5	8/95
Manlleu	15		
S.Roc	14,5	1,7	2/17
Malafogassa	18,9	2,85	8/53
Bruger	14,8	2,95	1/5
La Bisbal	14,5	3,62	1/4
Remei	8,3	2	20/83
Gualta	9,9	2,25	5/22
S. Antoni	11,63	5,25	14/31
Queralt	7,8	1,95	1/4

Tabla C46 – Valores de Luz, canto del estribo y ratio canto estribo / luz

Capítulo Primero. Aspectos generales sobre la realización de la tesis. Conclusiones

	Año	Nombre	Canto / Luz	Ancho pila / Luz	Flecha / luz	
Puentes España	997	Alcántara	4/57	22/75	1/2	
	1000	Ourense	2/41	5/21	22/39	
	1194	Tudela de Eb	2/39	15/26	1/2	
	1203	S. Martí Tol	1/20	19/85	25/61	
	1250	Zulema Hena	6/85	5/13	1/2	
	1300	Martorell	4/95	9/19	3/7	
	1300	S. J. Abadess	3/85	9/17	33/71	
	1300	S. Juan Alber	1/17	8/27	27/47	
	1788	Abroñigal	2/25	2/5	13/30	
	1844	Beloro	5/46	5/23	5/23	
	1851	Cabriel Velan	3/40	3/14	1/2	
	1851	Jucar	5/89	11/98	13/80	
	1853	Tablete Grana	3/50	3/14	1/2	
	1858	Leciñana	1/20	10/71	11/82	
	1859	Peralta Asa	2/55	4/13	1/2	
	1859	Bayos	1/18	15/79	1/2	
	1859	Herrera	7/80	1/5	1/2	
	1859	Puebla	1/13	11/65	2/15	
	1862	Hortadela de	1/16	1/8	1/12	
	1863	Navarcles	5/93	8/55	1/6	
	1876	Bilbao	1/27	2/19	1/10	
	1886	Esca	4/65	8/65	12/61	
	1887	Rueda Jalon	4/65	8/65	5/34	
	1888	Lozoya Madri	3/53	2/15	1/2	
	1888	Jarama	3/50	3/25	1/6	
	1889	Esca	4/65	8/65	5/34	
	1891	Sacal	2/33	9/70	9/70	
	1891	Veral	1/14	3/20	3/20	
	1892	Vol-Mart	1/15	7/30	1/2	
	1893	Massos	3/40	9/40	1/2	
	1700	Almaraz	4/95	4/19	1/2	
	1900	Córdoba	2/27	1/5	1/2	
	1900	Guadaleison	3/46	7/26	1/10	
	Puentes Europa	1187	Avignon	1/39	9/76	4/9
		1245	Guillotierre	1/49	13/40	34/93
		1305	Sant Esprit	5/92	11/91	1/4
1336		Cerec	1/28	2/15	1/2	
1545		Tournon	1/56	5/92	17/41	
1611		Claix	3/94	5/88	17/47	
Puentes tesis	970	Cabreta	3/52	2/11	1/2	
	1200	Camprodon	1/31	13/55	1/2	
	1130	S. Joan Abad	1/30	25/89	29/49	
	1500	Valentí	1/24	21/62	1/2	
	1400	Llierca	2/59	19/56	1/2	
	1100	Castelló d'Em	1/36	19/80	1/5	
	1600	S. Llorenç	1/30	15/67	6/35	
	1400	Besalú 2	1/38	5/24	35/88	
	1200	Besalú 1	4/91	9/26	11/23	
	1400	Can Prat	3/97	5/24	22/47	
	1500	Oix	3/68	1/5	6/17	
	1350	S. Joan les Fc	3/89	6/25	23/39	
	1396	Manlleu	3/67	1/3	7/10	
	1800	S.Roc	1/24	13/58	8/19	
	1448	Malafogassa	2/71	9/68	2/5	
	1300	Bruger	2/37	15/74	29/74	
	1600	La Bisbal	3/32	8/43	10/29	
	1279	Remei	4/83	27/83	17/83	
	1350	Gualta	3/85	20/99	1/3	
	1600	S. Antoni	5/88	12/31	36/91	
1200	Queralt	5/78	1/3	21/65		

Tabla C47 – Ratios en función de la luz

Marco Geográfico

Marco Geográfico

1. El relieve del área de estudio

Partimos de un marco de referencia geográfico amplio para poder situar el presente trabajo en un encuadre correcto dada la interdependencia entre las escalas macro y micro.



Figura G1 – Mapa Zonas Geográficas de Catalunya¹

El relieve con su masa rocosa junto con el manto vegetal constituyen los componentes más destacados del paisaje, que atraviesan los ríos a estudiar. Las unidades de relieve implicadas de lleno o rozándolas por estos son: El Pirineu axial, el Prepirineu, la Depressió Central Catalana formada por (Cuencas de erosión, Mesetas y Plana de Ponent) y el Sistema Mediterrani Català (Serralada Litoral, Depressió Prelitoral, Serralada Prelitoral). Completan este marco geográfico la Plana de l'Empordà y la Serralada Transversal.



Figura G2 – Relieve de Catalunya

¹ Inuncat

2. Materiales geológicos y clima

Para comprender la historia de un territorio, es fundamental conocer la disposición y la configuración de su suelo y del relieve ya que han determinado su potencialidad, la vocación del territorio y las comunicaciones entre los pueblos.

Los condicionantes del relieve han sido diferentes a lo largo de la historia, en relación con la situación social y política de cada época y con la capacidad técnica disponible.

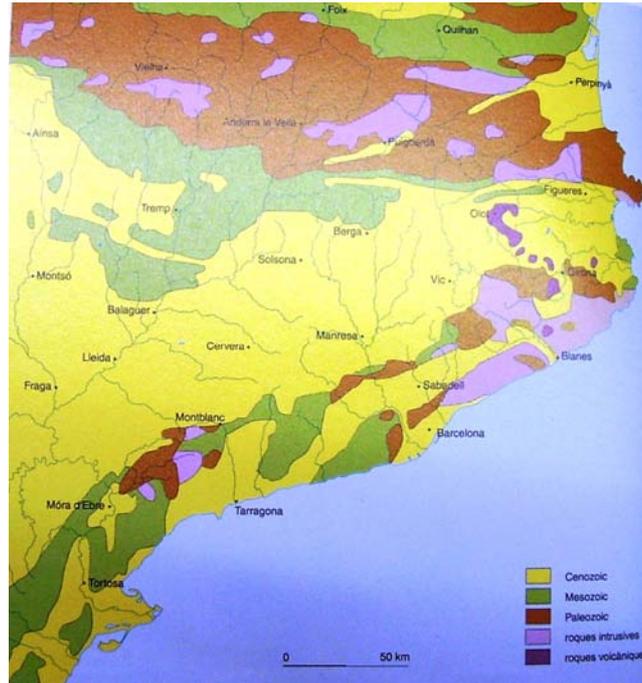


Figura G3 – Materiales geológicos del territorio de *Catalunya*

Los Pirineus constituyen el conjunto montañoso más destacado, es una cordillera compacta orientada de oeste a este, que se extiende desde el Atlántico al Mediterráneo y separa la península Ibérica del resto de Europa. En el sector central (Pirineo axial) predominan las rocas paleozoicas (gneis, pizarras, esquistos y mármoles) y los materiales intrusivos (granitos), donde dominan las rocas silíceas. Hay relieves abruptos que alcanzan alturas mayores a los tres mil metros, y también encontramos relieves planers y sectores deprimidos, como el fondo de la Cerdanya. En cambio el Pirineo axial es bordeado por el Prepirineo, constituido por materiales del mesozoico, donde predomina los materiales de tipo calcáreo.

El Sistema Mediterrani Català está constituido por tres unidades paralelas a la costa: Serralada del Litoral, Depressió del Prelitoral y la Serralada Prelitoral. Estas cordilleras han dificultado siempre las comunicaciones entre las tierras costeras y las del interior. Las comunicaciones, durante siglos, se han establecido entre los valles transversales abiertos por los ríos, dando lugar a los ejes viarios principales para unir los pueblos de la franja costera con los de la Depressió Prelitoral y los de la Depressió Central.

La Depressió Central está formada por las Planes de Vic y del Bages y por las de Ponent del Segrià y Urgell.

3. Clima y transformaciones morfológicas

El clima de Catalunya no es homogéneo, está condicionado por la diversidad de su relieve: altitud, distancia al mar y la intensidad, dirección, frecuencia del viento en cada lugar.

Es un clima de tipo mediterráneo, caracterizado por la irregularidad del relieve y las precipitaciones. En función de las diversidades anteriores, se puede hablar de cuatro tipos de climas:

1. Las tierras de la costa, donde el clima promedio, influenciado por el mar, se caracteriza por la alta humedad, pocas precipitaciones y temperaturas con poca oscilación.
2. En las montañas del Sistema Mediterrani Català y el extremo oriental de los Pirineus, el clima es de influencia marítima donde las temperatura suelen ser más bajas, y mayor el grado de precipitaciones.
3. En las tierras del interior, debido a la altitud de las montañas, les llega la influencia marítima muy debilitada. El clima es seco y con oscilaciones térmicas considerables.
4. A partir de los 2000 metros de altitud, el clima es de alta montaña, se caracteriza por inviernos largos y muy fríos.

4. Descripción general del clima en Cataluña:

La posición occidental en Cataluña respecto del continente euroasiático y su situación latitudinal determinan un clima de tipo mediterráneo para el conjunto del territorio. No obstante, la compleja orografía catalana, con fuertes desniveles y diferentes orientaciones de las valles, y la proximidad del Mediterráneo, originan un notable número de variedades locales del clima mediterráneo. Únicamente en el extremo noroccidental del país, en la Vall d'Aran, se define un clima de tipo atlántico, con una temperatura relativamente suave y una precipitación abundante repartida regularmente a lo largo del año.

El clima mediterráneo se caracteriza, básicamente, por inviernos con una temperatura suave y veranos calurosos y secos. La pluviometría es muy irregular. La presencia de la masa de aire mediterránea modera la temperatura a la vez que puede originar lluvia torrencial en el otoño, especialmente en la zona litoral y pre – litoral.

A medida que se avanza hacia el interior las características térmicas y pluviométricas se modifican, generalmente aumentando la amplitud térmica y disminuyendo la precipitación. Así, en la Depressió Central los inviernos son fríos y abunda la niebla de inversión térmica, mientras que los veranos son muy calurosos y secos. En las zonas de montaña la temperatura es más baja y la precipitación más abundante. En el Pirineo Oriental la estación más lluviosa es el verano, debido al gran número de tormentas estivales. De otro lado, la posición de Cataluña en la frontera entre las masa de aire tropical y polar, entre Eurásia y África, hace que se vea afectada por entradas de aire frío procedentes del norte o entradas de aire cálido procedentes del sur, ocasionando súbitas bajadas o subidas de la temperatura.

La definición de clima viene determinada en función del valor que cogen una serie de parámetros relacionados con la pluviometría y la temperatura. Estos parámetros son los siguientes:

- **PMA** = Precipitación media anual
- **RPE** = Régimen pluviométrico estacional
- **TMA** = Temperatura media anual
- **AAMT** = Amplitud anual media de la temperatura (diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del mes más frío).

Según estos parámetros, y según la división geográfica, cada tipo de clima viene definido por los siguientes registros:

Clima de Catalunya²

4.1. Clima oceánico o atlántico: caracterizado por una pluviometría equilibrada durante el año. Se localiza en la Vall d’Aran.

- PMA = 900 – 1100 mm
- RPE = Equilibrado
- TMA = 6 – 10 °C
- AAMT = 13 – 14 °C

4.2. Clima mediterráneo: caracterizado por unos inviernos con una temperatura suave y veranos calurosos y secos, y una pluviometría muy irregular. Dentro del clima mediterráneo se pueden describir los siguientes:

4.2.1. Clima pirenaico: caracterizado por una pluviometría abundante asociada al paso de sistemas frontales, durante la primavera, otoño e invierno, y una precipitación convectiva durante el verano.

- PMA = 1000 – 1300 mm
- RPE = Máximo verano; mínimo invierno
- TMA = 2 – 10 °C
- AAMT = 13 – 16 °C

4.2.2. Clima pre – pirenaico: caracterizado por una pluviometría moderada provocada también como en el caso del clima pirenaico por el paso de sistemas frontales y por una precipitación convectiva durante la época de verano.

- PMA = 650 – 1100 mm
- RPE = Máximo verano; mínimo invierno
- TMA = 9 – 13 °C
- AAMT = 16 – 19 °C

4.2.3. Clima continental: caracterizado por una pluviometría entre moderada y escasa, producida por el paso de sistemas frontales que, muy debilitados, atraviesan Cataluña. Los veranos suelen ser secos. Se localiza en Ponent, en la Catalunya Central y en la Plana de Vic.

² Inuncat pag 18 Actualización 2009

- PMA = 350 – 850 mm
- RPE = Máximo otoño y primavera; mínimo verano
- TMA = 12 – 15 °C
- AAMT = 17 – 20 °C

4.2.4. Clima prelitoral: caracterizado por precipitación moderada producida por masas de aire procedentes del mediterráneo, preferentemente en el otoño.

- PMA = 600 – 1000 mm
- RPE = Máximo otoño y primavera
- TMA = 11 – 15 °C
- AAMT = 15 – 18 °C

4.2.5. Clima litoral: caracterizado por una precipitación moderada y una gran influencia del mediterráneo, preferentemente en el otoño o a finales de verano.

- PMA = 500 – 750 mm
- RPE = Máximo otoño
- TMA = 14,5 – 17 °C
- AAMT = 14 – 15 °C

5. Delimitación del marco geográfico de la tesis

Los límites del marco geográfico relacionado con el estudio, son los delimitados por las cuencas de los ríos Ter, Fluvià y La Muga. Estas cuencas, adyacentes entre si y con una superficie de 4.687 Km² se sitúan en el noreste de Catalunya.

Las cabeceras de los ríos Ter y La Muga parten de los Pirineus, mientras que el río Fluvià lo hace en la serra Finestres al pie de la cara norte serra de Collsacabra en el Prepirineu.

La cuenca alta del río Ter transcurre por terrenos Paleozoicos, la cuenca media por suelos Cenozoicos, excepto la zona donde están los pantanos de Sau y Susqueda que son nuevamente como los de la cuenca alta.

La cuenca del río Fluvià excepto en la zona de Olot que es un suelo de rocas volcánicas, transcurre por suelos del Cenozoico.

La cuenca alta del río La Muga transcurre por suelos de rocas intrusivas y el resto de la cuenca recorre terrenos de carácter cenozoico.

Los tres ríos desembocan en el mediterráneo, La Muga y el Fluvià lo hacen en el golfo de Rosas a escasos kilómetros de distancia entre uno del otro. El río Ter desemboca en la bahía de Pals, entre el macizo del Montgrí y la serra de las Gavarres.

Marco Histórico de referencia

1. Proceso de romanización de la península Ibérica

Decidida la segunda guerra púnica, Roma, en un proceso que había iniciado en el siglo VI a C, incorpora a los íberos como soldados a su historia imperial.

A lo largo de los siglos II y I a.C., los pueblos iberos, a la fuerza o por asimilación se transforman gradualmente bajo la guía del poder romano.

El proceso de romanización transforma los antiguos caminos y las rutas “naturales” en una red de vías de comunicación, fundamentales para el proceso de organización y explotación de los nuevos territorios. Las vías eran, a la vez, una realidad militar (facilitaba el movimiento de las tropas), económica (enlazaban zonas productivas con mercados y puertos), y político-social (comunicaban las ciudades y otros núcleos de población), y sobre todo fueron fundamentales para crear y consolidar un nuevo orden social.¹

Con la conquista se hace necesario el establecimiento de un catastro que haga posible la organización del territorio para facilitar la distribución parcelaria, la gestión de las grandes obras de infraestructura y la fiscalidad.

Bajo Augusto, aprovechando el largo período de paz, se mejora el eje viario Pirineos-Cádiz con la construcción de la vía Augusta. Hacia el año 9 a.C., se amplía la red viaria de tal manera que su trazado, prácticamente no va a sufrir modificaciones importante hasta la Baja Edad Media y, en muchos casos, hasta el finales del siglo XVIII.

Además de la Vía Augusta, considerada como la arteria principal, a partir de algunos puntos se desdobla. Destacaban las vías secundarias como: la que comunicaba Tarragona con Zaragoza y Huesca por Lleida, *la Strata Ceretana*, que unía *Ruscino* (Perpinyà) a *Lleida por Iulía libica* (actual Llívia) y la de Barcelona a Vic por *Arrogones*.

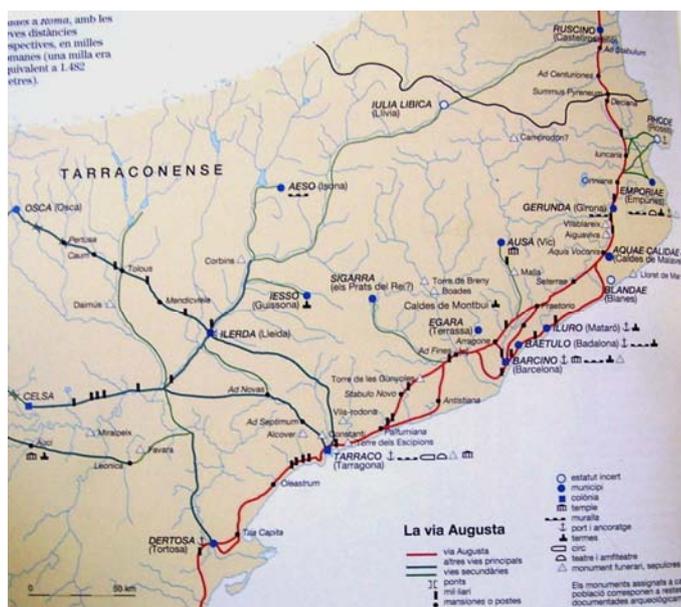


Figura H1 – Vías romanas: la vía Augusta

¹ Blázquez, J.M. et al. Historia de España antigua, vol 2: Hispania Romana, Madrid, 1978.

2. El declive del imperio romano

Después de la división del Imperio Romano realizada por el emperador Teodosio I (379-395) entre sus dos hijos Arcadio y Honorio, el de Occidente quedó formado por Hispania, Italia, Galia, Gran Bretaña, el Magret y las costas de Libia.

Con las invasiones de los Visigodos a Italia en el año 402, se inicia el desmoronamiento del imperio.

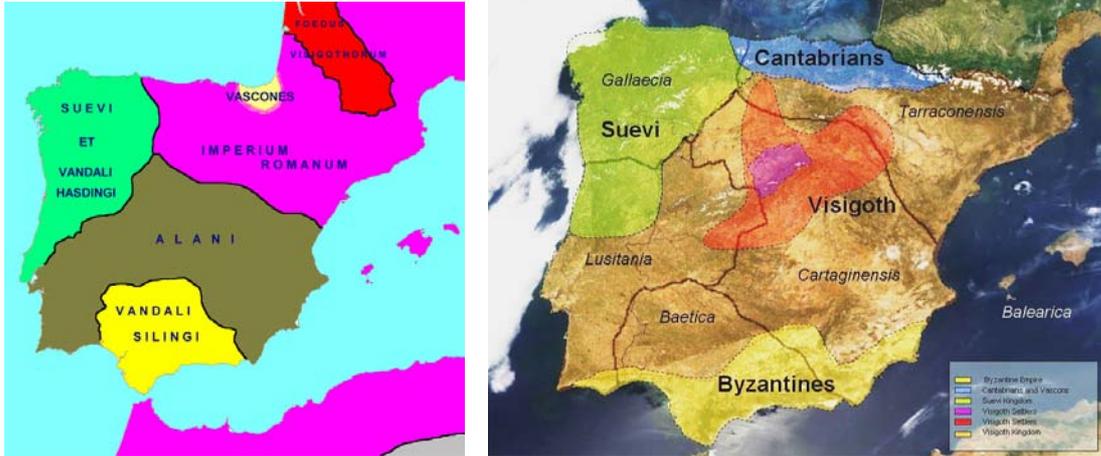


Figura H2 – A la izquierda: distribución de la hacia el año 418.

Figura H3 – A la derecha: distribución de la península a mediados del siglo VI.



Figura H4 – A la derecha: mapa representativo de la división del reino Visigodo.²

La Península Ibérica, desde 411, es invadida por sucesivas oleadas de los pueblos germánicos. Después de estas devastadoras oleadas pasa a ser regida por los monarcas Visigodos desde el 507 al 711 en que la península es invadida por los musulmanes y plenamente ocupada en el año 720.

² Aveni, M. Historia de Catalunya. Salvat, Vol II.

Sin duda una parte de la población del norte de la actual Catalunya, buscó refugio en las montañas del prepirineo y el pirineo.

3. Hechos más destacados que configuran la Catalunya de la Edad Media.

La batalla de *Poitiers*, el 10 de octubre del 732, entre los Francos y un ejército islámico a las órdenes del valí (gobernador) de *Al-Ándalus*, *Abderrahman ibn Abdullah Al Gafiki* cerca de la ciudad de *Tours*, en la actual Francia, frenó la expansión islámica hacia el norte desde la Península Ibérica y es considerada por muchos historiadores como un acontecimiento de importancia macrohistórica, al haber impedido la invasión de Europa por parte de los musulmanes y preservado el cristianismo como la fe dominante durante un periodo en el que el Islam estaba sometiendo los restos de los antiguos imperios romano y persa.

La reacción de los monarcas francos a la expansión musulmana durante el primer tercio del siglo VIII fue contundente desarrollando una línea defensiva al sur de los Pirineos.

Los carolingios intervinieron en el noreste peninsular a finales del siglo VIII, con el apoyo de la población autóctona de las montañas.

Para gobernar estos territorios, los reyes francos designaron condes, unos de origen franco y otros autóctonos, según criterios de eficacia militar en la defensa de las fronteras y de lealtad y fidelidad a la corona.³

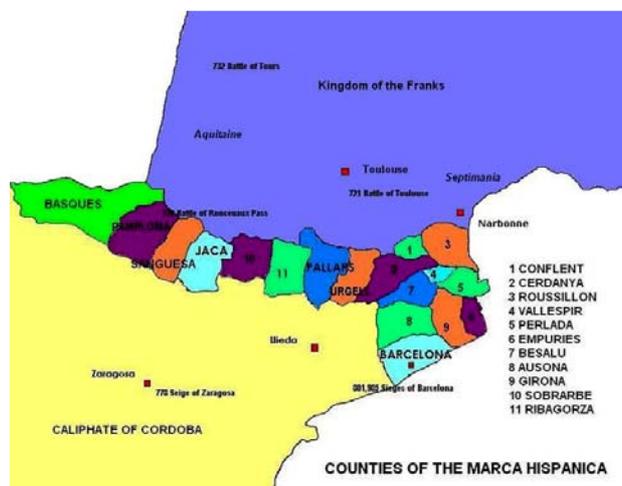


Figura H7 – mapa con todos los condados de la Marca Hispánica y Vasconia.

La dominación franca se hizo efectiva entonces más al sur tras la conquista de Gerona (785) y Barcelona (801). La llamada «Marca Hispánica» quedó integrada por condados dependientes de los monarcas carolingios a principios del siglo IX.

Al comenzar el siglo IX, la frontera en Hispania con el Islam se situaba ya en los ríos Llobregat, Cardener y en la serra del Montsec. La creación de los condados de la Marca Hispánica fue uno de los movimientos de expansión carolingia.

³ De Fluvià, Ar. *Els primitius comtats i vescontats de Catalunya*. 1980 Barcelona

El territorio ganado a los musulmanes se configuró como la Marca Hispánica, en contraposición a la Marca Superior andalusí, que iba de Pamplona hasta Barcelona.



Figura H5 – Marca Hispánica en el año 814.

Los Condes de Barcelona alcanzan a gobernar, en la época carolingia, la *Septimanie* y la Marca Hispánica, territorio que posteriormente se divide en diversos condados.

De todos ellos, los que alcanzaron mayor protagonismo fueron los de Pamplona, constituido en el primer cuarto del siglo IX en reino; Aragón, constituido en condado independiente en 809; Urgel, importante sede episcopal y condado con dinastía propia desde 815; y el condado de Barcelona, que con el tiempo se convirtió en hegemónico sobre sus vecinos, los de Ausona y Girona⁴.

El conde Wilfredo el Belloso, en el 870, recibe del rey de los francos los condados de Urgell y de la Cerdanya y el 878 los condados de Barcelona y Girona, en reconocimiento al apoyo prestado a la monarquía carolingia.

En el Pirineo y Pre-Pirineo había, durante los siglos IX y X, una población muy densa, quizás incluso más densa que en las tierras bajas. Según P. Bonnassie⁵ en Urgell y la Cerdania había más población en los siglos VII y VIII que la que producción agraria era capaz de mantener.

El suelo de estas valles era muy aprovechado, pero la falta de nuevas técnicas de explotación del suelo hacía que el rendimiento fuese muy migrado. El tipo de propiedad más corriente era la pequeña propiedad payesa. Había pero también grandes propietarios, generalmente como los de la baja Antigüedad: condes, monasterios y funcionarios subalternos de los condes. Pequeños pueblos y casas dispersas eran el tipo de población más corriente en las regiones de montaña.

Durante la Alta Edad Media se fundan numerosos monasterios, que además de su importante papel espiritual, se les confía parte de la organización, consolación y colonización del territorio.

⁴ d'Abadal, R. *Catalunya Carolingia*, vol II : *el diplomes carolingis a Catalunya*.

⁵ Bonnassie, Pierre. Premio Catalonia de l'Institut d'Estudis Catalans. Fue una figura fundamental entre los hispanistas franceses.

Las rufas musulmanas a caballo, que periódicamente sufrió el norte peninsular, se sirvieron de las calzadas romanas para sus desplazamientos. Estos ejércitos de verano, muy numerosos en hombres y caballos, se desplazaban a gran velocidad por las carreteras romanas o por los caminos “naturales” si aquellas se habían perdido.

La sociedad de la Alta Edad Media se caracteriza por unas clases dominantes, los nobles y la jerarquía eclesiástica, que explotan al resto de la población, formada básicamente por los *payees* mediante las rentas agrícolas, servicios en trabajo y de especies. A partir de medianos del siglo XI con la extensión del régimen feudal, las condiciones se endurecen todavía más: los señores diversifican las cargas y multiplican los servicios y las obligaciones.

La colonización de la tierra se hizo por el sistema de aprisionamiento: el payés, al llegar, cortaba los árboles y la maleza, se ponía a hacer fructificar la tierra y constituía un pequeño alud familiar. Paralelamente existían los grandes dominios o villas que pronto organizarán su defensa. En las grandes propiedades predominan las tenencias (masías) dejadas a familias payesas con tal de que las cultiven.

Durante la época romana es necesario el transporte de grandes cargas a lo largo de todas las vías del Imperio. Durante la Edad Media, este contexto cambia sustancialmente.

Las necesidades de transporte y comercio de los atomizados reinos de la Edad Media posteriores no requerían ni siquiera de las ya deterioradas vías romanas que aún seguían disfrutando.

La corona de Aragón

El enlace matrimonial entre el conde de Barcelona, Ramón Berenguer IV, y Peronela, hija del rey Ramiro II de Aragón, daba paso 1137, a la creación de la Corona de Aragón con una organización política comun a las dos entidades que se unían. La Corona de Aragón respeta siempre las particularidades de todos y cada uno de los países que con el tiempo llega a reunir, creando una autentica confederación de estado gobernados por un solo monarca.⁶

La expansión por *Occitanie* emprendida por los condes catalanes, en especial los de Barcelona, se basó en la compra de derechos y vínculos feudales complementada con una política de matrimonios. El resultado fue una expansión territorial al norte de los pirineos y, como resultado negativo, un enfrentamiento con los intereses de la Casa de Tolosa⁷, que finalizaron con el vasallaje de los condes de Tolosa a la Corona de Aragón.

La casa condal de Barcelona con intereses e influencia en el Languedoc, se encuentra inmersa en la cruzada contra los Albigenses, decretada por el Papa Inocencio III en 1209. La intervención catalana-aragonesa, finalizó con la muerte del rey Pere I en la batalla de Muret en 1213, con la que se inicia una progresiva pérdida de los territorios bajo dominio catalán al norte de los pirineos⁸

⁶ Vilar, Pierre, Historia de Catalunya. Vol II Mapa 52.

⁷ Salrach, j.m. *Historia dels Països Catalans*, vol I, Barcelona 1981, pp 252,256

⁸ AHC, pag 279. Griffe, M&J Les Cathares-Cronologie de 1022 a 1321, Niza 1991.pp 1, 5

Las peregrinaciones a Compostela

Durante la Edad Media aflora el sentido religioso, penitencial y guerreros por la recuperación los Santos Lugares de todos los pueblos de Europa.⁹

Al finalizar el siglo XI, toda Europa ardía en deseos místico-belicosos de recuperar los Santos Lugares y enfrentarse en guerra abierta contra los sarracenos. Los cruzados marchaban a Oriente y algunos venían a Occidente, a España, donde, desde hacia siglos, se entablaba ya una guerra de religión. En cierto modo, había un total paralelismo entre Jerusalén y Compostela, ambas metas de las principales peregrinaciones, ambas ideal cristiano frente al infiel.

Al comienzo del siglo XII, las gentes podían acudir a santuarios relativamente próximos a su domicilio, pero los más importantes estaban en: Roma, Jerusalén y Santiago de Compostela.

Los viajeros eran los peregrinos que acudían a riadas a postrarse ante la tumba del Apóstol. A principios del siglo XII, la peregrinación jacobea se encontraba en pleno auge y aún se mantendrá durante un par de centurias más. Los expertos han querido evaluar su número con exactitud.¹⁰

En el año 800 era ya una realidad, aceptada por todos, el que España fuese una tierra evangelizada por el apóstol Santiago el Mayor, el lugar de enterramiento de éste todavía no se situaba en el territorio peninsular. En el año 834, según consta en una copia tardía (siglo XII) de un diploma de de Alfonso II (791-842), el monarca tuvo conocimiento del hallazgo del sepulcro de Santiago, acudiendo con los notables de su corte para venerarlo como patrono y señor de España. Dispuso el monarca que se construyese en aquel lugar sagrado una basílica para el culto jacobeo.¹¹

Al peligrar las peregrinaciones a Jerusalén y a Roma, con motivo de las grandes distancias y de las Cruzadas, la orden de Cluny activa y favorece las peregrinaciones a Santiago de Compostela.

De todos los puntos cardinales acudían al Finisterre de Galicia, donde estaba enterrado uno de los discípulos de Cristo, peregrino como ellos mismos, y sobretodo, la última esperanza para unos hombres necesitados de ser confortados material o espiritualmente.¹²

Afluyen peregrinos de toda Europa hasta llegar a la falda norte de los Pirineos. Los que proceden de la costa mediterránea, siguen el curso del río *Tec*, por la zona de Toulouse y Albí, hasta llegar a las zonas por donde cruzaban los pirineos.

Las peregrinaciones mueven a centenares de personas, que transitan por los caminos de Europa. El Centro de Estudios Compostelanos de París cifra entre 200.000 y 500.000 peregrinos los que anualmente transitan por los caminos europeos.¹³

Noguera Massa detalla el recorrido de cuatro caminos desde el sur de Francia por la falda norte de los pirineos y los que, una vez atravesada la cordillera pirenaica, por Roncesvalles y por el puerto de Somport se dirigen camino de Compostela.

⁹ Las cruzadas, por frenar el avance el peligro Islamico y para proteger y recuperar los Santos Lugares, fueron ocho, se iniciaron en el año 1095 por el Papa Urbano II y se mantuvieron hasta el 1270.

¹⁰ Noguera i Massa, A. *El peregrinatge medieval al nord-est català*

¹¹ Cfr. Isidoro G. Bango Torviso, *El camino de Santiago*, Madrid 1993, p.13

¹² Noguera i Masa, A Ob. Cit.

¹³ Noguera i Masa, A Ob. Cit.

Esta situación perdura hasta la época en la que se extiende la Herejía Albigense, que radica en la ciudad de Albí. Los reyes aragoneses, tienen jurisdicción en toda la zona del norte del Pirineo, que engloba la conflictiva zona donde se va a desarrollar la citada herejía.

En el período comprendido entre 1160 y 1240, la zona se convierte en lucha continúa. El resultado se traduce en que el tránsito de las peregrinaciones se interrumpe por la zona del conflicto, y se desvía hacia el interior de la Península Ibérica, siguiendo diversos caminos en ruta hacia Compostela

El peregrinaje lleva consigo la construcción de una infraestructura donde el peregrino pueda resguardarse, curar sus heridas y enfermedades y ser enterrado en el caso de que falleciera por el camino. Estas obras de infraestructura, además de los establecimientos citados, se ponen de manifiesto en los caminos y en las obras para cruzar los ríos.

Los caminos medievales siguen básicamente la red de la época romana. Las vías se adaptan a las nuevas necesidades, y algunas veces, reciben nombres en función de la realidad política o comercial del momento.

Los caminos que se dirigen a las tierras de los francos desde la época carolingia se denominaban "*vías francisques*". Los caminos que se dirigían a las minas de sal de Cardona se denominaban "*vías cardonenses*", otros caminos fueron denominados "*vías de los moros*" o "*vías de los mercaderes*".

Una de las características de la Baja Edad Media fue el cambio demográfico provocado por una serie de calamidades encadenadas, como malas cosechas, hambre y epidemias, entre las que destaca la peste negra de 1348. Las consecuencias principales fueron el estancamiento del crecimiento urbano y la despoblación del campo, la mitad de las fincas (*mansos*) fueron abandonadas. Es necesario llegar a los siglos XVI y XVII para que sólo algunas de estas fincas vuelvan a ser habitadas.

Los pactos de Ramón Berenguer I (1023- 1076) cuando cedió la potestad de los castillos a los señores feudales, dejaron a los *pageses* en una situación prácticamente de servitud.

Los *pagesos*¹⁴ y su familia dependían del señor al que estaban adscritos. Debían realizar servicios personales al señor, (sembrar, labrar, recoger) además debían pagarle censos fijos y entregarle parte de sus cosechas.

Los denominados "*pagesos de remensa*", eran cultivadores de tierras ajenas adscritos a ellas de modo forzoso y hereditario. Jurídicamente, eran hombres libres, pero esta libertad estaba limitada por los vínculos que les unían a la tierra que trabajaban y, a través de ella, al señor.¹⁵ Para librarse de la adscripción a la tierra debían satisfacer la "*remença*".

Los *pagesos* debían hacer homenaje al señor y pagarle los derechos feudales. Quedaban libres de los malos usos, conservaban el dominio útil de la finca y pasaban a ser gentes libres.

¹⁴ *Pagesos*, nombre de los agricultores en *Catalunya*.

¹⁵ *Remensa*, del latín *redimentia*, se designaba en *Catalunya*, en la Edad Media, el pago que en concepto de rescate habían de entregar los *pagesos* a su señor para abandonar la tierra. Vilar, P, *Catalunya dins l'Espanya Moderna*, Barcelona 1968 vol II, p 153

El proceso de “*remeça*” dura más de cuatro siglos. Las revueltas de los *pagesos* para librarse de esta situación tienen una fecha clave 1462, coincidiendo con la guerra civil y no se logra la abolición ni de las servidumbres ni de los malos usos.

La Guerra de *los Remensas* fue una revuelta popular contra las presiones señoriales que comenzó en Cataluña en 1460 y terminó una década después sin un resultado definitivo. Fernando II finalizó el conflicto con la Sentencia Arbitral de Guadalupe en 1486 que reglamentaría las relaciones jurídicas y sociales del campo catalán.¹⁶

La Peste Negra, por otro lado, será una inmensa catástrofe demográfica y económica, origen de una larga, imposible de reparar, crisis económica. Por encima de todo estará el empujón de la dirección elegida por los reyes.¹⁷

4. Hechos históricos más destacados de la época moderna en Catalunya

El crecimiento de la actividad económica de los siglos XI al XIII, se detiene delante de la crisis de los siglos XIV y XV que en conjunto suponen una pérdida importante de población. La Catalunya Bajo Medieval sigue una clara tendencia hacia la agrupación urbana y al desarrollo de sistemas económicos más complejos.

Durante el siglo XIV la organización territorial en *Vegueries*, permite incluir todo el país dentro de una única red de demarcaciones administrativas de titularidad real, bastante eficaz que llega hasta principios del siglo XVIII.¹⁸

Durante los siglos XIV y XV la población de Catalunya había disminuido mucho, la mortandad había sido catastrófica. Durante los dos siglos siguientes se resiente el crecimiento natural de la población, la densidad de población era muy baja (7 habitantes /km² en 1497 y 8,4 en 1533), de forma que habían zona prácticamente semidesiertas.

Hacia el año 1600 la Catalunya moderna había heredado un territorio fraccionado por administraciones y jurisdicciones que se confundían entre las comarcas naturales. Era un país con demografía baja, una economía estancada, pero donde también se percibían indicios de transformaciones.

Durante los siglos XVI y XVII el comercio catalán experimenta una profunda transformación respecto a la época medieval. El aumento productivo del país, el progresivo desplazamiento del comercio con los pueblos del mediterráneo a favor del del atlántico derivado de la colonización de América, activa el comercio entre los pequeños puertos del Maresme y la Selva, fundamentalmente con el puerto de Valencia.

Entre 1503 y 1703 llegaron al Puerto del Grau de Valencia 800 navíos procedentes de Sant Feliu de Guíxols, 800 de Tossa, 750 de Lloret y 700 de Blanes. En total nada más durante el siglo XVII un mínimo de 1700 navíos procedentes de estos cuatro puertos descargaron en el Grao, mientras que del resto de puertos de catalanes lo hicieron 1250 navíos.

¹⁶ Camps i Arboix, J. *La reivindicación social dels remences*, Barcelona, 1960, pp 31-36

¹⁷ Sobrequés, J. “La peste negra en la Península Ibérica” *Anuario de Estudios medievales*, nº 7 Barcelona 1971-1972 pp 67-101

¹⁸ Sabaté, F. *El vaguer a Catalunya. Anàlisi del funcionament de la jurisdicció reial al segle XIV*.

La manufactura textil y el trabajo de la piel y del hierro, construyen las actividades industriales características de las ciudades catalanas.

Durante la Edad Media, y los siglos XVI a XVIII, una industria tradicional en las cuencas altas del Ter, del Llierca (afluente del *Fluvià*) y de la Muga: es la *farga*. La *farga* era un establecimiento donde partiendo del mineral de hierro se extraía y trabajaba el hierro. Se localizaban en las zonas donde se encontraban los elementos que requería el proceso: minerales ferruginosos, zonas extensas de bosques de donde se podrían proveerse de carbón para fundir el mineral y cursos de agua para aprovechar la energía hidráulica, que permitía accionar el sistema de soplado de la fragua y los martillos para obtener las piezas forjadas.

Estos establecimientos necesitaban de una infraestructura mínima, pero importante, para el transporte de materias primas y también para la salida de sus productos. La construcción de algunos de los puentes que estudiamos, esta influenciada, sin duda, como una necesidad para este tipo de establecimientos.

Dentro del marco de la Guerra de los 30 años, que se había iniciado en 1618, deben situarse los conflictos en Catalunya conocidos como la “*Guerra dels Segadors*” revuelta catalana de 1640, como consecuencia del alojamiento de las tropas del rey que debían soportar los *pagesos*. Por otra parte, hay una revolución política de las instituciones catalanas ante los intentos unificadores de la monarquía de España, que lleva a la separación de Catalunya en 1641.¹⁹

La muerte, sin descendencia, de Carlos II provoca un conflicto internacional en Europa. Había nombrado sucesor a Felipe de Anjou, nieto del rey de Francia Luís XIV, hecho que provoca la oposición de Austria, Inglaterra y Holanda que pretende que la sucesión sea a favor del Archiduque Carlos de Austria. Los antiguos reinos de Aragón y Catalunya se alían con la confederación europea en contra de los ejércitos de España y Francia.

Por los tratados de Utrecht 1713 y Rastatt 1714, los aliados se retiran dejando solos a los catalanes. Derrotados, el Rey Felipe V deroga los fueros catalanes y la desaparición del Estat Català: La Generalitat y el Consell de Cent y la implantación de una nueva administración definida por el real decreto de Nueva Planta.²⁰

Durante el siglo XVIII, la libertad de comercio a los puertos españoles de la periferia con América, significará el inicio de su despegue y crecimiento impensable con las posibilidades del desarrollo de la modernización de la industria textil catalana gracias a las plusvalías del comercio con las colonias. La población de Catalunya prácticamente se duplica.

Uno de los aspectos fundamentales de aquella expansión económica, fue la posibilidad de movimientos, las facilidades para poder negociar personas y mercancías desde los centros de producción a los mercados. En toda Catalunya solo se podía circular en carro por antiguas vías romanas que unían Barcelona con Francia y a Lleida por Cervera y a Tarragona por Valencia. El resto de transporte debía hacerse a lomos de mulas. La implantación del correo de postas implica la modernización de la red básica de comunicaciones reforzando la estructura radial de las carreteras con centro en Madrid, que en el siglo XIX con los ferrocarriles acabará estructurándose definitivamente.

¹⁹ Serra,E. “*Resistència de Catalunya i decadència castellana: la guerra de separación, Història Salvat de Catalunya*, Vol IV, Barcelona, 1978, pp 96-101.

²⁰ Mercader,J. FelipeV i Catalunya, Barcelona,1968

Evolución del estado del conocimiento
sobre los
puentes arco de obra de fábrica

Introducción

Repetimos el argumento con que se inicia el capítulo sobre materiales: con el deseo de llegar a un público mayoritario que quizás pueda tener pocos conocimientos sobre construcción y quizás menos sobre construcción de puentes de obra de fábrica, iniciamos esta revisión del estado del arte con un ejemplo muy elemental sobre el que intentamos relacionar con la evolución de esta técnica constructiva desde los inicios hasta el siglo XVIII. Rogamos pues disculpas a los especialistas ya que les puede resultar excesivamente elementales, pero incidiendo en nuestro deseo de llegar también a otros titulados que pueden trabajar con ríos, y con las obras hidráulicas y que en sus planes de estudios no figuran: Conocimientos y Resistencias de materiales, Construcción, Estructuras. Hidráulica etc

1. Mecánica del arco

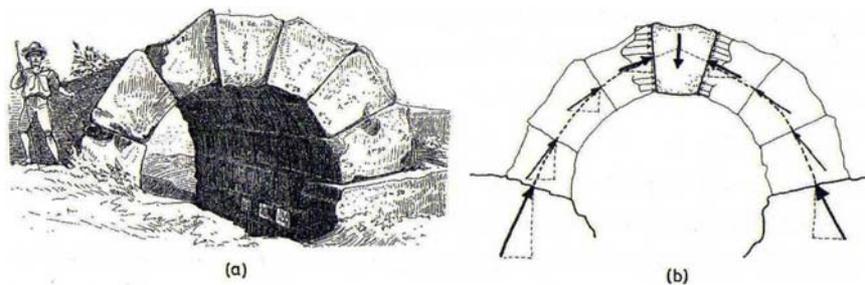


Imagen 1 El arco etrusco de dovelas¹

Las piezas de piedra han sido trabajadas en sus caras laterales para darles una forma de cuña (dovelas) se han montado sobre un semicírculo de madera (cimbra). Una colocada la superior (clave) bien ajustada a las laterales mediante golpes, se ha retirado la cimbra. Como el peso de cada dovela es la fuerza con la que es atraída por el efecto de la gravedad,

El vector peso se descompone en sus dos componentes: que tienden a verticales a llevar la dovela hacia abajo y la horizontal que tiende a que las caras laterales entre dovelas se junten como consecuencia del empuje de una sobre las laterales. El efecto resultante es el equilibrio del arco de piedras que se mantienen en el aire debido a su forma. Los empujes se transmiten hasta llegar a zona donde las primeras dovelas laterales se apoyan en el suelo. Los puntos de aplicación de los esfuerzos de compresión o empujes forman parte de la trayectoria de presiones o empujes que se forma desde la dovela de la clave hasta llegar al suelo.

En la imagen 2 corresponde a la representación de la línea de empujes como el lugar geométrico del punto de paso de la resultante por un sistema de planos de corte dados, que pueden corresponder a juntas reales o imaginarios. Moseley llamo a esta curva línea de reacciones y a su envolvente, que define la dirección de los empujes, línea de presiones²

¹ Huertas, S. Arcos, bóvedas y cúpulas.

² Huertas, S. Arcos, bóvedas y cúpulas.

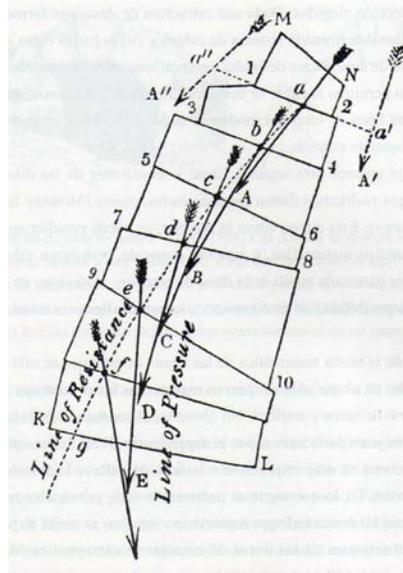


Imagen 2. Formación de la línea de presiones según Moseley³

2. Descripción de los componentes del puente arco de obra de fábrica

Los puentes de arcos de obra de fábrica están constituidos básicamente por uno o varios arcos a los que se añaden otros los elementos estructurales con los que se logran su estabilidad y utilidad como obras de paso.

El arco es el elemento resistente por excelencia.

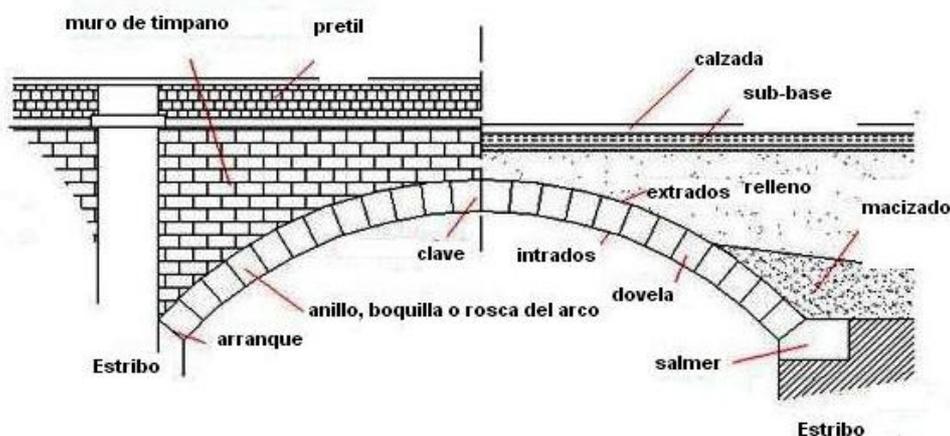


Imagen 3. Perspectiva y secciones de un arco de puente de obra de fábrica⁴

El arco se puede materializar mediante bloques de material pétreo en forma de cuña llamados dovelas, estas mantienen una disposición simétrica respecto de una dovela central llamada clave. Las dovelas visibles en el paramento del arco forman la boquilla.

Los extremos del arco o de la vuelta, descansan sobre **los estribos**, que cumplen la misión de impedir el desplazamiento horizontal del arco. Los bloques en los estribos sobre los cuales descansan las últimas dovelas se denominan **salmeres** y la superficie entre la última dovela y el salmer se llama **arranque**.

³ Moseley, (1843)

⁴ Martín –Caro. Tesis doctoral

El punto más elevado del arco, se llama **clave** y las secciones más bajas se conocen con el nombre de **riñones**. La línea superior del contorno del arco es el **extradós** y la inferior, el **intradós**.

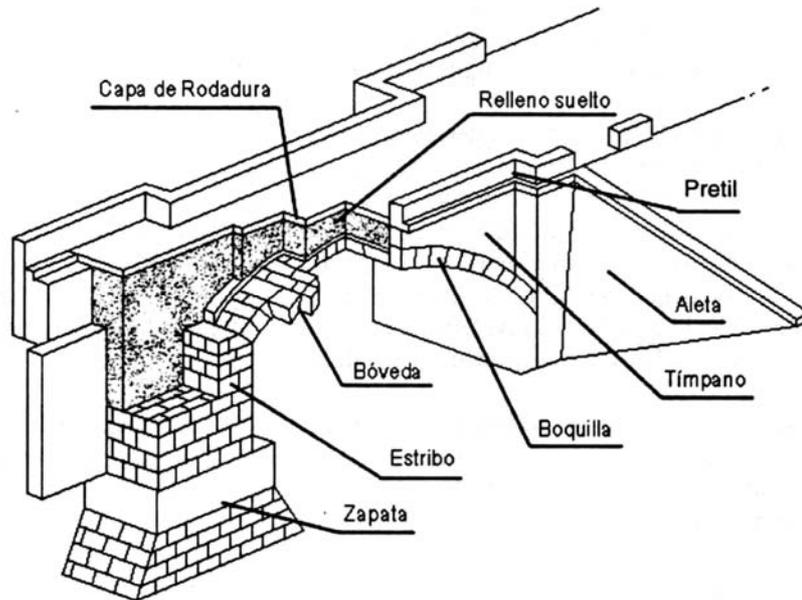


Imagen 4. Perspectiva de un arco con los nombres de los elementos⁵

Con el fin de poder transitar sobre los arcos, sobre ellos se coloca un **relleno** de naturaleza arenosa, que permite finalizar en altura con sub-base y sobre ella la capa de rodadura, formando una superficie sobre la que se puede transitar con facilidad.

Para retener el relleno se hace necesario levantar los **muros de tímpanos** que descansando en la **boquilla del arco** se elevan perpendiculares a ella. Hasta alcanzar el plano de la **rasante** que contiene el **tablero, calzada o capa de rodadura**.

Sobre los muros de tímpanos se alzan los elementos de protección ante posibles colisiones de los vehículos y viandantes: los **pretils**, que se finalizan con la **albardilla** de coronación.

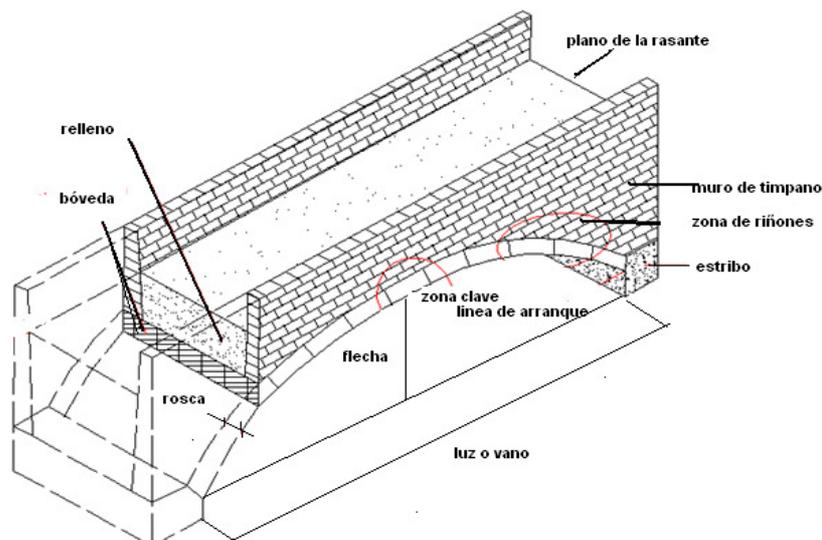


Imagen 5. Nomenclatura de los elementos de la bóveda de arco de fábrica⁶

⁵ Martín –Caro. Tesis doctoral

El relleno queda retenido inferiormente por la **rosca del arco** y lateralmente, por los tímpanos. Normalmente acostumbra a ser de un material granular que facilita el drenaje del puente y evita una acumulación inadecuada de agua que provocaría un aumento de la sobrecarga del puente y el deterioro progresivo de la bóveda. Puede tener un grado de resistencia elevado, atendiendo a la composición y la compactación durante los años de servicio.

Actúa repartiendo la carga sobre **la vuelta** y, a más, juntamente con los tímpanos, crea un efecto estabilizador bajo el arco mediante la introducción de fuerzas horizontales en la parte no cargada (empuje pasivo).

El relleno⁷ tiene tres funciones:

- transmitir y distribuir las cargas de uso sobre la bóveda.
- estabilizar la bóveda aportando peso propio (aumentando el empuje axial de compresión de la bóveda).
- coaccionar las deformaciones del arco desarrollando tanto el empuje pasivo en las zonas donde el arco profundiza (zona no cargada del arco) como el empuje activo en las zonas donde se da el proceso contrario, esto es, donde el relleno empuja el arco (zona bajo carga).

Los muros de tímpanos dan rigidez al arco en la boquilla y representan un refuerzo importante sobre toda la vuelta, de manera que esta trabaja como una biga de gran canto.

Se denominan **aletas** los muros, normalmente de altura decreciente que se sitúan al final del plano que contiene a tímpanos. Las **aletas**, cumplen tres misiones: retienen el relleno, limitan los posibles movimientos de los tímpanos en su plano y hacen de muros de contención de una parte de los terraplenes de acceso al puente.

Los **cimientos** son los encargados de transmitir al terreno las cargas del peso propio de la estructura del puente y de las cargas que transitan por el.

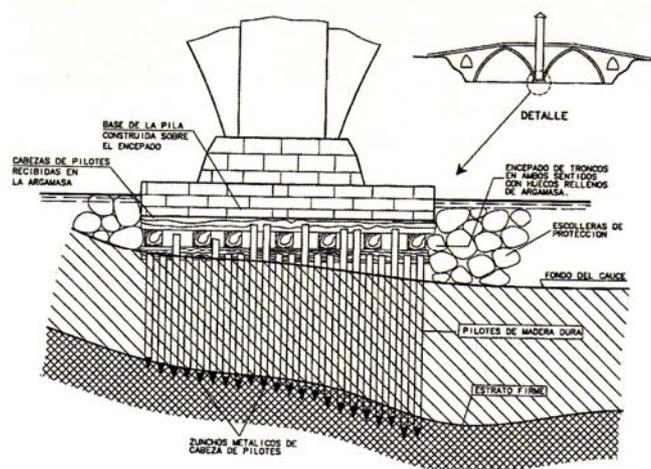


Imagen 6. Esquema de cimentación de pila de puente mediante pilotes de madera hincados⁸

⁶ Serna Garcia-Conde, J. (2001) Tesina especialidad. ETSECCPB.

⁷ Hughes et al: (1997)

⁸ Arenas de Pablo, j.j. Caminos en el aire: Los puentes

Generalmente, los cimientos de los puentes construidos en la Edad media, son poco profundos. Se profundiza en el terreno hasta que se encontraba material sólido, en caso de no encontrarlo se hacían servir **pilotes de madera**, clavados en terreno firme no visible. Se formaba una parrilla de pilones de madera sobre la que más tarde se cimentaban las pilas.

Para profundizar en terrenos donde el **nivel freático** era superficial o se encontraba a poca profundidad, se utilizaban **recintos estancos**, con **medios para achicar** el agua, para conseguir una zona seca donde poder trabajar y poder disponer de una superficie estable sobre la que levantaban los cimientos.

Los cimientos representan el **punto débil** más importante de este tipo de estructuras, son los elementos que **sufren el efecto de la erosión** o bien los **movimientos por desplazamiento, descompresión o colapso del terreno** y que, por tanto, provocan daños en la estructura del puente.

Las pilas se encargan de transmitir al cimiento, y através de este al terreno, la resultante de las cargas verticales debidas al peso propio y a las generadas por las cargas que transitan por el puente. Se solían construir de **doble hoja** empleando **sillería** como revestimiento **llenando la cavidad interior** un conjunto compactado de piedras, cascotes y mortero.

En los inicios de la construcción de los puentes arco, los arcos se construían de uno en uno de forma que cada pila debía ser lo suficientemente gruesa para poder soportar el empuje horizontal del arco construido ya que no contaban con el empuje opuesto del siguiente que aun debía construirse. Por este motivo que en la época romana y medieval **se dimensionaban con relaciones de hasta 1/3 de la luz a salvar**. Posteriormente, a partir de Perronet, en el siglo XVIII, la construcción de puentes ya se empezó a hacer con diversos abanicos a la vez, la cual cosa permitía construir pilas más esbeltas.

Es necesario recordar que la función resistente del arco, con frecuencia se complementa y refuerza por el efecto el relleno rígido formado por sillares, mampuestos o castotes compactado con mortero en la **zona de los riñones** (en la imagen 3 lo identificamos como "**macizado**").

3. Caracterización de los arcos en función del material y la forma con el que se construye

3.1. En función del tipo de material :

3.1.1 **Arco de piedra:** El arco de piedra puede ser piedra trabajada en cuatro caras, de mampostería trabajada e incluso, de mampostería cualquiera.

El **canto de la rosca** a menudo no coincide con el canto más visible en la cara externa del puente (frente del arco o boquilla). A más, el **canto de las dovelas** puede ser variable de tal forma que podía ir creciendo desde la clave hasta el arranque.

3.1.2 **Arco de mahón:** En los arcos de mahón, los **ladrillos** sustituye a las dovelas de piedra. Pueden ser construidos con dos técnicas diferentes según si se trata de arcos pequeños o de arcos de luces importantes.

Si los arcos son de **pequeña luz**, puede ser suficiente un único anillo de mahones dispuestos a sardinel⁹.

Los arcos de **luzes importantes**, el canto de la rosca está limitado por el canto del mahón, lo que puede ser insuficiente, en estos casos el arco se construye con más de una **rosca concéntrica** de mahones, de forma que el **mortero** es el único vínculo de unión entre ellos.

Esta técnica permitía el ahorro en **cintras**, ya que se podía emplear una muy ligera solo para soportar el peso de la primera rosca. Después la primera rosca hacía la función de cintra de la rosca siguiente.

3.2. En función de la forma :

Arco de medio punto: es aquel en que la relación entre la flecha y la luz es de 1/2.

Arco escarzano: está formado por un segmento circular menor que el corresponde a una semicircunferencia.

Arco apuntado: está constituido por dos arcos de circunferencias de igual radio, menores de 1/4 de circunferencia y no tangentes a la clave.

Arco carpanel: está formado por diversos arcos de circunferencia acordados tangencialmente entre sí.

Arco parabólico: su directriz tiene el desarrollo de una parábola.

Arco elíptico: su directriz forma una semi elíptica con el eje mayor cubriendo el vano.

Arcos circulares trazados con varios centros.

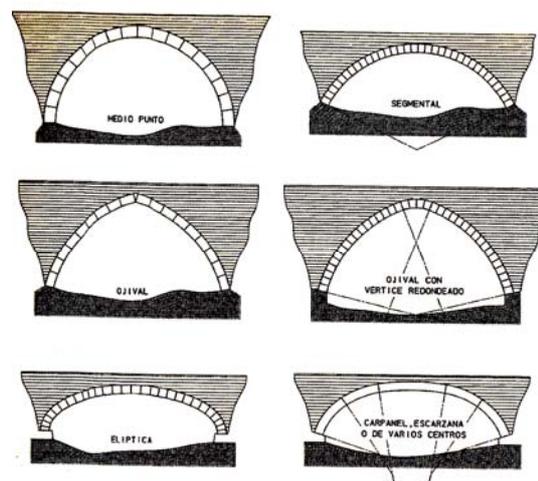


Imagen 7. Formas de arcos de piedra utilizados a lo largo de las diferentes épocas históricas¹⁰

⁹ Ver capítulo quinto. 2.3.1 Disposición de las piezas en un aparejo de obra de fábrica.

¹⁰ Arenas de Pablo, j.j. Caminos en el aire: Los puentes

4. Evolución del estado del conocimiento sobre la construcción de puentes

4.1. Teoría pre - científica¹¹

En Mesopotámica hacia el año **4.000 a. C.** se comienzan a utilizar el adobe o ladrillos secados al sol. En Egipto algunos siglos después, se emplearon los ladrillos cocidos para la construcción de arcos y bóvedas. Alrededor del año **3000 a.C.** los egipcios emplearon las piedras labradas. Mucho después los etruscos se cree que dominaban el arte de tallar sillares en forma de cuña, dovelas y su aparejo para formar arcos y bóvedas. Con esta técnica asimilada por los romanos durante la expansión de su imperio y entorno al año **500 a.C.** se construyeron puentes de fábrica de gran luz.

700 a.C., el libro de **Ezequiel¹²**. En los capítulos 40,41y 42, explica una disposición sencilla y ordenada de reglas para construir edificios. El examen de cada una de las reglas permite descubrir cierto trabajo de elaboración y ordenación de posibles documentos preexistentes.

Los constructores tenían en las reglas de Ezequiel el medio con el que podía replantear un edificio en la antigüedad. La base de la medición se realizaba con la ayuda de una “*Pértiga*” de seis codos de longitud, subdividida en palmos, divididos a su vez en dedos. Con su empleo y aplicando las reglas, se podían dimensionar las diferentes elementos de un edificio.

Para una mentalidad científica moderna resulta difícil creer que con reglas numéricas como las de Ezequiel se pudieran realizar satisfactoriamente grandes edificios. Las reglas eran en esencia reglas de proporciones, sin ninguna escala absoluta. No obstante, es un hecho que los templos griegos han sobrevivido desde la época de Ezequiel, y la mera evidencia de esta supervivencia es un poderoso argumento de que las reglas numéricas para construcciones de fábrica son correctas.

100.a.C. Seis siglos después de Ezequiel, Marco Lucio **Vitruvio¹³**, técnico militar que sirvió a las ordenes de Julio Cesar, escribió el *Ordinatio*, enunciando los principios sobre la teoría de la arquitectura. En este escrito, Vitruvio se refiere a un elemento básico de medición que denomina la “*Gran Medida*”, unidad de longitud dividida en módulos, que emplea como base para elaborar su teoría sobre las proporciones y definir las dimensiones que debe guardar un edificio. Parece evidente, por su semejanza, que la “*Gran Medida*” de Vitruvio, es la “*Pértiga*” a que se refiere Ezequiel para el replanteo de edificios.

Según Vitruvio, los muros de debían descargar por medio de arcos compuestos por dovelas cuyas juntas deben converger hacia su centro. Casi todos los arcos romanos eran semicirculares, y las juntas entre los sillares convergían siempre en el centro del círculo. El termino de cimbra posiblemente derivado de centro, se aplico para denominar el armazón auxiliar necesario para sujetar el arco mientras se construye.

La recopilación realizada por Vitruvio de los textos más antiguos, modulados por su propia experiencia, se convirtió durante siglos en el manual de construcción que fue leído durante todo el periodo medieval en las escuelas monásticas y por las logias de canteros.

¹¹ Heyman, J. La ciencia de las estructuras

¹² Libro de Ezequiel. Libros de los profetas. Sagrada Biblia

¹³ Vitruvio Polión, ML.: Los diez libros de Arquitectura

La **scientia**¹⁴ (ciencia) medieval de la construcción implicaba erudición y aprendizaje, un conocimiento adquirido por la práctica y el estudio de la construcción. Este conocimiento o teoría, era registrado y podía utilizarse en el proyecto de nuevas construcciones. El efecto recogido en un conjunto de reglas de construcción, (la teoría) indicaba la forma de como un buen proyecto había sido realizado en el pasado.

Las grandes obras se realizaron, no solo, con la *scientia*, sino además, con el trabajo de un maestro de obras con largos años de estudio.

1235, Villard de Honnecourt¹⁵. Escribe un tratado sobre edificios y máquinas, su obra está unida a la de Vitruvio, expone reglas geométricas de construcción. Describe la norma de trazar los arcos apuntados al tercio, cuarto y quinto numerados como presumiblemente se hacía en el siglo XIII.

Es a partir del Renacimiento cuando las profesiones del arquitecto y del ingeniero empiezan a separarse, ambas nacen del gótico, pero el arquitecto se concentra en las reglas de proporciones comprendidas en la teoría, mientras que el ingeniero empieza a explorar las reglas científicas contenidas en la práctica de la construcción.

Las logias no miraban con buenos ojos, la exploración de las reglas, se resistían a las nuevas teorías.

La práctica y la teoría de la construcción de puentes adquirió en Roma el rango de institución religiosa: el *Collegium Pontifices*, donde se recogía la teoría y la práctica de la construcción de puentes.

En el siglo XII los *Freeres Pontificos Benedictinos* continuaron la labor de construcción de puentes. Tanto los secretos de los maestros canteros como los de los constructores de puentes sobrevivieron al oscuro periodo de la Edad Media. Hay referencia de que Meter, capellán de *St Mary en Colechurch*, comenzó a construir el primer puente de piedra de Londres en 1176

Desde la época de **Vitruvio hasta la de Alberti**, no se introducen cambios significativos en los componentes estructurales del puente de obra de fábrica, excepto la clasificación de los arcos en función de su forma, que se limitaron a los de medio punto y apuntados,

4.2. La época moderna

1435, León Baptista Alberti¹⁶. Publica "*Los 10 libros de arquitectura*". Es el primer autor que establece las reglas que deben seguirse para asegurar la estabilidad constructiva de un puente.

Considera que el arco de medio punto es el ideal, también que cuando la situación lo exija, se pueden construir arcos rebajados y apuntados, pero sin dejar de advertir, que en estos casos, deberán reforzarse los estribos y la necesidad de macizar la zona de los riñones.

Indica que en las dovelas se deben construir de gran tamaño, iguales entre sí. Que las juntas entre dovelas sean perpendiculares a la línea del extradós. Que el canto de la dovela tenga una dimensión igual a un décimo de la luz del arco, y que en casos notables se puede reducir este valor a una quinceava parte, pero que nunca deben ser menores de 30 centímetros.

¹⁴ Heyman, J. Obr. citada

¹⁵ Heyman, J. Obr. citada

¹⁶ Alberti, L.B. (1486): Los diez libros de Arquitectura

Las reglas de Alberti afectan a todos los aspectos fundamentales de la geometría del puente, con ellas se puede dibujar la sección de un puente ideal¹⁷.

Propone reglas sobre el diseño estructural de puentes que constituyen la doctrina oficial sobre puentes hasta mediados del siglo XVIII.

1500, Leonardo da Vinci. Estudios y consideraciones sobre la flexión de vigas y sobre el empuje de arcos.

1570, Palladio. Publica los “*Cuatro Libros de Arquitectura*”. Que no se publican en España hasta en el año 1625. Explica varios modelos de puentes con sus propiedades geométricas fundamentales. Establece las dimensiones de la clave y de las pilas en relación a la luz del arco.

1564, Juanelo Turriano¹⁸. Escribió “Los veintidós libros de los ingenios y las máquinas”. en cinco volúmenes. Describe las reglas estructurales para la construcción de los puentes, trata los arcos de aligeramiento para ahorrar material, y también el procedimiento para descimbrar.

1639 Fray Lorenzo de San Nicolás¹⁹. Escribe el tratado de arquitectura más importante en España del siglo XVII. Contiene diversas reglas y observaciones sobre la construcción de arcos. Dedicó un capítulo a los puentes

4.3. Bases para el análisis moderno de las estructuras

1638, Galileo²⁰. Sentó las bases del moderno análisis de estructuras. En su “*Nuova Ciencia*” se basa más en la mecánica racional que en reglas geométricas empíricas de los tiempos antiguos y medievales. De esta forma, al considerar el análisis de la resistencia de una estructura, marcó el final de las teorías medievales sobre la construcción. Estudió la resistencia de la viga en voladizo.

Durante el periodo del absolutismo en Francia con Luis XIV, 1661 a 1715. Ejerce un despotismo integral basado en una autoridad subjetiva cuyo mecanismo viene determinado por criterios racionalistas.²¹

Durante este periodo Francia mejora respecto al resto de los otros países en cuanto al desarrollo de la construcción y la organización de la administración. El ministro **Vauban** (1633-1707) revoluciona la técnica de construcción de fortificaciones proyectando bastiones en estrella sin ángulos muertos.

El ministro de economía y finanzas **Colbert** (1619 -1683)²² instaura la primera economía nacional dirigida, con planificación, estadística y contabilidad ordenada. El mercantilismo crea las condiciones financieras indispensables para el desarrollo: aduanas, impuestos directos e indirectos sobre el consumo que sirven para mantener una administración central. El mercantilismo trata de lograr una balanza comercial activa por medio de la exportación. Se suprimen las aduanas interiores, para lograr el programa económico realiza una mejora muy notable en las vías de comunicación: se construyen carreteras, canales y puentes.

¹⁷ Huerta, S. Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España ca.1500 – ca 1800

¹⁸ Huerta, S. Obr. citada

¹⁹ Huerta, S. Obr. citada. *Los discorsi de Galileo*

²⁰ Heyman, J. Obr. citada

²¹ Kinder, H. Atlas histórico mundial Vol I

²² Grupo Rhône Poulenc. *La Métrise total de la Qualité*. Programa de formación interna para cuadros.

Este proceso se manifiesta primeramente en Francia desde la segunda mitad del siglo XVII, bajo la autoridad Colbert que organiza un cuerpo facultativo de ingenieros al servicio de la administración del estado. En un proceso de mayor presencia e intervención, los ingenieros serán los encargados, a partir de entonces, de la redacción de los proyectos, más normalizados y detallados, consiguiendo con ello facilitar el proceso de adjudicación, disminuir el coste y mejorar la calidad de las obras públicas.

El mayor nivel de los conocimientos teóricos impulsados por la creación de estos nuevos cuerpos de facultativos y por las escuelas politécnicas que los formaban, mejoró el conocimiento que se tenía sobre la hidráulica de los ríos y puentes. Se inicia un proceso de toma de datos que apoyado en la estadística comienza a tomar en consideración las mayores crecidas de los últimos quince años, y no solo la última que se tuviese noticia²³. Provocó que la construcción de puentes, como la de canales y caminos, derivase, a lo largo del siglo XVIII, hacia el ámbito de la ingeniería, que se consolidó como un nuevo arte constructivo más especializado.

1675, Hooke. Enuncia la Ley de proporcionalidad de esfuerzos y deformaciones. Estudia la mecánica estructural del arco:

Estos análisis obligaban a que la línea de empujes obtenida, tanto por el peso propio como por la sobrecarga, se mantenga siempre en el canto del arco. Hooke fue el primero que se dio cuenta de este hecho y en el 1675 lo publicó en un anagrama: “tal y como cuelga una cadena flexible pero invertido se mantiene estable el arco rígido”.

1696, Gregory derivaría la ecuación de la cadena flexible – que él denominaba catenaria – y la consideraría la directriz óptima del arco: “cuando un arco de cualquier forma es estable es porque en su canto está contenida una catenaria.

1680, Mariotte. Realiza estudios experimentales sobre flexión de vigas, definiendo la zona de las fibras estiradas y comprimidas. Llega a una ley idéntica a la de Hooke.

1702, Varignon. Investigaciones sobre la flexión de vigas, a partir de los resultados de Galileo y Mariotte. Polígono de equilibrio de un hilo cargado.

4.4. La mejora en el diseño de los puentes

1717, Gautier²⁴. Los primeros cálculos numéricos sobre los puentes se dirigen al cálculo del empuje generado por los arcos y a los efectos de la compresión. Gautier publica “Tratado sobre puentes” donde enuncia lo que él considera las cinco dificultades mayores a resolver:

- a) El espesor de los contrafuertes
- b) El espesor de las pilas
- c) El espesor de las dovelas en la clave
- d) El arco ideal y proporciones óptimas de arco
- f) El perfil de los muros de contención.

²³ Mesqui, J.: *Le pont en France avant le temps des ingénieurs*. Picard. París, 1986

²⁴ Gautier, H.: *Traité des ponts*. C. André Cailleau. París, 1716.

En el capítulo IV propone la forma de abordar la construcción de un puente: es necesario el proyecto previo que incluya los planos en planta y alzado. La ubicación del puente, con la indicación de los márgenes del río, y los caminos o calles que confluirán a él.

Deberá situarse el eje longitudinal del puente perpendicular al eje del cauce, evitando los esviajes.

En el sitio elegido para la construcción del puente, se realizarán los sondeos que permitirán conocer y dibujar el perfil transversal del cauce.

Se continúa con el estudio de la consistencia del terreno mediante operaciones de penetraciones de taladros metálicos o pilotes de madera, para conocer el plano de cimentación y poder el determinar el más adecuado.

Por las informaciones de los vecinos del lugar elegido se conoce la altura de las mayores inundaciones de las que tuviesen recuerdo, que también se refleja en los planos del proyecto. Informados de la cantidad de agua que trae el río en época de crecidas, aconseja hacer los arcos lo suficientemente grandes para poderlas contener, trazándolos de modo que el intradós de las bóvedas en la clave debe estar tres pies por encima de la cota de la mayor avenida..

Sigue Gautier precisando que “las pilas disminuyen la anchura del cauce del lecho ordinario de los ríos, lo que produce además que las aguas sean aceleradas bajo los arcos. Los ríos entonces excavan entre las pilas, bajo los arcos, de manera que profundiza su curso en función de lo que ha disminuido o quitado a su anchura”.

Expone en su libro una tabla para dimensionar los parámetros fundamentales de un puente de fábrica.

Con Gautier, se inicia la preocupación por mejorar el problema de la capacidad de desagüe de los arcos de los puentes ante las avenidas.

1729, Belidor. Escribió el tratado “*Science des Ingénieurs*” primer manual práctico sobre la Ingeniería Civil (Obra que se consideró como un Vitruvio actualizado)

Recomienda las reglas empíricas para el dimensionado de los parámetros de los puentes. Tuvieron gran difusión, vinieron a reemplazar las de Gautier.

1738, Bernouilli. Principio de la Hidrodinámica

1744, Euler. Enuncia el “*Principio del Mínimo en la Flexión de Vigas*”. Realiza estudios sobre el pandeo de las columnas.

1755 , Euler...Enuncia las ecuaciones generales de la Hidrodinámica

1759 Fray Antonio Pontones.²⁵ En la bibliografía española del siglo XVIII hay un tratado específico sobre la llamada arquitectura hidráulica, escrito entre los años 1759 y 1768 por el P. Pontones. Lo tituló “*Architectura hydraulica* en las fábricas de puentes. Método de proyectarlo y repararlos. Instrucción a los maestros de cuanto conviene saber para ejecutar esta calidad de obras”²⁶

²⁵ Huerta, S. Estructura de arcos de bóveda en España entre 1500 y 1800

²⁶ León Tello, F. ; Sanz Sanz, M^aV.: *Estética y teoría de la arquitectura en los tratados españoles del siglo XVIII*. Consejo S. de Investigaciones Científicas. Madrid, 1994.

Este tratado sin embargo no aportó nada nuevo al tema del desagüe, pues solo recomienda la aplicación de unas “máximas preliminares”. Recomienda el número impar de arcos y que la altura de las claves y los diámetros de los arcos de modo sean suficientes para desaguar las grandes avenidas evitando exageraciones y que, a ser posible, esta medida se aplique a todos los arcos y no solo al central.

Otras recomendaciones también dadas por el P. Pontones es que los salmeres se colocasen a nivel o algo más elevados que la altura media de las aguas, que los tajamares se levantasen, por lo menos, hasta el zócalo de los pretiles, y que los desagüaderos se ejecutasen cuadrados o circulares para aumentar el desagüe en “tiempos crecientes”. Recuerda que el tamaño de las diferentes partes del puente será el necesario para resistir los esfuerzos pero también deberá ser el mínimo para que no ocluyan excesivamente el desagüe.

1777, Peronet, Jean Rodolphe²⁷. Fue durante 47 años director de la *École des Ponts et Chaussées* de Francia. Las mejoras que introdujo en la construcción de puentes fueron revolucionarias, para dar más amplitud a las vías fluviales escogió unos arcos rebajados de gran radio en vez de los tradicionales arcos de tres centros. Para mejorar el desagüe, elevo considerablemente los riñones de los arcos.

Fue uno de los primeros en darse cuenta de que los empujes horizontales de los arcos se podían llevar a través de los vanos adyacentes hacia los estribos, con lo que las pilas solo resistían cargas verticales y la diferencia entre los empujes horizontales de los vanos contiguos. De esta manera, la anchura de las pilas se podía reducir mucho sin peligro, siempre que los arcos tuviesen una luz similar y el descimbramiento fuese simultáneo.

Diseño y construyó puentes donde la proporción entre la anchura de pila y luz del vano era de un décimo a doceavo, en vez del tradicional empleado en su época

Sus enseñanzas y metodología, influyeron en el diseño de los puentes durante los siglos XVIII y principios del XIX.

1793, Girard. Publicó su “*Primer Tratado de Resistencia de Materiales*”.

1736, Coulomb. Realiza el primer análisis exacto de la flexión de vigas. El estudio del esfuerzo cortante, la teoría del empuje de tierras y la torsión de hilos.

1807, Young. Estudia, deduce y publica la *Teoría de la Deformación Elástica* y define el *Módulo de elasticidad*.

1826, Navier²⁸. Estudió en *École Polytechnique* entre los años 1802 y 1804, posteriormente en la *École des Ponts et Chaussées*, en la que posteriormente fue profesor. Publica las *Lecciones sobre Resistencia de Materiales*, primer texto moderno sobre el análisis de las estructuras.

²⁷ Steinman, D.B. Puentes y sus constructores

²⁸ Heyman, J. Obr. citada

5. Los métodos de análisis

a) De los primeros métodos de diseño al origen de los métodos elásticos.

El concepto de línea de empujes fue introducido por Hooke 1675 en su analogía con los cables, pero su formulación rigurosa se produce en el decenio 1830-1840 de forma independiente: en Inglaterra por **Moseley 1835**, en Francia por **Méry 1840**²⁹.

1826 Navier, Desarrolló la ley de la distribución de presiones a través de una superficie y demostró que la fuerza resultante debía estar comprendida en tercio central de la superficie con tal que no apareciesen tracciones, no se formasen fisuras y, de esta manera, no se sobrepasasen los límites de la teoría elástica.

1846 Barlow, Basándose en los trabajos de Moseley, publicó los resultados de una serie de ensayos bajo el título de “*sobre la existencia de la línea de empuje horizontal constante en los arcos*”. Una excentricidad del empuje respecto al punto de contacto, hace girar las dovelas y el arco modifica su forma, de manera que la línea de empujes pase por los puntos de contacto en el arco distorsionado. Barlow advierte que el modelo puede servir para ver las variaciones de la línea de empujes al variar la carga sobre el arco. Marcando el inicio del método de diseño llamado regla del tercio central.³⁰

1862 Rankine³¹, la aplicación de la regla del tercio central motivó el desarrollo, de diversos métodos de diseño que utilizaban arcos lineales que contenían la línea de empujes y soportaban las cargas aplicadas tan solo minimizando la suma de las distancias desde la línea de presiones en el intradós o extradós, o minimizando la suma de los cuadrados de las distancias desde la línea de presiones hasta la línea central del arco. Al cabo de los años, se verá que estos métodos de diseño posteriormente tendrían mucho que ver con los teoremas de la energía de deformación.

1864, Culmann. Desarrollo la *Teoría del Polígono Funicular*; El método gráfico de las secciones y de la estática gráfica.

1879, Castigliano³² Desarrolló los teoremas de la mínima energía de deformación y en su intento por analizar los arcos, asumía que tan solo si la línea de empujes estaba comprendida en el tercio central (teoría elástica), el arco se comportaría como una estructura elástica continua. De la misma manera, si la línea de empujes quedaba fuera del tercio central, se debía repetir el cálculo hasta que ningún punto del arco quedase sometido a tracción. Una vez resuelta la línea de empujes, entonces ya se podían calcular las tensiones mediante otros métodos.

6. El valor estético de las obras

1890, Séjourné P³³. Extrema el diseño de los puentes de obra de fábrica aportando el valor estético de la obra como complemento fundamental del diseño estructural.

²⁹ Huerta, S. Arcos, bóvedas y cúpulas

³⁰ Huertas, S. Arcos, bóvedas y cúpulas

³¹ Rankine, W.J. 1862 : *A Manual of civil Engineering*

³² Castigliano, C.A.P. 1879. *Théorie de l'équilibre des systèmes élastiques et ses applications*.

³³ Séjourné, P. 1890: *Grandes voûtes*. Volumen 1º Edt V^o Tardy. (Bourges).

7. El efecto hidráulico en el diseño del puente³⁴

1888 Degrand. Escribe con desaliento, en su obra *Ponts en maçonnerie*³⁵. La falta de conocimientos teóricos que impedían el cálculo del caudal de las avenidas, que todavía se mantenían a finales del siglo XIX y principios del XX.

1909 Aragón, E.³⁶. Continúa recomendando estudiar las condiciones de los puentes situados aguas arriba, pues siempre será preciso construir arcos más grandes que los de esos puentes. Todavía la altura de los arcos se fija en función de la cota de las máximas avenidas (entre 0,50 y 1,50 metros según el régimen del río y siempre que no se navegable). Sin embargo ya era imprescindible para la época el establecimiento de una fórmula empírica aproximada que permitiera calcular el desagüe, siendo la de Navier la elegida, la misma que hemos comentado anteriormente. Veinte años de diferencia entre estas dos últimas publicaciones que no trajeron ningún avance en este ámbito de la ingeniería civil.

1936. Ribera, E.³⁷ Refleja esta situación cuando escribe que “en todos los países ocurren hundimientos de puentes. Casi siempre son producidos por violentas crecidas, cuando los desagües son insuficientes. Si las luces del puente no son bastantes para el desagüe normal de las crecidas, tiene que contraerse su sección”. Se remansa entonces el río aguas arriba, produciéndose un salto entre la parte alta del remanso aguas arriba y el nivel de las aguas a la salida del puente, que provoca el aumento de la velocidad de las aguas que pueden alcanzar la necesaria para socavar los cimientos.

Las avenidas extraordinarias no producirán socavación en el primer caso por el aumento que se producen con cierta periodicidad. Las avenidas extraordinarias no producirán socavación en el primer caso por el aumento de la velocidad al remansarse contra el puente por la dureza del terreno, y en el segundo caso las aguas invadirán amplias llanuras de inundación a ambos lados del puente, que cortarían los caminos, se suspenderá el tránsito y el puente dejará de ser útil, por lo que podrá ser rebasado sin consecuencia ya que las aguas circularán con una baja velocidad por ocupar una amplia sección.³⁸

8. Trabajos sobre el conocimiento de los mecanismos resistentes y modos de ruptura

a) Métodos elásticos.

Durante el proceso de carga de un puente arco de obra de fábrica se desarrollan diversos mecanismos resistentes que tienen mucho que ver con los principales elementos estructurales del puente: el arco, el relleno y los tímpanos.

El arco constituye el mecanismo resistente más importante, ya que recoge las cargas y las transporta a los apoyos mediante esfuerzos mayoritariamente de compresión gracias a su geometría, que intenta representar la geometría antifunicular de las cargas que debe resistir.

³⁴ Duran Fuentes, M. Análisis de la capacidad de desagüe de varios puentes de *Gallaecia*.

³⁵ Degrand, M.E.: *Ponts en maçonnerie*. París, 1888

³⁶ Aragón, E.: *Ponts et ouvrages en maçonnerie*. Ed. H. Dunod et E. Pinat. París, 1909

³⁷ Ribera, J.E.: *Puentes de fábrica y hormigón armado*. Tomo III. Gráficas Barragán. Madrid, 1936.

³⁸ Durán Fuentes, M. Análisis de la capacidad de desagüe de varios puentes de *Gallaecia*

Material elástico: aquel que tiene la capacidad de recuperar la forma que tenía antes de alcanzarla deformación por efecto de una carga. Plástico es opuesto a elástico, y se interpreta como la capacidad de deformación permanente

1941, Pippard³⁹ Los trabajos publicados habían comenzado con la observación que, a raíz de los pequeños movimientos que se daban en los estribos de los arcos constituidos por dovelas, aparecen unas rótulas justamente en los apoyos.

A partir de este hecho analizó el arco con dos rótulas, desconociendo en aquellos momentos que en realidad también aparecía una tercera rótula a centro luz que convertía el arco en una estructura estáticamente determinada (isostática).

b) Métodos plásticos

1914, Kazinczy. Estudios de deformación de una viga empotrada con carga creciente. *Teoría de la plasticidad.*

1932, Paris. Primer Congreso de la Asociación Internacional de Puentes y Estructuras (IABSE)

1936, Berlín. Segundo congreso de la IABSE.

1936, Maier-Lebnitz. Aportación en las Actas del IABSE. Explican: *Diagrama de momentos flectores de una viga continua con dos vanos. Desarrollo de la plasticidad.*

1936, Bleich. En las Actas del IABSE, Conceptos cruciales para los métodos plásticos. Introduce la idea del factor de carga, como la relación entre la carga de colapso y la carga de servicio. Enuncia lo que hoy se conoce como el *teorema del límite inferior.*

1950, Prager. Aplica el marco del análisis límite a un material rígido.

1953, Kooharian. Aplica el análisis límite al estudio de arcos de dovelas.

9. Teoría de la plasticidad

Durante la segunda mitad del siglo XX, debemos destacar los estudios realizados sobre el análisis límite y su aplicación al estudio de las obras de fábrica.

1956, Baker, Horne y Heyman. Teoría plástica

1960, Heyman. Aportaciones a la teoría plástica, verifica que los teoremas fundamentales del análisis límite se pueden aplicar a cualquier estructura de fábrica. El marco del análisis límite y el enfoque del equilibrio, ilumina el comportamiento de las antiguas construcciones de fábrica. Heyman interpreta los agrietamientos de forma racional y dentro del marco de una teoría, que las considera como algo normal

1995, Heyman. Definición del coeficiente de seguridad geométrico, como el cociente entre el espesor real y el estrictamente necesario para soportar en equilibrio las cargas muertas.

³⁹ Pippard, A.J.S, 1941-42: *Repeated load tests on a voussoir arch.* Journal of the Institution of civil Engineers. 79-86

Consideró la estructura de fábrica (muros, contrafuertes y arcos) formada por un material rígido-unilateral, que resiste compresiones pero no resiste tracciones. Es decir, imaginando la fábrica como un conjunto de bloques indeformables en contacto seco y directo que se sostienen por su propio peso. Supone también que las tensiones, en estas fábricas eran bajas, no pudiendo haber peligro de fallo por resistencia, y que el rozamiento entre las piedras era suficientemente alto como para impedir su deslizamiento. Estas tres hipótesis dan lugar a los Principios del Análisis Límite de las Fábricas:

- (1) La fábrica presenta una resistencia a compresión infinita;
- (2) La fábrica tiene una resistencia a tracción nula;
- (3) El fallo por deslizamiento es imposible (el caso de deslizamiento entre piedras, no es frecuente y suele estar asociado a movimientos sísmicos)

La hipótesis (1) va ligeramente en contra de seguridad.

La hipótesis (2) va a favor de seguridad.

Finalmente, la hipótesis (3) vuelve a estar en contra de seguridad. .

Aplicado a los arcos de obra de fábrica se puede determinar la carga última que transforma un arco en un mecanismo, asumiendo la formación de un número de rótulas (*número de rótulas = grado de hiperestatismo + 1*) en el intra y extrados, que juntamente con la sobrecarga llevará el arco al colapso.

En una primera aproximación, Heyman creía que el peor estado de cargas era al cuarto de la luz, con rótulas bajo el punto cargado, en los apoyos y en el centro de la luz. De esta manera, con una cierta sobrecarga y haciendo uso de los teoremas de la plasticidad (teorema del límite inferior y de la cota superior)

Se podía determinar la carga última de colapso que cumplían ambos teoremas.

Se desarrollaron métodos simplificados a partir de los cuales se podía obtener el canto de un arco necesario para un carga cualquiera dada y utilizando tan solo una ecuación sencilla o bien tablas.

Los métodos de análisis último prevén la existencia de un factor de seguridad geométrica, relacionando el mínimo canto necesario para un determinado estado de cargas con el canto real del arco.

10. Aspectos fundamentales sobre las hipótesis del análisis límite

10.1 Condición de estabilidad: seguridad

La condición de estabilidad de una fábrica construida con un material que cumpla los principios anteriores exige que la trayectoria de las fuerzas, la "*línea de empujes*", esté contenida dentro del núcleo central; esto es, para cada sección hipotética de la estructura la resultante de las fuerzas debe estar contenida en su interior.

La seguridad está determinada, en cada sección, por la distancia relativa de la resultante de tensiones (empuje) a sus bordes. El coeficiente de seguridad es geométrico y definirá la posición que dicho empuje no debe sobrepasar dentro de cada sección. Los coeficientes de seguridad dependen del tipo y uso de la estructura, y tienen un carácter empírico

10.2 Teorema Fundamental: límite inferior del coeficiente de seguridad

Si la estructura es hiperestática, como es habitual, será posible encontrar infinitas líneas de empujes contenidas dentro de la fábrica, que corresponden a las infinitas situaciones de equilibrio posibles (*la Línea de empujes no es más que una representación gráfica de las ecuaciones de equilibrio*).

Si se cumplen los principios del Análisis Límite enunciados antes, se puede demostrar el siguiente Teorema Fundamental del Análisis Límite (*Teorema del Límite Inferior*):

Dada una estructura, si es posible encontrar una situación de equilibrio compatible con las cargas que no viole la condición de Límite del material (esto es, que no aparezcan tracciones) la estructura no colapsará. Aplicado a las fábricas: si es posible dibujar una Línea de empujes contenida dentro de la estructura la estructura no se hundirá.

La potencia del Teorema radica en que la línea de empujes, es decir, la situación de equilibrio, puede ser elegida libremente. Elegida una Línea, podremos aplicar las condiciones de seguridad a cada una de las secciones que atraviesa y obtener, de esta forma, un Límite inferior para el coeficiente de seguridad geométrico: sabemos que la estructura tiene al menos ese coeficiente de seguridad (en general, sería posible encontrar una Línea de empujes que diera una situación más favorable).

El problema de la seguridad de las fábricas es, pues, un problema de estabilidad. De los tres criterios fundamentales que debe cumplir una estructura (resistencia, rigidez y estabilidad), es éste último el que gobierna el proyecto de las fábricas: las tensiones son bajas y las deformaciones pequeñas.

El criterio de estabilidad conduce a una visión de las estructuras de fábrica basada firmemente en la geometría: es la forma la que posibilita que las trayectorias de esfuerzos estén siempre dentro de los límites de la fábrica.

10.3 Movimientos y patologías

Las grietas son algo natural en un material que no resiste tracciones. De hecho, los agrietamientos son la única forma de adaptarse a pequeñas variaciones en las condiciones de contorno (por ejemplo, a un pequeño desplazamiento de los estribos, etc.).

Las grietas dividen la estructura en un conjunto «articulado» de bloques que se mueve y adapta a las nuevas condiciones de contorno. A cada movimiento corresponde un agrietamiento distinto y una estructura puede presentar a lo largo de su historia distintos agrietamientos, que corresponden a distintas posiciones de las líneas de empujes (distintas soluciones de las ecuaciones de equilibrio). Sin embargo, el Teorema Fundamental nos asegura que, si encontramos «un sistema de líneas de empujes» (esto es una cierta situación de equilibrio) dentro de la fábrica, aunque pueden moverse bruscamente, éstas nunca se saldrán de los límites de la fábrica con lo que la estabilidad está asegurada.

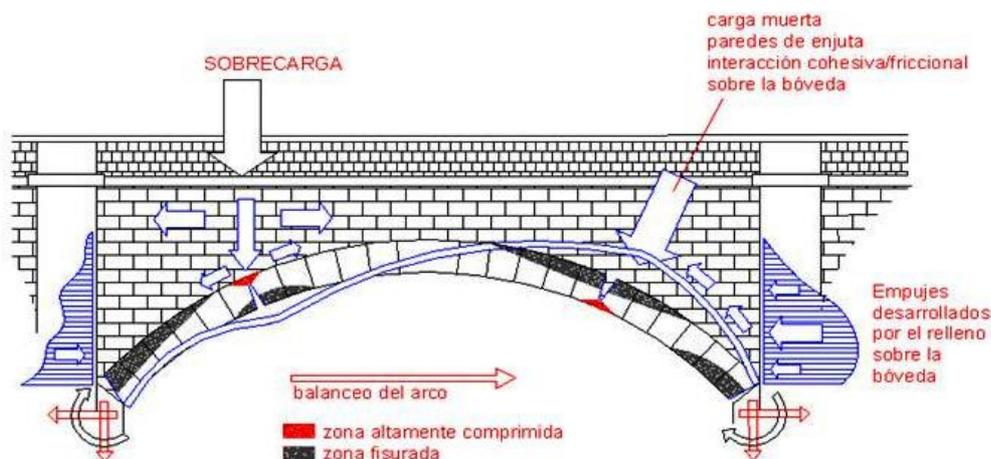


Imagen 8. Respuesta de un arco de obra de fábrica a la sobre carga⁴⁰

11. Métodos de análisis de ruptura de arcos de obra de fábrica

11.1 Tipos de ruptura. Referente a los modos de ruptura, según los estudios llevados a término en los últimos años⁴¹ se pueden agrupar en cuatro grandes grupos de ruptura:

- 11.1.1. Por formación de un mecanismo,
- 11.1.2. Ruptura por inestabilidad de origen no lineal geométrico (*snap – through*),
- 11.1.3. Ruptura por aplastamiento del material por compresión.
- 11.1.4. Ruptura por efecto cortante.

11.1.1 Ruptura por formación de un mecanismo:

Este es el modo de ruptura más habitual y está asociado a la aparición de tantas rótulas como sean necesarias para convertir la estructura en un mecanismo. Así, mientras que para un arco simple se necesita cuatro rótulas siempre que la carga no esté centrada, ya que entonces harían falta cinco debido a la simetría de la estructura; para un puente arco de dos abanicos, por ejemplo, es necesaria la aparición de siete rótulas para convertir la estructura en un mecanismo.

En un puente arco de obra de fábrica bien dimensionado, la línea de empujes bajo peso propio está más o menos centrada en la directriz del arco pero, bajo sobrecargas, los momentos en las secciones aumentan y se han de compensar mediante la excentricidad de la línea de empujes, y provocan que esta salga del núcleo central y que, progresivamente, aparezcan fisuras asociadas a tracciones en la sección que acabarán desarrollando rótulas perfectas. Una vez haya aparecido la cuarta rótula, la estructura se convierte en un mecanismo de tres barras articuladas y, por tanto, colapsa.

⁴⁰ Serna Garcia-Conde, J. (2001) Tesina especialidad. ETSECCPB . UPC

⁴¹ (Hughes *et al.*, 1997; León *et al.*, 2000)



Imagen 9. Aproximación de la línea de presiones (thrust line)⁴²



Imagen 10. Formación de un mecanismo en un puente monoarco.⁴³

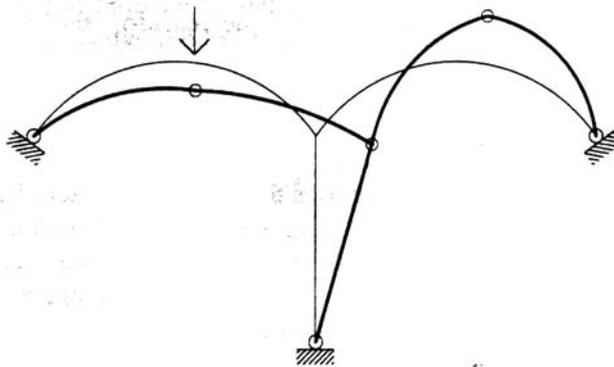


Imagen 11. Formación de un mecanismo en un puente arco de 2 vanos.⁴⁴

⁴² Serna García-Conde, J. Obr. citada

⁴³ Serna Gracia-Conde, J. Obr. citada

⁴⁴ Serna García-Conde, J Obr. citada

11.1.2. Ruptura por inestabilidad de origen no lineal geométrico (*snap – through*):

Este es un tipo de ruptura que se ha observado en ensayos a escala real. Se ha comprobado que se empiezan generando rótulas pero en vez de desarrollarse la cuarta rótula, se produce un cambio brusco en la geometría del arco, sobretodo en la sección de arco bajo carga. Este modo de ruptura se suele dar para axiles de compresión elevados y esbelteces de vuelta (c / L) grandes y siempre se produce por cargas menores a la de formación del mecanismo.

11.1.3. Ruptura por aplastamiento del material por compresión:

Este tipo de ruptura se produce en los puentes de luces pequeñas y con roscas macizas, donde la línea de empujes tiende a formar caminos directos hacia los apoyos.

Esta ruptura se debe a un agotamiento del material de la vuelta, es decir, una vez alcanzada la resistencia última a compresión, la vuelta seguirá resistiendo pero no aportará rigidez a la estructura. Posteriormente, una vez alcanzada la deformación última del material, este sufrirá el aplastamiento y será probablemente en el momento de descargar el arco que se producirá una pérdida de material que causará el colapso del arco.

11.1.4. Ruptura por cortante:

Este es, seguramente, el modo de ruptura más inusual de todos, ya que generalmente la relación cortante – axil es elevada. De todas maneras, esta ruptura se puede dar en combinación con la aparición de rótulas de flexión o en el caso de puentes mal conservados donde haya una pérdida de mortero tanto entre dovelas (en arcos de piedra) como entre hileras de mahones (en arcos de mahón con más de un anillo).⁴⁵

11.2 Métodos de análisis

11.2.1. Método MEXE

Con tal de disponer de un sistema militar de clasificación de los puentes según su carga última, a partir de la Segunda Guerra Mundial, en el *Military Engineering Experimental Establishment* (MEXE) desarrolló un método para evaluar la capacidad de carga de los puentes arco de obra de fábrica.

Este método se basa en el trabajo de Pippard presentado anteriormente que, a su vez, se basaba en el estudio de un arco parabólico biarticulado. Igualmente, el método MEXE incluye un conjunto de modificaciones a tener en cuenta:

- a) incorpora la distribución longitudinal de la carga;
- b) la carga última depende de la luz del arco, de la altura de tierras y el relleno a centro luz y de una serie de coeficientes correctores que básicamente se pueden agrupar en dos grandes grupos: aquellos que aparecen como consecuencia de las simplificaciones tenidas en cuenta durante el análisis (coeficientes de la relación flecha/luz y de la forma del arco) y aquellos que aparecen por el estado de conservación del arco (coeficientes de los materiales, de las juntas y del estado del arco).

⁴⁵ Boothby (1995).

11.2.2. Método energético de Cardiff.

Este método de análisis, desarrollado en 1991 en la *University of Wales College of Cardiff*⁴⁶, se basa en los teoremas de Castigliano. El fundamento teórico del método radica en la obtención de la energía de deformación resultante de los esfuerzos de flexión y axil en un arco y considera que se puede despreciar la energía de deformación por cortante.

Derivando respecto de las reacciones y igualando movimientos en el estribo, de manera que estas reacciones queden determinadas, se pueden obtener las fuerzas y los momentos en cualquier punto del arco. De esta manera, a partir de la integración numérica y diversos peldaños de iteración se puede llegar a predecir la carga última.

El método prevé la no – linealidad material y geometría así como el efecto estructural del relleno mediante los coeficientes de empuje en reposo, activo y pasivo.

11.2.3. Métodos de elementos finitos.

El análisis de arcos mediante métodos de elementos finitos ha sido un tema de búsqueda. La primera aplicación a los arcos de fábrica⁴⁷ se comparó sus soluciones teóricas con sus propios resultados experimentales. Ya entonces mostraron el potente método que suponían los elementos finitos a la hora de obtener curvas carga – deformación, la carga última y la información sobre la evolución de las fisuras a la hora de ir cargando la estructura.

Posteriormente, se intentó modelizar el relleno directamente^{48, 49}. Estos elementos actúan tan solo cuando el arco se mueve horizontalmente hacia el relleno. Se continuaron los trabajos⁵⁰ y concluyó que el colapso de un arco tanto se podía dar por cortante como por agotamiento del material o por la formación de un mecanismo.

Como en otros métodos de análisis de arcos, se supone que el arco no tiene resistencia a tracción, ya que el daño más importante sobre la estructura atendiendo las cargas aplicadas se da cuando la sección de arco se abre y aparece una zona que no puede dar rigidez al arco. A demás, cuando las tensiones de compresión alcanzan la resistencia última del material, suponiendo una relación tensión – deformación bilineal, se forman zonas de agotamiento del material. Estas zonas continúan aportando resistencia, pero, en ningún caso, no tienen rigidez estructural.

La carga se aumenta progresivamente hasta la carga última y se puede representar una distribución a través del relleno con un ángulo comprendido entre los 0º y los 45º.

También se utilizaron elementos finitos bidimensionales para materializar tanto el arco como el relleno y así estudiar el comportamiento en ruptura, la carga última y el mecanismo de colapso.⁵¹

Con tal de estudiar los efectos de las rupturas tangenciales que comporta la separación de los anillos se utilizaron elementos cuadráticos de tensión plana para simular arcos multianillos,⁵²

⁴⁶ Bridle i Hughes

⁴⁷ Towler y Sawko, en el año 1982,

⁴⁸ Towler, en el año 1985, como Crisfield, en el 1986

⁴⁹ Crisfield lo hizo con la ayuda del criterio de ruptura de Mohr – Coulomb.

⁵⁰ Rouf, en el año 1984, continuó el trabajo iniciado por Towler

⁵¹ Loo y Yanh, en 1991,

⁵² Choo *et. al.*

Otros autores, utilizan elementos finitos de placa curva para estudiar arcos esviados así como cargas que no actúen uniformemente en todo el ancho del arco, de manera que se puedan extraer conclusiones del comportamiento tridimensional de los puentes de fábrica.⁵³

11.2.4. Formulación matricial generalizada no lineal.

Este método consiste principalmente en una formulación matricial generalizada no lineal equipada con modelos constitutivos simples adecuados para la descripción mecánica de la obra de fábrica. Su planteamiento se basa en el establecimiento exacto del equilibrio en todos los puntos de un elemento dado y no es necesario introducir hipótesis adicionales sobre la forma de los campos de desplazamientos o de tensiones.

Debido a que los movimientos son completamente libres (en contraposición con el método de los elementos finitos, en el cual los campos de desplazamientos se interpolan de acuerdo con ciertas funciones de forma), es posible reproducir curvaturas importantes asociadas al daño y obtener una aproximación a la localización de este daño (formación de rótulas). Por este motivo, el uso de este método no implica los problemas numéricos que aparecen en el método de los elementos finitos cuando se usan ecuaciones constitutivas para materiales perfectamente frágiles con una formulación en desplazamiento.

La derivación detallada que conduce a las ecuaciones globales del problema estructural, juntamente con algunos detalles sobre su implementación numérica⁵⁴

12. Conclusión a los métodos de análisis

El análisis de los puentes de fábrica no es una ciencia exacta. El hecho que la capacidad de carga de esta tipología estructural dependa de muchos factores que tiene una influencia directa hace que aparezcan todo un conjunto de incertezas a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Las técnicas analíticas complicadas tan solo se justifican si se obtienen capacidades de carga mayores a la obtenida con técnicas más sencillas o bien si sirven para entender mejor el comportamiento estructural del arco, explicar las patologías, etc.

⁵³ Gong (1992)

⁵⁴ Molins (1996) y Roca *et. al.* (1998).

Materiales y Métodos

Con la ambición de llegar a uno público mayoritario, se incluyen los conceptos básicos sobre materiales y su comportamiento, así como su puesta en obra. A los especialistas en construcción les pedimos disculpas, pero nos parecen adecuados para otros especialistas (como geógrafos o historiadores, etc.) que los podrán utilizar en las descripciones de los paramentos, en sus patologías y que también pueden ser de utilidad para operaciones de restauración o sustitución de elementos dañados.

Comportamiento mecánico de la obra de fábrica

Generalidades

Las obras de fábrica se pueden definir de diversas formas:

Se pueden interpretar como aquellos elementos pétreos que juntos y sobre otros, están ordenados de acuerdo con leyes de traba.

También se puede definir como: “conjunto trabado de piezas asentadas con mortero”

Otra definición puede ser: material compuesto de bloques y piedras de cantería unidas entre si mediante un mortero, o en algunas construcciones yuxtapuestas con juntas a hueso.

Las obras de fábrica presentan una serie de peculiaridades que determinan su comportamiento mecánico ante los esfuerzos a las que se pueden someter:

La diversidad de elementos que forman parte de su obra. Además de los elementos pétreos y/o cerámicos que la pueden formar, se debe considerar el ligante que a su vez también depende de los materiales y proporciones con se haya elaborado. Por ultimo está la influencia de la o/las trabas empleada en la construcción.

Esta variedad de empleo de materiales y de la forma de construcción (trabas) da lugar a un material compuesto con una gran dispersión de las propiedades mecánicas. La distinta deformabilidad de las piezas y del mortero es una de las características identificativas de las fábricas y también de su comportamiento anisótropo.

Los puentes que estudiamos, llevan mucho tiempo contruidos, lo que implica que han estado sometidos a la acción agentes atmosféricos de todo tipo y la no menos importante acción humana. Por lo cual, no solo es importante conocer los tipos de materiales y propiedades que conforman estas obra de fabrica, sino también el estado en que se encuentran.

La fabrica es un conjunto de piezas que intrínsecamente tiene un comportamiento son anisótropo, anisotropía que se potencia con las uniones entre ellas debido a las juntas donde actúa como ligamen el mortero. Esta anisotropía intrínseca y la debida a las leyes de traba empleadas en la construcción, condicionan el comportamiento mecánico de las diferentes zonas, por lo que es necesario conocer la dirección relativa de los esfuerzos que actúan con respecto a la dirección de las juntas.

Prescripciones¹ a que se deben ajustar las diferentes unidades de obra, corrientemente conocidas con la denominación de «obras de fábrica», ejecutadas con ladrillos, bloques, piedras de cantería y adobes, y que se caracterizan, fundamentalmente, por su ejecución manual «in situ», de acuerdo con determinadas leyes de traba.

¹ Nos hemos basado en la Prescripción del Instituto Eduardo Torroja para obras de fabrica (PIET 70)

Estas **prescripciones** son aplicables a todas las obras de fábrica ejecutadas en construcción, que puedan desempeñar una función:

- **Estructural:** cimentaciones, muros y pilares, arcos, bóvedas y cúpulas, etc.

1. Exigencias funcionales

Las **obras de fábrica** ejecutadas en construcción deberán satisfacer unas **exigencias mínimas funcionales**:

- a) de seguridad
- b) de durabilidad
- c) de aspecto

a) Exigencias de seguridad

Relativas a los elementos obra de fábrica con función estructural

a.1. Cimentaciones de obra de fábrica

- Deberán resistir y transmitir al terreno los esfuerzos procedentes del edificio, sin que se produzcan asentamientos totales ni diferenciales capaces de originar desperfectos o la aparición de fisuras en el resto de la obra.
- Deberán conservar sus características mecánicas ante la acción de la humedad y de los agentes químicos del terreno

a.2. Muros resistentes y pilares

Soportarán y transmitirán a la cimentación, sin que se produzcan fisuras o desperfectos, los esfuerzos originados por:

- Las cargas y sobrecargas de otros elementos estructurales del edificio que descansen sobre ellos.
- Las debidas a su peso propio.
- Los empujes que puedan producir dichos elementos estructurales.
- El empuje activo del terreno.
- La sobrecarga de nieve.
- La presión del viento.
- Las acciones sísmicas.
- Los choques normales que se puedan originar.
- Los esfuerzos procedentes de deformaciones reológicas y térmicas de la propia obra de fábrica o de otros elementos estructurales.
- Las acciones dinámicas cuando estén previstas.

a.3. Arcos, bóvedas y cúpulas

Deberán resistir y transmitir a sus apoyos los esfuerzos que, como consecuencia de la forma de su directriz, se originen por las acciones debidas a:

- Su peso propio.
- Cargas y sobrecargas exteriores y demás esfuerzos, citados para los muros resistentes y pilares.

b) Exigencias de durabilidad

Deberán ser capaces de conservar todas las cualidades derivadas de las exigencias funcionales:

- Durante un período de vida de 5 años y bajo uso normal, sin necesidad de mantenimiento.
- Durante 20 años más, bajo unas condiciones de mantenimiento normales.
- Durante 50 años, como mínimo, podrán admitirse sólo pequeñas reparaciones locales.

A partir de los 50 años se admitirá que puedan requerir reparaciones de consolidación o sustitución.

c) Exigencias de aspecto

Los paramentos deberán presentar un aspecto:

- Agradable
- Limpio
- Ordenado

Las superficies planas, curvas o alabeadas de los mismos, así como las líneas de encuentro, borde y cornisas, deberán:

- Quedar bien definidas geométricamente de acuerdo con la forma y posición prevista.

Las aristas de encuentro entre superficies planas deberán:

- Ser rectas.
- Cuando sean verticales deberán estar bien aplomadas.
- Cuando sean horizontales aparecer correctamente niveladas.

Las juntas deberán quedar:

- Totalmente terminadas.
- Sin rebabas ni imperfecciones.
- Con el espesor, forma y tratamiento previsto.

Los materiales deberán presentar homogeneidad en su textura, color y dimensiones, sin defectos aparentes.

2. Definiciones y terminología

2.1. General

Obra de fábrica: todo elemento de obra obtenido por colocación de ladrillos, bloques, piedras de cantería o adobes, unos junto a otros y sobre otros, ordenadamente y solapados de acuerdo con unas determinadas leyes de traba.

2.2. Elementos geométricos de las piezas que la componen

Soga: Dimensión correspondiente al lado mayor o largo.

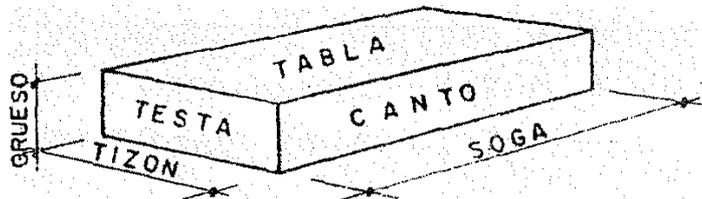
Tizón: Dimensión correspondiente al lado intermedio o ancho.

Grueso: Dimensión correspondiente al lado menor o altura.

Tabla: Cara mayor de la pieza (soga x tizón).

Canto: Cara mediana de la pieza (soga x grueso).

Testa: Cara menor de la pieza (tizón x grueso).



2.3. Aparejo

Es la ley de traba que rige la disposición en que deben colocarse los materiales de una obra de fábrica para garantizar su unidad constructiva.

2.3.1. Disposición de las piezas en un aparejo de obra de fábrica

A soga: Cuando, apoyada la pieza sobre su tabla, la testa es normal al paramento, resultando las dimensiones de soga, paralelas al mismo.

A tizón: Cuando, apoyada la pieza sobre su tabla, la testa es paralela al paramento, resultando las dimensiones de tizón paralelas al mismo.

A sardinel: Cuando, apoyada la pieza sobre su testa o su canto, la tabla es normal al paramento. Según la posición de la arista mayor, existen las variantes «horizontal» y «vertical».

A panderete: Cuando, apoyada la pieza sobre su testa o su canto, las tablas definen el trasdós e intradós del elemento. Existen también las variantes «horizontal» y «vertical».

Triscadas: Las que, en cualquiera de las posiciones anteriores, sufren un giro, quebrándose su paramento o su coronación.

2.3.2. Elementos de un aparejo de obra de fábrica

Hilada: Conjunto de piezas, colocadas a soga o a tizón, y cuyas tablas definen superficies de junta continuas normales al paramento.

Rosca: Conjunto de piezas, colocadas a sardinel, y cuyas tablas definen superficies de junta no continuas normales al paramento. Los cantos o las testas definen superficies de junta continuas.

Hoja: Conjunto de piezas, colocadas a panderete, cuyas tablas definen superficies de junta continuas paralelas al paramento.

2.3.3. Juntas

a) Disposiciones de junta de la obra de fábrica

Tendel: Junta continua constituida por el mortero que se acusa entre dos hiladas o roscas sucesivas, en general horizontales.

Llaga: Junta constituida por el mortero que se acusa entre dos piezas sucesivas de una misma hilada o rosca; son, generalmente, discontinuas de una hilada a otra y verticales.

Escopeta: Junta constituida por los tendeles de dirección radial que se acusan en los paramentos frontales de los arcos. También recibe este nombre la diferencia entre los espesores de un mismo tendel en el trasdós e intradós del arco

3. Tipos de obra de fábrica

3.1 Fábricas de cantería

Cantería: Trabajo que consiste en extraer, labrar y ordenar las piedras procedentes de rocas naturales, con objeto de transformarlas en materiales de construcción capaces de definir unidades de obra de fábrica.

a) Piedras de cantería

a.1) Tipo de piedras según su origen

Variedades que habitualmente se emplean en trabajos de cantería, en función de su procedencia geológica:

- Piedras procedentes de rocas eruptivas plutónicas:

- Granito
 - Sienita
 - Diorita
 - Gabro
 - Pórfido
- Piedras procedentes de rocas eruptivas volcánicas:
- Traquita
 - Diabasa
 - Basalto
 - Toba
 - Pumita
- Piedras procedentes de rocas de sedimentación mecánica:
- Areniscas
 - Conglomerados
 - Brechas
- Piedras procedentes de rocas de sedimentación química:
- Caliza
 - Dolomía
 - Marga
- Piedras procedentes de rocas de origen metamórfico:
- Mármol
 - Gneis
 - Serpentina
 - Pizarra
 - Cuarcita

a.2) Tipo de piedras según su tamaño y forma

Bloque: Trozo de piedra de gran dimensión, tal y como sale de la cantera, después de su extracción y eventual troceo.

Mampuesto: Bloque de pequeña dimensión, de forma irregular o en bruto, manejable con las dos manos por un solo hombre.

Ripio: Piedra de forma irregular y de tamaño inferior al general de las piezas que componen la unidad constructiva de obra de fábrica de la que forma parte y que se utiliza como material de relleno, cuñas, etc.

Sillar: Piedra a la que se ha dado forma geométrica definida mediante las operaciones de desbaste y talla, y que no es manejable a mano, por un solo hombre.

Sillarejo: Sillar de pequeña dimensión. Manejable con las dos manos por un solo hombre.

Laja: Mampuesto o sillar de reducido espesor y gran superficie.

Canto: Mampuesto redondeado por efecto de la erosión.

Carreta: Sólido capaz de un sillar, con las creces de cantera, antes de su talla.

a.3) Tipo de piedras según su dureza

Piedra blanda: La que puede cortarse con sierra de dientes en condiciones parecidas a las de una madera dura, por ejemplo, las tobas.

Piedra semidura: La que requiere sierra de alambre de acero, interponiendo abrasivo de arena silíceo, por ejemplo, las calizas.

Piedra dura: La que necesita sierra de lamina y polvo de esmeril, como el mármol.

Piedra muy dura: La que necesita sierras de disco especiales de diamante negro o de carborundo, como los pórfidos.

b) Mampostería

Son fábricas construidas con piedras en bruto, sin labrar ó con labra irregular.

Mampostería en seco: Fábrica cuyos mampuestos están sentados en seco, sin mortero, o a lo sumo favoreciendo el asiento de cada mampuesto con enripiado, broza, tierra o barro.

Mampostería a hueso: Fábrica de mampostería en seco en la que las caras de las piedras presentan un buen ajuste por haber sido especialmente labradas para este fin.

Mampostería con mortero: Fábrica de mampostería cuyos mampuestos se asientan sobre una capa de mortero.

Mampostería de cal y canto: Fábrica cuyos mampuestos están definidos por gruesos cantos de formas redondeadas, que obligan a recibirlos con mortero, generalmente de cal.

Mampostería ordinaria: Fábrica de mampostería cuyos mampuestos no se han labrado, empleándose tal como vienen de cantera, con la sola preparación del levantado de la costra superficial de sus caras.

Mampostería careada: Fábrica de mampostería cuyos mampuestos se han labrado únicamente en la cara destinada a formar el paramento exterior.

Mampostería concertada: Fábrica de mampostería cuyos mampuestos tienen sus caras de junta y de paramento labradas en formas poligonales, más o menos regulares, para que el asiento de los mampuestos se realice sobre caras sensiblemente planas. Según su aparejo, puede ser:

- *de aparejo inglés*: definido por mampuestos escuadrados cuya proporción de lados varía desde el cuadrado a los rectángulos horizontales y verticales.
- *de aparejo de hiladas*: en el que predomina la horizontalidad de hiladas, dada la gran soga de los mampuestos en comparación con su altura.
- *de aparejo poligonal*: en el que los mampuestos tienen formas prismáticas, cuya cara exterior suele ser un cuadrilátero, pentágono o hexágono.
- *de aparejo de encaje*: en el cual cada mampuesto se talla a pie de obra para que encaje en su posición, sin importar la existencia de ángulos cóncavos o de superficies curvas de asiento.

Mampostería de rajuela: Fábrica en la que sus mampuestos están definidos por lajas, que ofrecen asientos sensiblemente planos y horizontales.

Mampostería historiada: Mampostería careada cuyas juntas llevan embutidas pequeñas chinillas, que hacen de ripios, con función decorativa.

Mampostería verdugada: Fábrica mixta, compuesta generalmente para témpanos de mampostería careada, y verdugadas de fábrica de ladrillo.

c) Sillería

Son fábricas constituidas por piedras naturales a las que se le ha dado, mediante su labra, forma geométrica definida, generalmente ortoédrica, después de su arranque de cantera, para formar los sillares.

Estereotomía: Conjunto de trabajos encaminados a definir el despiece y las superficies de enlace o apoyo de los sillares de una obra, de acuerdo con sus condiciones estructurales y constructivas, y realizado por corte o talla de las piedras.

c.1) Tipos de sillerías

Sillería a hueso: Fábrica cuyos sillares están sentados en seco, unos sobre y junto a otros, sin ningún otro material que se interponga entre ellos.

Sillería con mortero: Fábrica cuyos sillares están recibidos con morteros, generalmente de cal, cemento o bastardo.

Sillería recta: Es la definida por sillares en forma ortoédrica. Cuando estos sillares son manejables por un solo hombre, la fábrica se denomina «sillería de sillarejos».

Sillería aplantillada: Fábrica cuyos sillares se apartan de la forma ortoédrica, pese a que sus caras siguen siendo superficies planas o curvas, tales como las dovelas de arcos, bóvedas y cúpulas.

Sillería moldeada: También llamada «sillería moldurada», es aquella cuyos sillares, rectos o aplantillados, ofrecen molduras en sus caras de paramento.

Sillería almohadillada: Fábrica cuyos sillares definen «almohadones» en su paramento, formados al rehundir una zona de anchura y profundidad uniforme de su borde.

Sillería decorada: Aquella cuyos sillares ofrecen motivos escultóricos o decorativos de fauna y flora o molduras y trazados geométricos.

Sillería pulimentada: Aquella cuyos sillares ofrecen paramentos pulimentados.

Sillería punteada: Fábrica en la que los sillares acusan en su paramento el picado definido por las huellas del puntero o pico empleado para su labra.

Sillería uñeteada: Aquellos cuyos sillares acusan en su paramento los trazos paralelos definidos por las huellas de la uñeta ó el trinchante empleado en su labra.

Sillería abujardada: Aquella cuyos sillares acusan en su paramento las huellas de la bujarda o martellina empleada para su desbaste.

Sillería apiconada: La tratada a golpe de pico.

Sillería desbastada: En ella los sillares muestran en su paramento el acabado rústico dado a golpes de maza o martillo.

Sillería rústica: Aquella cuyos sillares acusan su paramento rústicamente tallado, con salientes y entrantes producidos intencionadamente durante su labra.

Sillería averrugada: Aquella en que los sillares acusan su paramento en relieve, en forma de caprichosos trazos sinuosos, entrecruzados y de corta longitud realizados a punta de puntero.

c.2) Tipos de aparejos en sillería

Aparejo isodomo: Aparejo en el que todos los sillares son iguales y ocupan una posición análoga, con solapos uniformes. Puede ser: de sogas o tizones.

Aparejo pseudoisodomo: Aparejo análogo al anterior, pero en el que las hiladas ofrecen alternativamente diferente altura.

Aparejo diatónico: Cuando presenta sogas y tizones alternados, en la misma hilada.

Aparejo inglés: Aquel en el que alternan las hiladas de sogas y las de tizones.

4. Muros

4.1 Tipos de muros según su forma

Muro plano: Aquel que ofrece en sus paramentos una superficie plana.

Muro recio: Muro plano definido por dos paramentos verticales y paralelos.

Muro esviado: Muro plano que tiene sus paramentos verticales, pero no paralelos. Su planta es trapezoidal.

Muro curvo: Aquel que ofrece en sus paramentos una superficie curva: cilíndrico, cónico, en cúpula, alabeado, etc.

Muro en talud: Cuando tiene uno de sus paramentos inclinado o los dos en distinto sentido. Su sección transversal es, generalmente, trapezoidal. Puede ser: plano o curvo.

Muro inclinado: El que tiene los dos paramentos paralelos e inclinados en el mismo sentido.

Muro en rampa: Muro que tiene su coronación inclinada. Su alzado es trapezoidal. Puede ser: plano o curvo.

4.2 Tipos de muros según su situación y su función

Muro resistente o de carga: El que desempeña una función de sustentación y recibe las cargas procedentes de otros elementos de obra. Según su posición en la edificación, puede ser: *de crujía, de traviesa, de fachada*, etc. Cuando el muro traviesa está en un extremo, se denomina *muro piñón*.

Muro de arriostamiento o de rigidez: Muro dispuesto especialmente para desempeñar una función estabilizadora, equilibrando los empujes de otro muro o de otro elemento estructural.

Muro autoportante: El que normalmente sólo recibe las cargas de su peso propio, transmitiéndolas hasta la cimentación/pero que frente a acciones horizontales de viento o sísmicas actúa como muro de arriostamiento o de rigidez.

Muro de contención: Muro dispuesto para contener los empujes procedentes de un terreno situado a distinto nivel y del almacenamiento de líquidos u otros elementos.

4.3 Tipos de muros según su situación y su organización constructiva

Muro a cara vista: El que acusa en su paramento el aparejo y juego de juntas.

Muro aparejado: Muro macizo trabado en todo su espesor y ejecutado con un solo tipo de piezas.

Machón: Muro de longitud poco mayor que su espesor.

Pilastra: Machón de planta sensiblemente cuadrada.

Muro apilastrado: Muro aparejado reforzado con retallos en forma de pilastras o machones transversales.

Muro en palomar o tabiquillo: El constituido por ladrillos colocados a panderete y separados entre sí en cada hilada, dejando huecos a modo de celosía, con el fin de aligerar ciertos elementos de obra. Pueden servir de apoyo o soporte de otros

elementos constructivos (tableros de terraza o cubierta) o desempeñar una función de ventilación o iluminación.

Muro ciego: El que ofrece sus paramentos, sin ningún hueco.

Muro liso: Muro en el que todas las piezas están enrasadas en el plano que define el paramento.

Muro macizo: Aquel en que la fábrica llena por completo el espacio comprendido entre ambos paramentos. .

Muro moldurado: Aquel en el que se destacan vuelos o retranqueos de las piezas ofreciendo un paramento en relieve.

Muro para revestir: El que está destinado a recibir un revestimiento superficial. No se le exige gran perfección de acabado a sus paramentos.

Muro romano: El que está definido por fábrica de un mismo material en ambos paramentos y con relleno interior de hormigón, fábrica de ladrillo, etc., de inferior calidad.

Muro trasdosado: Muro que a una cara presenta un aparejo realizado con piezas que sirven a la vez de encofrado a un relleno u otra fábrica de peor calidad en el trasdós.

4.4 Elementos de un muro

Cimentación: Unidad de obra empotrada en el terreno destinada a transmitir y repartir sobre éste las cargas procedentes del muro.

Zarpa: Resalto de la cimentación sobre el ancho del muro.

Zócalo o basamento: Parte inferior del muro, generalmente de mayor anchura.

Paramento: Haces o caras mayores del muro. Se diferencian los paramentos de «trasdós» e «intradós».

Plano de arranque: Plano superior de la cimentación en el que se replantea el muro y se inicia su construcción.

Coronación: Remate del muro, generalmente volado sobre los paramentos para protegerlos de la lluvia, con su correspondiente vierteaguas y goterón.

Goterón: Ranura, muesca, resalto o cualquier otra forma que adopta el plano inferior de una cornisa o voladizo para impedir el acceso del agua al paramento.

Albardilla o barda: Coronación o rematé de muros o tapias destinada a proteger la parte superior de los mismos de la acción de la lluvia.

Cornisa: Elemento de obra que sobresale en voladizo del paramento de una construcción, sirviendo de protección, remate y coronación a dicho paramento.

Canecillos o modillones: Ménsulas con forma decorativa que sobresalen de un paramento y sirven para sustentar el vuelo de una cornisa.

Imposta: Hilada algo volada, a veces con moldura, que divide un paramento, o sobre la cuál va sentado un arco.

Retallo: Resalto que queda en el paramento de un muro dividiéndolo en dirección vertical.

Tempano: Obra de fábrica comprendida entre dos verdugadas.

Verdugada: Hilada de ladrillos o piedras que se interponen en ciertas obras de fábrica para aumentar su resistencia.

Enjarje: Conjunto de entrantes y salientes que se dejan en las sucesivas hiladas de una obra de fábrica al suspender su construcción, para que al continuar la obra se pueda conseguir una buena trabazón.

Adarajas y endejas: Cada uno de los entrantes y salientes del enjarje.

Mechinales: Pequeños huecos dejados provisionalmente durante la construcción para apoyar en ellos los elementos auxiliares de construcción, tales como andamios y apeos. También reciben esta denominación los huecos de drenaje que se dejan en los muros de contención para dar salida al agua del terreno, o a los practicados en un muro ciego para ventilación de cámaras, desvanes, etc.

4.5 Elementos de los huecos de los muros

Antepecho: Cierre inferior del hueco de una ventana, constituyendo un pretil protector.

Luz: Distancia horizontal entre telares.

Altura: Distancia libre vertical entre el intradós del cierre superior y el alféizar o umbral, según se trate de ventanas o puertas.

5. Arcos

Unidades de obra de fábrica de directriz curva que salvan un vano, con una organización constructiva tal que sus sucesivas dovelas sólo absorben esfuerzos de compresión.

5.1 Tipos de arcos según su forma

Arco abocinado: El que salva distinta luz en sus dos frentes. Su intradós es una superficie cónica o conoidal.

Arco de medio punto: Aquel cuyo intradós está definido por una semicircunferencia.

Arco escarzano: Arco circular rebajado, cuyo intradós tiene su centro en el vértice de un triángulo equilátero construido sobre la línea de arranque.

Arco peraltado: En obras de fábrica, aquel cuya flecha es mayor que la mitad de la luz.

Arco rebajado: En obras de fábrica, aquel cuya altura es menor que la mitad de su luz.

Arco apuntado: El formado por dos arcos circulares tangentes a las líneas de telares y que se cortan en vértice agudo en la clave

Arco cumplido: Arco apuntado equilátero.

Arco carpanel: Arco simétrico que consta de distintos arcos de circunferencia tangentes entre sí y tangentes, en sus extremos, a las líneas de telares.

Arco cojo: Arco que tiene sus arranques a distinto nivel.

Arco rampante: El que, teniendo sus arranques a distinto nivel, queda definido en su intradós por dos arcos de circunferencia acordados entre sí y con las líneas de telares.

5.2 Tipos de arcos según su organización constructiva

Arco de roscas: El definido por una o varias roscas superpuestas que se adaptan a la forma de la directriz.

Arco aparejado: Aquel en que cada dovela está constituida por una hilada, debidamente aparejada con sus inmediatas.

Arco de descarga: Arco que forma parte de un muro de obra de fábrica, destinado a transmitir las cargas procedentes del muro directamente a los arranques o estribos de otro arco o dintel colocado bajo el.

5.3 Elementos geométricos del arco

Luz: Distancia horizontal medida entre arranques; «luz libre», la medida entre los telares de arranque y «luz de cálculo», la medida entre ejes de arranque.

Flecha o sagita: Altura de la directriz del arco respecto a la línea de arranque.

Montea: Altura del intradós de la clave respecto a la línea de arranque.

Peralte: La relación de la flecha a la luz.

Profundidad o ancho: La dimensión del arco en dirección normal a su plano y que, por regla general, coincide con el ancho del muro correspondiente.

Espesor o canto: La distancia comprendida entre el intradós y trasdós del arco.

Directriz: Línea media del arco.

Línea de presiones: La definida por los puntos de paso de las sucesivas resultantes parciales de compresión en las correspondientes secciones del arco.

Línea de arranque: La que une los puntos de arranque del arco.

Frente o plano del arco: Es el definido por su paramento frontal.

Intradós: Superficie definida por el paramento interior del arco. Su punto más alto recibe el nombre de «vértice» ó «ápice»; y la línea de vértice se denomina «espinazo».

Trasdós: Superficie definida por el paramento superior del arco.

Telar: El plano normal al frente del arco y que limita el estribo.

5.4 Elementos constructivos del arco

Estribo: Cada uno de los macizos de fábrica que sostienen el arco y que reciben los esfuerzos procedentes de este.

Arranque: Cada una de las secciones de apoyo ó nacimiento del arcó.

Riñón o enjuta: Cada una de las zonas intermedias del arco comprendidas entre arranques y clave.

Tímpano o recalzado: Partes de fábrica que descansan sobre los riñones del arco, hasta la altura del trasdós de la clave.

Dovela: Cada una de las piezas que componen el arco.

Clave: Dovela central del arco.

Contraclave: Cada una de las dovelas adyacentes a la clave.

Salmer o almohadón: Cada una de las dovelas de arranque del arco.

6. Reglas generales de calidad

De las exigencias funcionales mencionadas se derivan, para los distintos tipos de unidades de obra de fábrica en edificación, las Reglas Generales de Calidad a tener en cuenta tanto en el proyecto como en la fabricación y elección de materiales y ejecución de la obra.

6.1 Reglas de calidad que derivan de las exigencias de seguridad

6.1.1 Elementos estructurales de obra de fábrica

a) Cimentaciones

En particular, la profundidad del firme elegido para la cimentación y la superficie cargada deberán ser tales que las tensiones de trabajo del terreno queden, con el suficiente margen de seguridad, por debajo del valor correspondiente a la presión de hundimiento del terreno, obtenido tras el reconocimiento y resultado de los ensayos previos efectuados de acuerdo con los métodos de la Mecánica del Suelo.

El coeficiente de seguridad respecto a la presión de hundimiento no será inferior a 2, siendo aconsejable tomar el valor 3.

Por otra parte, con el fin de evitar, en lo posible, la aparición de fisuras en las obras de fábrica, deberán tenerse en cuenta también los asientos generales admisibles, debiendo ser, además, las diferencias de asiento entre cada dos puntos lo más reducidas posible y como máximo 1/1000 de su separación.

Si el terreno de características adecuadas para la cimentación está a poca profundidad, puede emplearse el sistema de cimentación con zapatas corridas. Si la profundidad es superior a 3 m, puede ser más aconsejable la cimentación con pilas, si la excavación de pozos es posible, o con pilotes, en caso contrario.

5 Pueden preverse, también, de mampostería o de fábrica de ladrillo con análogas precauciones.

Según el tipo de cimentación, se seguirán las siguientes prescripciones:

a.1) Cimentación con zapatas:

- La profundidad de la zanja será, como mínimo, de 25 cm, y en todo caso será suficiente para salvar los terrenos vegetales u orgánicos, los de relleno o echadizos y los fangos. Se evitará la cimentación sobre los terrenos «deficientes», a no ser que se determine experimentalmente el valor admisible.
- Las zapatas de cimentación de muros deben ser continuas en toda la longitud de éstos, pasando por debajo de los huecos si su ancho no es superior a dos veces la altura de la zapata.
- Las cimentaciones de los distintos muros longitudinales y transversales deberán enlazarse sin perder su continuidad y de la forma más eficaz posible.
- La base de la zapata de un muro se preverá en un plano horizontal, cuando sea posible económicamente; en caso contrario, se distribuirá en banqueos con uniformidad. La altura de cada banqueo no será superior a 3/4 de la altura de la zapata.
- Las zapatas de pilares pueden ser aisladas y deben estar en un solo plano horizontal.

a.2) Cimentación con pilas:

- Se emplearán pilas de cimentación, cuando la profundidad del terreno adecuado para cimentar haga desaconsejable la solución de zapatas y las condiciones del terreno superior permitan la excavación económica de pozos.

b) Muros resistentes

b.1) Dimensionamiento

- Cada elemento de muro quedará definido geoméricamente por las dimensiones de sus secciones en planta (y en vertical, cuándo sea preciso) y su altura h medida entre la base y la coronación.

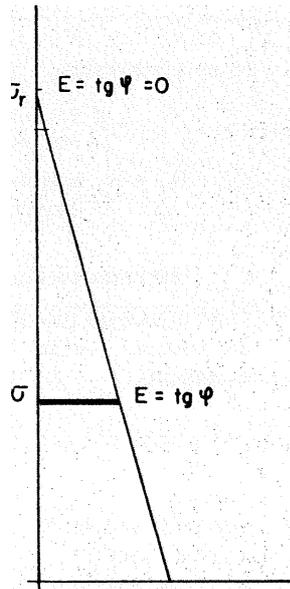
b.2) Deformabilidad de la obra de fábrica

- El modulo de deformación E de una obra de fábrica que se precisa conocer para el cálculo de las deformaciones de la misma o de las rigideces de los elementos construidos con ella, podrá obtenerse experimentalmente mediante ensayos. Pero teniendo en cuenta el comportamiento elástico-plástico de los materiales, los ensayos deberán realizarse durante un tiempo suficiente para cada escalón de carga con el fin de que pueda evaluarse la deformación reológica final estabilizada.
- A partir de los valores obtenidos en dichos ensayos, puede determinarse la curva tensiones-deformaciones (σ - ϵ), representativa de la variación del valor del módulo de deformación E , desde el instante inicial de puesta en carga hasta la rotura.
- Para cada valor de la tensión σ , quedará determinado el valor del módulo E por el de la pendiente de la tangente a esta curva en el punto correspondiente.
- Si no se realizan ensayos, puede obtenerse el valor inicial $E_0 = \text{tg } \varphi_0$ del módulo de deformación de la fábrica en función de la resistencia a compresión σ_r mediante la fórmula experimental:

$$E_0 = \alpha \cdot \sigma_r$$

α = el coeficiente de deformabilidad de la fábrica, cuyo valor puede tomarse de la tabla, en función de la clase de obra de fábrica y del tipo de mortero.

- El módulo de deformación $E = \text{tg } \varphi$ correspondiente a otros valores σ de la tensión de trabajo, podrá determinarse a partir del valor E_0 considerando que dicho modulo E se anula para un valor convencional de la tensión de trabajo que puede tomarse igual a 1,1 veces la tensión de rotura σ_r , admitiendo una ley lineal de variación de dicho modulo.



- Para cálculos de estabilidad de obras de fábrica ante las solicitaciones repetidas y alternadas o vibraciones, puede tomarse como valor del módulo de deformación E , el inicial (E_0):

$$E = E_0 = \alpha \cdot \sigma$$

- Para los cálculos en el límite de la capacidad resistente puede tomarse como valor de E el dado por la expresión:

$$E = 0,5 \cdot E_0 = 0,5 \cdot \alpha \cdot \sigma$$

- Para cálculos de las deformaciones en sistemas hiperestáticos bajo la carga de servicio o para la determinación de las rigideces de los elementos de obra de fábrica, puede tomarse el siguiente valor:

$$E = 0,8 \cdot E_0 = 0,8 \cdot \alpha \cdot \sigma$$

Coeficientes de ponderación

Caso de carga según Norma M.V. 101-1962	Clase de acción	Coeficiente de ponderación γ , si la acción es:	
		Desfavorable	Favorable
Caso I	Con cargas	1,60	1
	Sobrecargas de uso	1,60	0
	Sobrecargas de nieve	1,60	0
	Empujes del terreno	1,60	1
	Asientos de apoyo	Discrecional	
Caso II	Con cargas	1,40	1
	Sobrecargas de uso	1,40	0
	Sobrecargas de nieve	0	0
	Empujes del terreno	1,40	1
	Asientos de apoyo	Discrecional	0
	Acciones del viento	1,40	0
	Térmicas y reológicas	Discrecional	0
Caso III	Con cargas	1,00	1
	Sobrecargas de uso	1,00	0
	Sobrecargas de nieve	0,50	0
	Empujes del terreno	1,25	1
	Asientos de apoyo	Discrecional	0
	Acciones del viento	0,50	0
	Térmicas y reológicas	Discrecional	0
	Acciones sísmicas	1,00	0

Coeficiente de deformabilidad

Clase de fábrica	Tipo de mortero			
	M-160 a M-40	M-20 y M-10	M-5	En seco
Sillería de piedra natural	3000	2500	2000	1500 - 500
Mampostería de piedra natural	2500	1500	1125	500
Ladrillos macizos	2500	2000	1500	-

b.3) Tensiones de trabajo

El cálculo de las tensiones σ correspondientes a cada tipo de sollicitación podrá efectuarse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Compresión simple:*

La tensión resultante σ en una sección en la que actúe un esfuerzo normal N^* en un punto G coincidente con el baricentro de la sección, vendrá definida por la expresión:

$$\sigma = N^* \frac{1}{A}$$

A = la superficie total de la sección del elemento de muro, deduciéndole las entalladuras, ranuras, canales, revocos, o cualquier otra merma eventualmente existente.

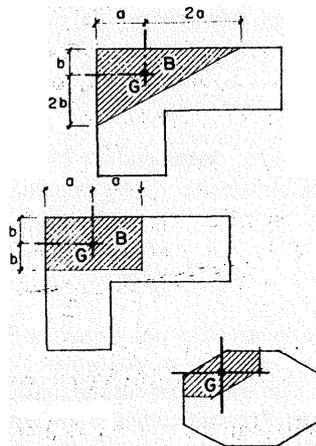
Cuando esté previsto el empleo de ladrillos o piezas perforadas o huecas, no deberá deducirse la superficie de las perforaciones aunque éstas vayan sin rellenar de mortero.

- *Compresión excéntrica:*

Si la resultante N^* está aplicada en un punto G no coincidente con el baricentro de la sección, la tensión σ podrá obtenerse como en el caso anterior, por la expresión:

$$\sigma = N^* \frac{1}{B}$$

admitiendo una distribución uniforme de tensiones en una parte B de la sección A , denominada «sección eficaz», y que queda delimitada por una recta secante tal, que el baricentro de dicha sección B coincida con el punto G



G = punto de aplicación de la carga

B = sección eficaz

Si esta sección eficaz fuese de difícil determinación geométrica, podrá sustituirse por otra sección de más fácil determinación, que se aproxime a la anterior, esté comprendida en la sección total y cuyo baricentro coincida, también, con el punto G .

En casos excepcionales, podrá admitirse que la fábrica resiste tensiones de tracción de valor no mayor que $0,1 \sigma^*$ en valor absoluto, ni superior a la mitad de la tensión de adherencia, por tracción, entre la pieza y el mortero, justificándolo en proyecto y tomándose las precauciones constructivas necesarias para garantizar la precisa adherencia entre el mortero de juntas y el ladrillo.

En estos casos, la tensión resultante σ debida a la sollicitación podrá obtenerse:

$$\sigma = \frac{N^*}{A} \pm \frac{M^*}{W I} \pm \frac{M_{n^*}}{W II}$$

A = la sección considerada para el caso de compresión simple;

$W I$ y $W II$ = los módulos resistentes de la misma sección respecto a sus ejes principales de inercia.

- *Esfuerzo cortante:*

Si en la sección de un elemento actúa un esfuerzo cortante T^* simultáneamente con un esfuerzo normal N^* , la tensión σ máxima resultante podrá obtenerse:

$$\sigma = \frac{N^* \pm \sqrt{N^{*2} + 4T^{*2}}}{2B}$$

siendo B el área de la sección eficaz definida anteriormente para el caso de compresión excéntrica y teniendo en cuenta que el signo menos corresponde a las tensiones de tracción, admitiéndose para éstas en las mismas condiciones anteriores valores no superiores a $0,1 \sigma^*$.

Si no actúa esfuerzo normal simultáneamente, bastará comprobar únicamente la tensión de tracción:

$$\sigma = \tau = \frac{T}{A} \leq 0,1 \sigma^*$$

b.4) Retracción de los morteros

- Para evitar fisuraciones debidas a la retracción del mortero de junta, la resistencia a tracción de las piezas que compongan la fábrica deberá ser suficiente para absorber las tensiones que puedan originarse como consecuencia de dicha retracción. A este fin, deberá tenerse en cuenta que, cuánto más rico sea el mortero, mayor es la retracción que experimenta; por lo que la resistencia a tracción de las piezas que hayan de utilizarse deberá ser función del tipo de mortero empleado y del espesor de juntas adoptado.

b.5) Juntas de dilatación

- Para evitar fisuraciones en las obras de fábrica deberán preverse los efectos debidos a variaciones higrotérmicas de los materiales. Coeficiente de dilatación térmica de la fábrica de piedra natural: $0,8 \times 10^{-5}$
- En general, para evitar los efectos debidos a estas dilataciones, deberán preverse juntas de dilatación de modo que no existan tramos de obra de fábrica sin junta, según cada tipo de obra de fábrica:

Tipo de obra de fábrica	Condiciones climáticas	Longitudes máximas, en m, de las obras de fábrica sin junta de dilatación con morteros tipo		
		Morteros M-160 y M-80	Morteros M-40 y M-20	Morteros M-10 y M-5
Piedras naturales	Clima marítimo	25	30	40
	Clima continental	20	25	30

- Los valores corresponden a edificios de planta rectangular o concentrada. Si la planta tiene forma asimétrica, se dispondrán juntas de dilatación en las líneas de encuentro de las alas, siempre que las longitudes de éstas sean mayores que la mitad de los valores dados.
- La junta se preverá con solapo.

b.6) Muros de cantería

- La resistencia de cálculo σ^* de las fábricas de cantería quedará determinada por la expresión:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_K}{\gamma_m}$$

σ_K = valor característico de la resistencia a compresión de la fábrica en kp/cm^2 , obtenido mediante el ensayo correspondiente, o en su defecto, mediante la siguiente tabla, en función del tipo de fábrica de cantería (mampostería o sillería) y del mortero de juntas.

γ_m = coeficiente de minoración de resistencia, puede considerarse = 2,5.

Clase de piedra	Resistencia de la piedra (Kp/cm ²)	Resistencia a compresión de cálculo σ^* según la clase de fábrica					
		Sillería			Mampostería		
		A hueso con asientos labrados (kp/cm ²)	Sillares $h \geq 30cm$ con mortero tipo mínimo M-80 (kp/cm ²)	Sillares $h < 30cm$ con mortero tipo mínimo M-40 (kp/cm ²)	Escuadrada con mortero tipo mínimo M-40 (kp/cm ²)	Concertada con mortero tipo mínimo M-5 (kp/cm ²)	En seco (kp/cm ²)
Granito Sienita Basalto	≥ 1000	80	60	40	25	10	7
Arenisca cuarzosa Caliza dura Mármol	≥ 300	40	30	20	12	8	6
Arenisca caliza Caliza blanda	≥ 100	20	15	10	8	6	5

Es necesario recordar que para expresar la resistencia a la compresión en N/mm² los KP/cm² deben multiplicarse por 0,1.

- En el caso de cargas aisladas, la tensión de trabajo en la superficie de aplicación de dichas cargas podrá sobrepasar en un 25% los valores indicados en la tabla, a condición de que, después de la distribución de las cargas a 45° en el interior de la fábrica, la tensión de trabajo en las superficies de junta no sea superior a la indicada en dicha tabla.
- Requisitos de resistencia y estabilidad según clases de muro:

a) *Muros de cantería:*

Las superficies de asiento deberán ser normales a los esfuerzos principales a que esté sometida la fábrica, para evitar el resbalamiento de una hilada sobre otra. Dichas superficies deberán ser normales a los paramentos de las fábricas, continuas en todo el elemento de obra para definir las hiladas, y lo más sencillas posible. Cuando no sea posible ajustarse estrictamente a esta regla, por ej., en fábricas de mampostería debido a la irregularidad que presentan los mampuestos debe preverse el enrase de los planos de asiento al menos cada metro. Con el fin de evitar la fisuración por retracción en el mortero de las juntas e impedir que la humedad quede retenida entre las hiladas, se recomienda el empleo de morteros bastardos como material de agarre, ya que el empleo de morteros de cemento daría demasiada rigidez a la fábrica y exigiría juntas de espesor reducido y dosificaciones pobres.

b) *Muros romanos y trasdosados:*

A efectos de resistencia podrá contarse con la colaboración de todo el espesor de la fábrica, siempre que se tome como tensión de cálculo σ^* la correspondiente al material menos resistente. Cuando sólo haya de trabajar la fábrica exterior o más resistente, podrá tomarse la tensión de cálculo correspondiente a dicha fábrica considerando únicamente el espesor de la misma.

Las superficies de asiento deberán ajustarse a las mismas prescripciones citadas anteriormente y deberá estar previsto el anclaje y engatillado de la fábrica exterior con la interior.

c) *Muros verdugados:*

Las dimensiones de verdugadas y témpanos se ajustarán a las especificaciones correspondientes a los muros de ladrillo.

Las superficies de asiento y leyes de traba de los témpanos deberán ajustarse a las mismas condiciones citadas anteriormente. Las verdugadas estarán previstas con materiales homogéneos, en cada plano horizontal; ocuparán todo el espesor de la fábrica y quedarán debidamente aparejadas, sirviendo de zuncho a la fábrica.

d) *Pilares:*

Los elementos de obra de fábrica de cantería de pequeña sección horizontal, como pilares, deberán ser ejecutados con piedras enterizas en toda la sección, escuadradas o aplantilladas y de $h_{max} = 50$ cm.

Los pilares exentos no deberán soportar esfuerzos oblicuos ni excéntricos. Para que soporten los esfuerzos horizontales debidos a la acción del viento, deberán aumentarse en un 10%, 15% o 20%, las cargas verticales que actúen sobre ellos según la situación del pilar (resguardado, en fachada, o en esquina, respectivamente).

e) *Arcos de obra de fábrica*

e.1) *Organización constructiva.*

Debe preverse, en función del tipo de carga, de tal modo que las distintas dovelas absorban, fundamentalmente, esfuerzos de compresión. Para ello, la directriz deberá acomodarse lo más posible a la línea de presiones correspondiente a la ley de cargas y que las superficies de hiladas sean normales a los esfuerzos a que hayan de estar sometidas las dovelas, con objeto de evitar el deslizamiento de una hilada sobre otra.

Cuando los arcos desempeñen una función resistente importante, deberá recurrirse a soluciones aparejadas, e incluso, en algunos casos, al empleo de

ladrillos o piezas aplantilladas para disminuir y uniformizar los gruesos de las juntas.

Los arcos de roscas de fábrica de ladrillo se emplearán cuando las cargas sean moderadas. El número de dovelas deberá ser el mismo para que sus deformaciones sean análogas.

Si el cierre superior de un hueco se resuelve mediante arcos de obra de fábrica, en función de la forma que adopte su directriz:

- En arcos de medio punto, el despiece se preverá mediante planos de junta radiales. Es conveniente escalonar el trasdós para favorecer la traba con el muro.
- En arcos escarzanos, las soluciones constructivas serán análogas a las de los arcos adintelados.
- Los arcos apuntados se emplearán preferentemente, para absorber cargas aisladas aplicadas en la clave. Sus planos de junta se ordenarán normales al intradós, y el trasdós es conveniente que sea escalonado.
- El aparejo del arco puede disponerse sin clave, con la junta central, o bien siguiendo la solución tradicional de emplear claves de gran dimensión y peso.

e.2) Tensiones

La tensión de trabajo correspondiente a las acciones mayoradas en cualquier sección del arco no deberá sobrepasar la resistencia a compresión de cálculo, obtenida a partir de la resistencia característica de los materiales que lo constituyen.

e.3) Empujes

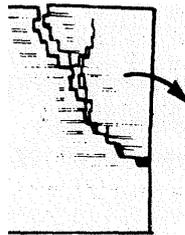
Los empujes producidos por los arcos podrán absorberse con estribos

7. Muros resistentes, forma de manifestación de las fisuras

7.1 Muros sometidos a carga centrada y uniforme

a) Por fallo local:

Causas: muros ejecutados defectuosamente o con piezas de calidades no uniformes. La rotura se inicia por el fallo de la pieza más débil y el muro tiende a girar sobre esta pieza y en su propio plano.



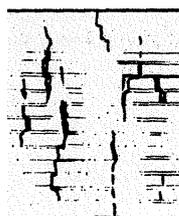
b) Por aplastamiento de las piezas:

Causas: muros construidos con piezas de baja resistencia a compresión o con piezas con huecos horizontales en las que su resistencia a tracción longitudinal es, en general, suficiente para absorber las tracciones producidas por las deformaciones del mortero.

Es el tipo de muro en el que se aproxima más la resistencia a compresión de las piezas a los valores de la resistencia a compresión de la fábrica.

c) Por aplastamiento del mortero:

La aparición de tensiones de tracción longitudinales origina la rotura transversal del muro por fallo de sus piezas a tracción. La rotura se acusa por la aparición de fisuras verticales, que aumentan en número y amplitud con el progreso de la carga.



Causas: muros construidos con:

- morteros pobres
- piezas poco resistentes a tracción longitudinal (ej.: con perforaciones verticales)
- piezas de poco grueso
- juntas de gran espesor

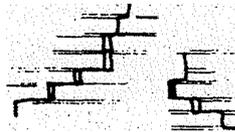
d) Por pandeo:

Causa: la reducción de los espesores de los muros (aumento de la esbeltez) por economía y rapidez en la ejecución. La flexión originada causa la rotura del muro, que puede producirse por:

- aplastamiento de las piezas en la zona más comprimida.
- separación entre las piezas y el mortero en la zona de tracción por falta de adherencia.

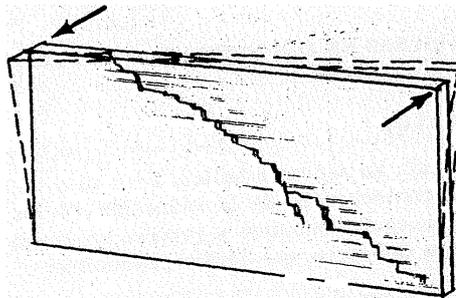
e) Por retracción:

Causa: uso de morteros muy ricos, juntas de gran espesor y baja resistencia a tracción de las piezas. Como consecuencia de la retracción de los morteros, se produce la fisuración de las piezas, aun antes de su puesta en carga. Esto ocurre, en el caso de empleo de ladrillos poco cocidos, o piezas perforadas verticalmente.



f) Por alabeo:

Causa: en muros de gran longitud y esbeltez, las deformaciones transversales producidas pueden tomar a lo largo del muro distinto sentido. El efecto de estos esfuerzos es análogo al de una torsión.



7.2 Muros sometidos a cargas no uniformes

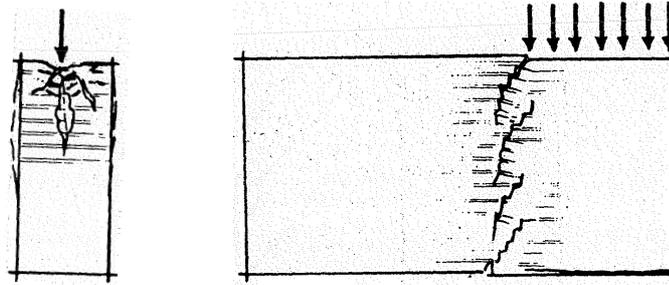
a) Por aplastamiento local:

Causas: cuando el valor de las tensiones originadas bajo un apoyo aislado sobrepasa las tensiones de rotura de las piezas que directamente las soportan.

Es forma de rotura frecuente en apoyos de dinteles, jácenas, etc., sobre fábricas ejecutadas con piezas de baja resistencia a compresión, piezas huecas, etc.

b) Por tracciones locales:

Causas: la actuación de cargas aisladas sobre entrepaños y pilares ejecutados con piezas de suficiente resistencia a compresión, pero incapaces de soportar las tracciones transversales que se producen como consecuencia de la distribución de tensiones sobre una superficie mayor de muro y que quedan de manifiesto con la inclinación de las isostáticas.



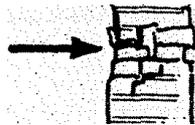
c) Por esfuerzo cortante:

Causas: la actuación de una fuerza aislada o en el plano de separación entre zonas sometidas a tensiones o deformaciones muy variadas. Es una forma de rotura cuando se producen cedimientos de apoyos.

7.3 Muros sometidos a acciones horizontales

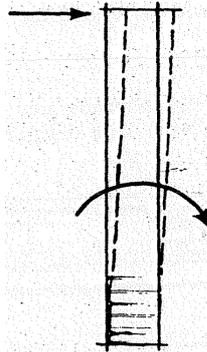
a) Por punzonamiento:

Causas: un efecto tipo choque que debe ser absorbido por los muros de obra de fábrica.



b) Por vuelco:

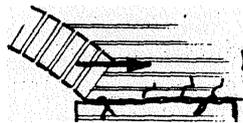
Causas: cuando el muro no está debidamente anclado en su base o en su coronación. Es bastante frecuente que se origine durante la construcción del muro por la acción del viento, ya que en sus primeros momentos no está cargado con su peso definitivo que hace de estabilizador, no existe el arriostramiento proporcionado por otros elementos constructivos y no existe, aún la debida adherencia entre mortero y ladrillo. Es frecuente también en muros de contención. Se llega a esta forma de rotura cuando las acciones horizontales (viento, sismos, empujes, etc.) no son debidamente absorbidas por el espesor del muro, por muros transversales o por otras disposiciones constructivas.



c) Por desgarramiento:

Causas: se produce a lo largo de los planos de junta en muros sometidos a cargas verticales reducidas y tensiones horizontales fuertes en la dirección longitudinal del muro.

Se presenta, frecuentemente, en los arranques de arcos en extremos de un muro.



7.4 Reglas de calidad que se derivan de las exigencias de durabilidad

- Los materiales utilizados en obras de fábrica que no sean fácilmente reemplazables (cimentaciones, muros resistentes, etc.) deberán presentar una estabilidad físico-química suficiente ante la acción de los agentes exteriores, teniendo en cuenta su función y las reacciones más o menos lentas que puedan desarrollarse entre ellos.
- Los materiales que no puedan ser objeto de un mantenimiento normal, por su naturaleza o disposición en la obra, no serán afectados sensiblemente por los ataques de los agentes corrosivos a que puedan estar sometidos durante el período de vida del edificio en condiciones normales de uso. Para ello podrá recurrirse a un revestimiento de protección. En particular, deberá tenerse en cuenta la acción de los posibles agentes que puedan actuar como consecuencia de la situación del edificio, como: los humos en zonas, industriales, el ambiente salino y húmedo en zonas marítimas, etc.
- En cantería, podrá utilizarse, como medio de protección, alguno de los sistemas comúnmente empleados: silicatado, fluatación, baritado e impermeabilización. También, deberá tenerse en cuenta el peligro de heladicidad de las piedras, por lo que, en regiones frías, se tomarán las debidas precauciones, pudiéndose recurrir al pulimento de la piedra cuando ésta lo permita, como el granito, la sienita, la diorita, etc.

8. Piedras de cantería

8.1 Condiciones generales de las piedras naturales

1.1. *Aspecto y textura:*

- Se presentarán limpias de barro, yeso o de cualquier materia extraña que pueda disimular los defectos.
- Carecerán de grietas; pelos, coqueras, restos orgánicos incluidos en su masa, nódulos o riñones, blandones, oquedades, etc., y no deberán estar dañadas por causa de los explosivos empleados en su extracción. La comprobación de la existencia de estos defectos en su masa podrá efectuarse mediante el sonido producido al ser golpeadas por medio de la maceta o martillo.

1.2. *Homogeneidad:*

- Serán compactas, y dentro de una misma unidad de obra, serán de grano homogéneo y de la misma clase de piedra.
- La densidad de cada piedra no deberá diferir en más de un 5% del valor medio.

1.3. *Absorción:*

- El coeficiente α de absorción normal no debe ser superior a 4,5 %.

1.4. *Heladicidad:*

- Cuando, por su situación, la obra de fábrica pueda estar sometida a efectos de heladicidad, las piezas de la cantería, sometidas al método de ensayo, deberán dar un resultado favorable.

1.5. *Resistencia al fuego:*

- Si se prevé que las piezas de cantería van a estar sometidas a altas temperaturas (chimeneas, hogares, etc.), no deberán perder más de un 5 % de su resistencia después de ensayadas.

1.6. *Dureza:*

- Las piedras reunirán las condiciones de labra en relación con su clase y destino, debiendo, en general, ser trabajables con los medios habituales de cantería en obra. En casos determinados, se podrá exigir que reúnan condiciones especiales para la labra de adorno y para su pulimento o, incluso, que posean una resistencia determinada a la percusión o al desgaste por rozamiento.

1.7. *Adherencia:*

- La superficie de las piedras que haya de quedar en contacto con el mortero de agarre será suficientemente rugosa para que ofrezca una adherencia capaz de

resistir un esfuerzo a tracción, en la junta entre mortero y piedra, no inferior a 2 kp/cm² a los 28 días.

1.8. Características mecánicas:

- Las características mecánicas de la piedra: resistencia a flexión y compresión, podrán obtenerse mediante los métodos de ensayo o mediante tablas.

1.9. Otras características:

- Cuando no se determine su procedencia ni se conozca el comportamiento de las piedras, podrá exigirse la presentación de muestras para la comprobación de sus características mediante ensayos de laboratorio.

8.2 Condiciones particulares de algunos tipos de piedra

2.1. Granitos

- Serán de grano fino y compactas, y de color uniforme.
- No se permitirá el empleo de granitos que presenten síntomas de descomposición de sus feldespatos característicos. Se rechazarán también los granitos abundantes en feldespato y mica, por ser fácilmente descomponibles.
- La resistencia característica a la compresión no será inferior a 1000 kp /cm². = 100N/mm²
- A efectos de cálculo: peso específico del granito 2600 a 3000

2.2. Calizas

- Serán de grano fino y color uniforme.
- La composición de la caliza dependerá de su procedencia, rechazándose aquellas que contengan sustancias extrañas en cantidad suficiente para llegar a caracterizarlas. No se admitirán las excesivamente bituminosas y que acusen el betún por su color oscuro y su olor característico. Serán, asimismo, desechadas las que contengan demasiada arcilla, por su heladicidad y su disgregación fácil en contacto con el aire.
- La resistencia a compresión será superior a 300 kp/ cm². = 30 N/mm²
- A efectos de cálculo: peso específico de la caliza 2000 kg/m³.

2.3. Areniscas

- Su color podrá ser variable entre el blanco y el ligeramente coloreado de amarillo, rojo, gris verdoso, etc., de acuerdo con los arrastres sufridos por la arena antes de constituirse la piedra, y serán ásperas al tacto.

- Serán preferidas, por sus mejores cualidades de dureza, compacidad y resistencia a los agentes atmosféricos, las areniscas constituidas por granos de sílice. Se desecharán las areniscas con aglutinantes arcillosos, por ser muy descomponibles, pudiéndose comprobar la presencia de arcilla por el olor que acusa la arenisca al ser humedecida.
- Deberá evitarse el empleo de ésta clase de piedra sin previo análisis y ensayo de sus condiciones de naturaleza, resistencia mecánica y resistencia a la heladicidad.
- La resistencia característica a compresión no deberá ser inferior a $100 \text{ kp/cm}^2 = 10 \text{ /Nmm}^2$

8.3 Material de agarre

3.1. Componentes de los morteros

a) Cementos

TIPO DE CEMENTO	RECOMENDACIÓN
Portland P-250	Se recomienda su empleo en general.
Portland P-350	Sólo recomendable para morteros M-160. No se utilizará con ladrillos, bloques o piedras de resistencia inferior a R-200. No indicado con dosificaciones altas, que pueden producir fisuras por retracción.
Portland P-450	No recomendable, excepto en casos muy especiales y tomando las precauciones necesarias para evitar la fisuración por retracción.
De adición A-150	Puede emplearse para morteros M-40 o de resistencia inferior.
PAS 250 PAS 350	Indicados solamente para fábricas enterradas en contacto con terrenos o aguas selenitosas.
Siderúrgicos	Puede emplearse, pero existe peligro de desigualdades de coloración en los morteros.
Puzolánicos	Se recomienda su empleo. Sus morteros presentan en general mayor plasticidad que los de cemento portland.
Naturales	Indicado para morteros de baja resistencia. Salvo experimentación previa, no se mezclará con otros conglomerantes.
Aluminoso	No admisible para morteros.

b) Cales

b.1) Cales aéreas

El empleo preferente de cada tipo:

- *Cal aérea I*: revocos, blanqueos y acabados.
- *Cal aérea II*: trabajos toscos y morteros para sentar fábricas.

b.2) Cales hidráulicas

Pueden emplearse en obras de fábrica los tres tipos de cales hidráulicas (I, II y III), dependiendo de la resistencia mecánica requerida en cada caso.

3.2. Morteros

a) Dosificación

- La dosificación se expresará indicando el/los conglomerante/s, o empleado/s, y el número de partes, en volumen de conjunto de sus componentes. El último número corresponderá al número de partes de arena.
- Ejemplo: *Mortero de cemento P-250 y cal aérea 1:2:10*, indicará que se trata de un mortero formado por: una parte, en volumen de conjunto, de cemento *P-250*; dos partes, en volumen de conjunto de cal aérea y diez partes, en volumen de conjunto de arena.

b) Resistencia mecánica de los morteros

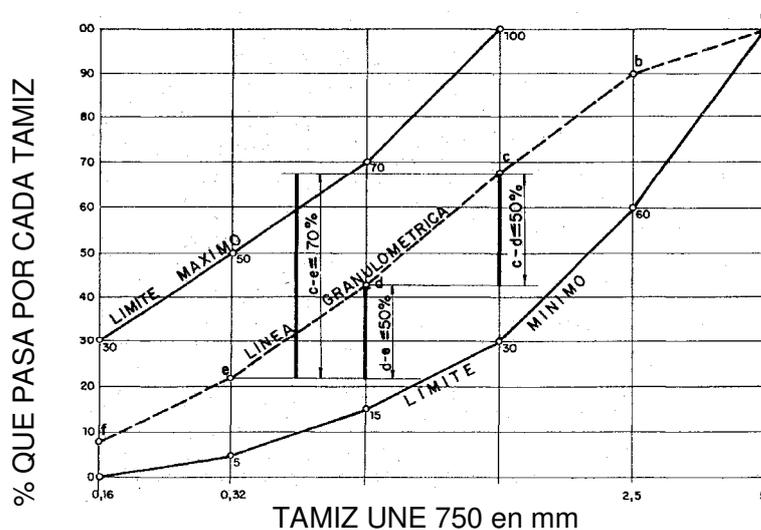
- La resistencia a compresión de un mortero, expresada en kp/cm^2 , vendrá definida por el valor medio σ_m de los resultados obtenidos del ensayo de 3 probetas de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$, con edad de 28 días, conservadas en ambiente húmedo a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ y bajo carga repartida sobre una superficie de $4 \times 4 \text{ cm}$ tomada sobre una de las caras mayores.
- La resistencia a tracción de los morteros, expresada en kp/cm^2 , podrá obtenerse sobre probetas de las mismas dimensiones y características, realizando el ensayo de flexión.

c) Plasticidad y consistencia

- La plasticidad de los morteros vendrá dada en función del contenido de cal y de finos en la arena (granos $< 0,08\text{mm}$), pudiéndose distinguir las tres clases:
 - *Plasticidad grasa*:
 - cal, cemento y arena con contenido de finos de 0 a 15 %;
 - cemento y arena con contenido de finos de 7 a 15 % (arena de miga).
 - *Plasticidad sogrosa*:
 - cemento y arena con 0 a 7 % de finos y un aditivo aireante plastificante.
 - *Plasticidad magra*:
 - cemento y arena con 0 a 7% de finos, y sin aditivo.
- La consistencia podrá determinarse midiendo el asentamiento en el cono de Abrams o el escurrimiento en la mesa de sacudidas.

d) Morteros tipo

- Como resistencia a compresión de los morteros tipo, que se definen en la tabla A en función de su dosificación, podrán tomarse los valores que, a modo de orientación, se dan en la tabla B, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:
 - Los componentes se ajustan a las condiciones referidas.
 - La línea granulométrica de la arena queda comprendida entre los límites máximo y mínimo que se señalan en el gráfico a continuación.
 - La plasticidad de los morteros se ajusta a alguna de las tres clases señaladas anteriormente.
 - Condiciones para la línea granulométrica de una arena:



- Dosificación de morteros tipo (Tabla A):

Mortero tipo		Partes, en volumen de conjunto, de			
		Cemento P-250	Cal aérea	Cal hidráulica	Arena
M-5	a	1	—	—	12
	b	1	2	—	15
M-10	a	1	—	—	10
	b	1	2	—	12
M-20	a	1	—	—	8
	b	1	2	—	10
	c	—	—	1	3
M-40	a	1	—	—	6
	b	1	1	—	7
M-80	a	1	—	—	4
	b	1	1/2	—	4
M-160	a	1	—	—	3
	b	1	1/4	—	3

- Resistencias de morteros tipo (Tabla B):

Mortero tipo	Resistencia (kp/cm ²)	Resistencia (N/mm ²)
M-5	5	0,5
M-10	10	1
M-20	20	2
M-40	40	4
M-80	80	8
M-160	160	16

- La consistencia, determinada midiendo el asentamiento en el cono de Abrams, será de 17 ± 2 cm.
- Si se determina la consistencia en la mesa de sacudidas, el escurrimiento será de 110 a 125 %. No se producirá segregación de los componentes de mortero, de manera que dos muestras obtenidas de lugares distintos de la masa, al cabo de algún tiempo, presenten, en todos los casos, la misma proporción de conglomerante, arena y agua.

9. Ejecución

9.1 Recepción de los materiales

a) Piedras de cantería

- Cuando la piedra se haya de recibir con los trabajos de labra ejecutados, el transporte deberá realizarse de manera que se garantice la integridad de las piezas, evitando los golpes o roces que puedan producir roturas, desconchones o desperfectos en los trabajos de labra.
- Si las dimensiones de los sillares o mampuestos alcanzan grandes dimensiones, se recurrirá a dispositivos especiales que permitan su fácil elevación y transporte, tales como: castañuelas (también llamadas gripias o clavijas); tijeras; tenazas; y hondillas. Pueden dejarse también, en ambos paramentos, salientes en forma de cubos que permitan coger la piedra fácilmente y, una vez sentada, entallarla para eliminar dichos salientes.
- Para el transporte horizontal pueden emplearse rodillos, generalmente de madera, impulsando a la piedra por medio de palancas; plataformas, con ruedas de llanta muy ancha y de pequeño diámetro; o trineos, que se deslizan por el suelo arcilloso, previamente humedecido.
- Cuando la piedra se reciba en obra sin los trabajos de labra ejecutados, no serán necesarias tantas precauciones, pero deberá evitarse la rotura de las piezas.

9.2 Preparación de los morteros

a) Amasado de los morteros

- El conglomerante en polvo se mezclará en seco con la arena, añadiendo después el agua. Si se emplea cal en pasta se verterá ésta sobre la arena, o sobre la mezcla en seco del conglomerante en polvo y la arena. El amasado de los morteros se realizará preferentemente con amasadora y hormigonera, batiendo el tiempo preciso para conseguir su uniformidad, con un mínimo de 1 minuto.
- El amasado a mano no es recomendable, podrá admitirse en pequeños trabajos, en que no esté justificado el empleo de la amasadora, siempre que se efectúe sobre una plataforma impermeable y limpia y con un mínimo de tres batidos.

b) Tiempo de utilización

- El mortero de cemento se utilizará dentro de las 2 horas inmediatas a su amasado. Durante este tiempo podrá agregarse agua, si es necesario, para compensar la pérdida de agua de amasado. Pasado el plazo, el mortero sobrante se desechará, sin reutilizar.
- El mortero de cal podrá usarse durante tiempo ilimitado si se conserva en las debidas condiciones.

c) Tolerancias

- En *fábricas vistas*, la tolerancia máxima de desviación de los tendeles será de 0,5 cm /metro, y la falta de verticalidad de las llagas no será superior a la tolerancia de la pieza empleada.
- Se prestará especial cuidado al «pañeado» o planeidad de «paramentos» o «haces», comprobándolo mediante una regla de canto colocada en distintas posiciones.
- En *fábricas vistas* no se tolerarán flechas superiores a 0,5 cm, medidas con reglones de 2 m de longitud.

d) Interrupción de los trabajos

Cuando, por cualquier motivo, haya que suspender los trabajos de construcción de un muro de fábrica, se dejará ésta:

- Con las diferentes hiladas formando entrantes y salientes (adarajas y endejas), para que al continuar la fábrica se pueda conseguir una perfecta trabazón de la nueva con la antigua.
- Formando un escalonado continuo en las hiladas de manera que la junta corte en diagonal y escalonadamente toda la altura del muro.

e) Protección durante la ejecución

- *contra la lluvia*: se protegerán las partes recientemente ejecutadas para evitar la erosión y lavado de las juntas de mortero.
- *contra las heladas*: si ha helado antes de iniciar la jornada, no se reanudará el trabajo sin haber revisado lo ejecutado en las 48 horas anteriores y se demolerán las partes dañadas. Si hiela al empezar la jornada o durante ésta, se suspenderá el trabajo. En ambos casos, se protegerán las partes de la fábrica recientemente construidas. Si se prevé una helada durante la noche siguiente a una jornada, se tomarán análogas precauciones.
- *contra el calor*: en tiempo extremadamente seco y caluroso se mantendrá húmeda la fábrica recientemente ejecutada, y una vez fraguado el mortero, y durante 7 días, se regará abundantemente para que el proceso de endurecimiento no sufra alteraciones, para evitar fisuraciones por retracción o bajas resistencias del mortero.

f) Arriostramientos durante la construcción

Durante la construcción de los muros (al terminar cada jornada), y mientras éstos no hayan sido estabilizado, mediante la colocación de la vigería, cerchas, etc., se tomarán las precauciones necesarias para que si sobrevienen fuertes vientos no puedan ser volcados. Para ello, se arriostarán los muros a los andamios si la estructura de éstos lo permite, o bien se apuntalarán con tablonos o puntales oblicuos, cuyos extremos quedarán bien asegurados.

9.3 Prescripciones relativas a la puesta en obra de los materiales

3.1 Muros de cantería

Operaciones de labra de la piedra:

a) Corte

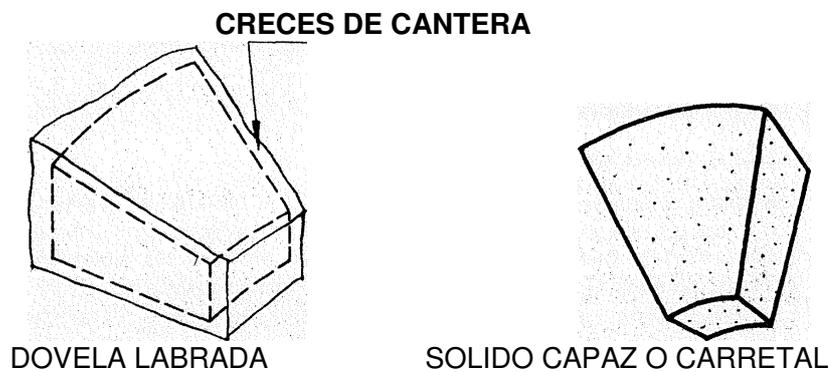
- Deberán utilizarse herramientas y procedimientos idóneos, tales como: punteros, mazas, cuñas y sierras.
- Las cuñas deberán introducirse en muescas, previamente hechas con el puntero, para que, al ser golpeadas con las mazas, produzcan el agrietamiento de la piedra.
- En rocas blandas y semiduras convendrá utilizar sierras de dientes refrigerados con agua.
- En rocas duras es más aconsejable el empleo de sierras de hilo o lámina, cuya acción se facilita por la adición de arena dura.

- Si la dureza de la piedra lo requiere, convendrá emplear sierras de carborundo o diamante.
- En los despieces ordinarios de cantería, salvo indicación expresa, la proporción entre la altura, el tizón y la soga de los sillares no deberá exceder de los valores siguientes:

TIPO DE PIEDRA	Alto	Tizón	Soga
Blandas	1	1	3
Semiduras	1	2	4
Duras	1	2	5
Muy duras	1	2	6

b) Desbaste

- Se dará a las piedras la forma aproximada que van a tener en la obra, cuidando de que las dimensiones sean algo mayores que las definitivas (incrementadas con las «creces de cantera», teniendo en cuenta que han de sufrir un trabajo de labra posterior.



- Para el trabajo de desbaste podrá utilizarse: el cincel, la maceta, el pico de desbastar y la escoda.
- Se comenzará labrando con cincel una tira de unos 3 cm de ancho, plana en uno de los bordes de la superficie. Después se hace lo mismo en los otros bordes. El material que quede entre estas fajas, que determinan el plano de la superficie, se quitará con el martillo de desbastar o con cincel. Así se procederá con las demás caras.

- En cualquier caso, estas operaciones deberán estar a cargo de obreros especializados.

c) Talla

- Cuando, por el uso que se vaya a dar a la piedra, esté previsto conseguir una mejor terminación de los trabajos de labra, se recurrirá a su tallado. Para ello, se igualarán las superficies eliminando las irregularidades que hayan podido quedar después del desbastado y ajustándose, lo más posible, a la forma prevista en proyecto.
- Según el grado de perfección a que se llegue, en esta fase, la talla de la piedra podrá ser basta o tosca, media o fina.
- Estas operaciones de acabado podrán hacerse a mano, mediante el empleo de: cinceles, uñetas, martellinas o bujardas, trinchantes, etc.; o bien con martillo neumático

d) Taladros

- Cuando esté prevista la realización de taladros para el anclaje de las piedras con grapas metálicas o con fines decorativos, podrán emplearse herramientas, tales como: el puntero, la gubia, la acodadera y los berbiqués.

e) Pulimiento

- El pulimento, se ejecutará a partir de un tallado fino de la superficie realizado previamente.
- Convendrá hacerlo a máquina en sus cuatro fases de: asperonado, apomazado, suavizado y abrillantado; salvo en piezas especiales que, por su molduración o tamaño reducido, exijan realizarlo a mano.

3.2 Mampostería

a) Puesta en obra de las piedras de mampostería

- Los mampuestos se colocarán en su primera hilada, sobre tortada de mortero de 2 ó 3 cm de espesor y previa limpieza y riego del asiento, regándose también los mampuestos si fuera necesario.
- Se procederá a sentar primero los mampuestos de los paramentos vistos, con mortero bastardo en dosificaciones de 1:1:6 a 1:1:10, colocándose después los principales mampuestos de relleno, bien ligados entre sí y acuñados con ripios, cuando la clase de obra lo permita, pero cuidando de la correcta trabazón de unas piedras con otras.

- Para las esquinas se elegirán las piedras más resistentes y de la mayor longitud posible entre las disponibles y tendrán ligeramente labradas las dos caras que hayan de formar los paramentos del muro y su colocación se hará alternando las juntas laterales:
 - *Mampostería ordinaria*: podrán utilizarse mampuestos constituidos por piedras labradas toscamente y se admitirá que aparezca el ripio al exterior si la fábrica va a ser posteriormente revocada.
 - *Mampostería careada*: podrán utilizarse mampuestos constituidos por piedras labradas cuidadosamente en la cara vista y toscamente las demás. Podrán emplearse ripios en el interior del muro, pero no en el paramento.
 - *Mampostería concertada*: se utilizarán mampuestos constituidos por piedras desbastadas por todas sus caras, planas y poligonales. Las líneas de junta verticales deberán ser alternadas, y en ningún caso mediará, entre las juntas de dos hiladas contiguas, una distancia inferior a 20 cm. Sus juntas serán de un espesor máximo de 2 cm.
 - ✓ No se admitirá el empleo de ripios, y las piedras del paramento exterior se prepararán de tal modo que las caras visibles tengan forma poligonal y que llenen el hueco que dejan los mampuestos contiguos.
 - ✓ Deberá evitarse la concurrencia de cuatro aristas de mampuestos en un mismo vértice.

b) Leyes de traba de la mampostería

Con objeto de que las unidades de fábrica de mampostería puedan ofrecer las debidas condiciones de resistencia y estabilidad, se ejecutarán de acuerdo con las siguientes leyes de traba:

- En general se procurará conseguir la mayor trabazón posible, evitándose que el espesor de la fábrica quede dividido en hojas y que quede el enripiado del paramento interior en malas condiciones. Los planos de asiento se enrasarán, al menos, cada metro y a ser posible cada hilada.
- Si los mampuestos no tuvieran suficiente cuerpo para constituir por ellos solos el espesor del muro y éste tuviera necesidad de ejecutarse en dos hojas, se trabarán éstas colocando, de trecho en trecho, «llaves» o «perpiaños» de mucha cola, que atizonen todo el espesor. Si, por el contrario, los mampuestos tuviesen mucho volumen, deberán partirse para conseguir la regularización de la fábrica.
- Si el espesor de la fábrica fuera muy grande y no pudiera abarcarse con una sola piedra, se colocarán dos o más, alternadas, que alcancen más de la mitad de su espesor y se engatillarán por sus colas con anclajes metálicos o abrazaderas especiales.
- En estos muros de gran espesor se dejarán, asimismo, mampuestos de resalto, de modo que formen llaves verticales que enlacen la hilada construida con la que se va a colocar encima.

- Las mismas precauciones de buena trabazón anteriormente señaladas se aplicarán, indispensablemente, a la ejecución de ángulos y esquinas. A este fin, se emplearán en esta parte de las fábricas de mampostería, las piedras de mayor tamaño de que se disponga y cuya altura corresponda a la que tenga la hilada.
- Dada la gran variedad de aspectos que puede conseguirse en los paramentos de una fábrica de mampostería, el constructor realizará una muestra de 1 m², como mínimo, para su aprobación.
- Las uniones de mampostería antigua con otras de nueva fábrica se ejecutarán con gran esmero y precaución, dejándose los endentados necesarios para la correcta traba y ejecutándose con lentitud el enjarje, a fin de evitar asientos u otros movimientos en las fábricas que se unen.

3.3 Sillería

a) Puesta en obra de los sillares

- Colocación de las hiladas de base:

Una vez preparado y nivelado el plano de arranque, en las condiciones indicadas anteriormente, se colocará la hilada inferior de la sillería formada por losas de 40 a 50 cm de grueso con las zarpas correspondientes que habrán de quedar enterradas de modo que el sobrelecho quede 20 cm por debajo del nivel previsto para la rasante. Esta hilada deberá ir recibida con torta de mortero de cemento de 15 a 20 mm de espesor y apisonando la piedra hasta que refluya el mortero sobrante.

El sobrelecho de esta losa de erección se rectificará y nivelará nuevamente y sobre este se replanteará la disposición del muro y se procederá a la colocación del resto de las hiladas. Las hiladas de cantería de base o aquellas que pudieran estar expuestas a la humedad, se sentarán sobre mortero hidrófugo fino.

- Elevación de la sillería:

El asiento de sillería se hará sobre una capa de mortero en estado semi-blando o pastoso, de 2 cm, como mínimo, de espesor, que quedará reducido a unos 3 mm después de sentada la pieza.

El contacto de los planos de junta laterales será a hueso, y las juntas aparentes se rellenarán con una lechada de cal y cemento, evitando que queden huecos, para lo cual podrá interponerse una estopa o material análogo que retenga dicha lechada hasta que fragüe. Posteriormente deberá efectuarse el rejuntado con mortero fino.

No se procederá a sentar ninguna hilada sin estar recibida la inmediata inferior en todo el espesor de la obra de fábrica.

- Lechos y sobrelechos de los sillares:

Se procurará, en cuanto sea posible, que los lechos y sobrelechos de los sillares, al sentarse en obra, se correspondan en posición con los lechos de cantera.

- Condiciones de los sillares:

No se admitirá ninguna pieza de sillería que contenga remiendos, esté desportillada o se desportille al sentarla; así como ocultar coqueras con plastecidos, a menos que se admita expresamente. En este caso, el mástique que se emplee estará formado por colofonia y piedra de la misma clase que la empleada en la cantería, machacada y reducida a polvo y vertido en caliente.

Durante la labra de la piedra, únicamente se permitirá la reducción de dimensiones en las creces de cantera, debiendo ajustarse, el sillar terminado, al tamaño y forma previsto en proyecto.

La labra de todas las superficies aparentes, tanto exteriores como interiores, estará hecha con esmero. Los paramentos visibles de la sillería quedarán repasados a cincel o martillina, según la clase de piedra.

- Superficies y aristas de los sillares:

Las superficies de las caras de asiento de las distintas piezas de sillería serán suficientemente planas para que no sea preciso recurrir al acunado y recalce de dichas piezas. En las caras laterales, que hayan de formar juntas verticales, se admitirá una vagantez máxima de 4 cm hacia la parte posterior y a partir de una distancia mínima de 30 cm del paramento visible. En las aristas exteriores, con el fin de evitar los posibles astillones que pudieran producir los asientos, se permitirá recurrir a la colocación de pequeños trozos de plancha de plomo.

La cara posterior de la piedra, cuando haya de ir revestida, podrá quedar sin labrar, pero sin resaltos que obliguen a que el revestimiento tenga que tener en algún punto más de 4 cm de espesor para igualar la superficie.

- Protección de la sillería durante su ejecución:

Con el fin de conservar en buen estado las esquinas, vuelos de molduras, aristas expuestas a golpes y vivos de la cantería, deberán tomarse precauciones sean necesarias durante el tiempo que duren las obras, mediante la colocación de rasillas u otro elemento de protección.

- Sillería recta:

Se ejecutará con sillares bien escuadrados y de dimensiones uniformes.

- Sillería aplantillada:

Los diferentes sillares se ajustarán en todas sus caras a las plantillas previamente preparadas a su tamaño natural, a partir de los «planos de monteá».

- Sillería moldada:

Las molduras se labrarán de modo que no presenten alabeos, torceduras, garrotes, etc., u otros defectos de mala ejecución.

- Sillería decorada:

Quedará sometida a las condiciones particulares que se especifiquen en proyecto.

- Sillería almohadillada:

Las acanaladuras formadas en las aristas de los sillares en el paramento visto deberán ser más anchas que profundas, y sus dimensiones oscilarán de 4 a 6 cm de anchura y de 2 a 3 cm de profundidad.

Las juntas deberán quedar dispuestas de forma que los rehundidos de los sillares queden por debajo de dichas juntas.

b) Leyes de traba de la sillería

Para garantizar que fábrica de sillería pueda ofrecer las debidas condiciones de resistencia y estabilidad, se ejecutarán de acuerdo con las leyes de traba:

- Las superficies de juntas verticales o llagas serán normales a las de hilada y a los paramentos. Serán también discontinuas, a fin de conseguir la mayor trabazón posible entre los distintos sillares. En cada vértice de juntas sólo podrán concurrir tres sillares contrapeados con sus correspondientes solapos o entregas, que serán, como mínimo, de medio tizón, y nunca menores de 15 cm en las fábricas de sillares, y de 10 cm en las de sillarejos.
- Se evitarán, los ángulos agudos y cóncavos y las juntas quebradas.
- Cuando se trate de varios muros de sillería con encuentros o enlaces entre sí, se colocarán las hiladas generales al mismo nivel en todos ellos, trabándolas convenientemente para que el asiento sea uniforme.
- Como norma general, todo cruce, encuentro o esquina se resolverá constructivamente mediante un «gualdrapeado», es decir, considerando que dicho nudo singular pertenece alternativamente a uno y otro muro. La longitud de la cola del sillar que engarza con el muro será, como mínimo, igual a la cuarta parte de la longitud de su sogá.
- Los «machones» o muros de longitud reducida se resolverán constructivamente igual que los muros.

- Cuando las piedras no atizonen todo el espesor y se prevea el trasdosado con fábrica de ladrillo y mortero de cemento, esta fábrica de ladrillo se ejecutará de forma que quede enrasada con la altura de cada hilada de piedra y en toda la línea a medida que se asienta la cantería, no debiéndose cargar otra nueva hilada hasta tanto no se haya enrasado con fábrica toda la anterior. Si el espesor de la piedra fuera pequeño con relación al espesor del muro, constituyendo un chapado, se colocarán gatillos de anclaje metálicos embebidos en la piedra para el enlace de ésta con la fábrica de trasdosado.

c) Ejecución de arcos

Antes de comenzar la ejecución de los arcos deberá replantearse correctamente el trazado de su línea de intradós, materializándola mediante la cercha o cimbra y los medios auxiliares correspondientes.

- Medios auxiliares:

- La cercha o cimbra se sostendrá mediante los correspondientes apeos, formados en la mayor parte de los casos por «pies derechos» que carguen sobre un «durmiente». Este sistema de apeo deberá estar provisto de cuñas, gatos, cajones de arena o cualquier otro elemento que permita el descimbrado lento y uniforme, evitándole al arco una puesta en carga brusca.
- No se descimbrará ningún arco hasta que haya fraguado y endurecido el mortero de sus juntas y esté construido el resto de la fábrica que descansa sobre él.
- Cuando esté prevista la absorción de los empujes mediante tirantes provistos de tensores, la solución correcta es producir el despegue del arco de la cimbra tesando el tirante, con lo cual se evita el peligro de agrietamiento y de posible colapso del arco.
- Para compensar la deformación del arco puede peraltarse unos centímetros su intradós (no más de un 0,3% de la luz). Esto se consigue colocando una capa de arena húmeda, con la forma adecuada, sobre la forma exacta definida por la cercha o cimbra.
- El andamiaje ha de ser independiente del arco que se construye y de las cerchas y apeos empleados en su ejecución.

- Arco de roscas:

- Una vez replanteado el trazado de la línea del intradós y materializada en la cercha o cimbra correspondiente, se construirá el arco teniendo en cuenta las prescripciones relativas a la puesta en obra de los materiales mencionadas anteriormente y de acuerdo con las siguientes especificaciones:
- Se comenzará a construir el arco por los arranques, hacia el centro, realizándose la obra simultáneamente entre ambos extremos.

- La inclinación de cada dovela se fijará con ayuda de un cintrel, que se fijará en el punto o serie de puntos que exija la forma del arco y el aparejo elegido.
- Se procurará conseguir la mayor uniformidad posible en las juntas, evitando el empleo de escopetas demasiado acusadas.
- Se tendrá en cuenta la especial importancia que tiene el cierre en la clave del arco; operación última y que exige que ésta ocupe su posición correcta, bien aplomada, enlechándose y macizándose sus dos caras para constituir sus juntas laterales.

- Arcos de mampostería:

Se tendrán en cuenta las *leyes de traba de la mampostería* y se elegirán mampuestos con cola suficiente para que traben todo el espesor de la fábrica, y en forma de cuña. Se evitará el empleo de ripios, salvo que la mampostería sea ordinaria, y se rellenarán las juntas con mortero sin prescindir de la cimbra hasta tanto la fábrica ejecutada no haya fraguado y endurecido.

- Arcos de sillería:

Se tendrán en cuenta las correspondientes prescripciones de *puesta en obra de los sillares* y de las *leyes de traba de la mampostería*.

10. Ensayos

10.1 Ensayos de las piedras de cantería

1.1. Densidad aparente de la piedra

Se extraen tres probetas (prismáticas de 4 x 4 x 24) cm de un volumen aproximado de 400 cm³ de distintas zonas de la piedra. Una vez extraídas las probetas se desecan en estufa ventilada a 105°C ± 5°C hasta peso constante obteniéndose este peso (P_s) con una precisión de 0,1g. A continuación, se introducen en un recipiente en el que se vierte agua lentamente hasta cubrirlas (60 minutos) y se mantienen sumergidas otras 24 horas; seguidamente, se saca cada probeta, del recipiente y se enjuga superficialmente con un trapo húmedo, obteniéndose su peso (P_s), con precisión de 0,1 g, en estado embebido; a continuación, con la balanza hidrostática se obtiene el peso de la probeta sumergida en agua (P_a).

La densidad aparente de cada probeta, en g/cm³, vendrá determinada por la expresión:

$$\gamma = \frac{P_s}{P_s - P_a}$$

Como resultado de la densidad aparente de la piedra se tomará el valor medio de los obtenidos sobre las 3 probetas.

1.2. Determinación de la absorción de agua de la piedra

El ensayo se realiza sobre 3 probetas extraídas de distintas zonas de la piedra y en las mismas condiciones establecidas para la determinación de la densidad aparente. Para cada probeta se obtiene el peso desecado (P_s) y el peso embebido (P_e), siguiendo el mismo procedimiento. La absorción de agua de cada probeta, en % de su peso en seco, quedará determinada por la expresión:

$$\alpha = \frac{P_e - P_s}{P_s} \cdot 100$$

El resultado se dará con precisión de una cifra decimal. Como absorción media de la piedra se tomará la media de los tres valores obtenidos.

1.3. Helacidad de la piedra

Este ensayo consistirá en someter 3 probetas de piedra a veinte ciclos de congelación y deshielo.

Para cada probeta se determina el peso (P_i), después de haber sido desecada durante 24 horas en estufa a $105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$, con la aproximación de 1 g. A continuación, se mantienen en agua a temperatura de laboratorio durante 48 horas. Se sacan del agua y se enjugan superficialmente con un paño húmedo, introduciéndolas en la cámara refrigeradora que estará a la temperatura ambiente. Se hace descender la temperatura de la cámara hasta $-20^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ en el transcurso de 2 horas y se mantienen en la cámara durante 18 horas más. Se sacan de la cámara, se observan superficialmente y se anota cualquier modificación de aspecto: grietas, exfoliaciones, etc. Se introducen en pila de agua a 20°C y se mantienen 4 horas, en que de nuevo se secan superficialmente, repitiéndose el ciclo veinte veces consecutivas. Al final se desecan de nuevo manteniéndolas durante 24 horas en estufa a $105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ y se determina el peso P_f

Se obtendrá la pérdida de peso, en %, por la siguiente expresión:

$$\text{Pérdida de peso (en \%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

Se indicará que el resultado del ensayo es favorable, si las probetas después del ensayo no presentan grietas, exfoliaciones, desconchados, etc. y si la pérdida de peso no es superior al 1%.

1.4. Influencia del fuego en la resistencia mecánica

Los ensayos se realizarán sobre probetas preparadas en las mismas condiciones que las destinadas a la ejecución de los ensayos mecánicos.

Después de realizados los ensayos de flexión y compresión, se introducen los trozos de probeta de mayor tamaño resultante en un horno y se someten a la temperatura de 800° a 900°C durante 2 horas.

Después de enfriados estos trozos se rompen a flexión y compresión por el mismo método de ensayo, y se comparan los resultados con los obtenidos en los trozos de probeta que no han estado sometidos a altas temperaturas.

Los resultados se expresarán en % de pérdida de resistencia respecto a la inicial.

1.5. Desgaste de la piedra por rozamiento

Este ensayo se realiza sobre 4 probetas de 7,07 x 7,07 cm de sección 50 cm² y de espesor suficiente para sujetarlas en el dispositivo de ensayo.

Las probetas se introducen en una pila con agua y se mantienen en ella durante 24 horas.

Se saca cada probeta de la pila, se enjuga con un paño húmedo y se pesa con exactitud de 0,1 g, resultado que se anota como peso inicial en el aire (P_E)

Con la balanza hidrostática se pesa cada probeta dentro del agua, anotando el resultado como peso inicial en el agua (P_A).

El volumen inicial de la probeta, en cm³, será:

$$V = P_E - P_A$$

Cada probeta se coloca en las mordazas de la pista de desgaste y se carga de modo que la presión entre probeta y pista sea de 0,6 kp/cm².

Como abrasivo se empleará esmeril de granulación de 0,4 a 0,6 mm. Se colocan 50g sobre la pista y se agrega a razón de 50g cada 100m de recorrido.

El ensayo se realiza con pista mojada, regando inicialmente la pista con 20 cm³ de agua y agregando una cantidad igual cada 100m de recorrido.

Se pone en marcha la pista y se le hace recorrer 1000m.

Después del ensayo se desmontan las probetas, se lavan y se determina el peso final en el aire (P'_E) y peso final en el agua (P'_A), siendo el volumen final de la probeta:

$$V' = P'_E - P'_A$$

El desgaste en volumen de cada probeta, en cm³, será:

$$D = V - V'$$

El desgaste lineal de cada probeta vendrá determinado por la disminución de espesor obtenida mediante:

$$d = \frac{D}{A}$$

A = el área de la cara de desgaste (en cm²).

El resultado se dará en mm, con una cifra decimal.

Como resultado del ensayo se dará la media aritmética de los valores obtenidos sobre las probetas ensayadas.

El ensayo se efectúa sobre las tres caras de un mismo triedro de la probeta.

1.6. Ensayos de resistencia mecánica de las piedras de cantería

Los ensayos de resistencia mecánica que se describen a continuación tienen por objeto determinar la resistencia a flexión y compresión que ofrecen las piedras destinadas a la ejecución de obras de fábrica de cantería.

Estos ensayos se realizarán como mínimo sobre tres probetas de 4x4 x 24 cm, que se desecarán en estufa a $105^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, y se dejarán después enfriar a la temperatura ambiente de laboratorio durante 30 minutos.

a) Determinación de la resistencia a flexotracción

Cada una de las probetas se someterá a una sollicitación de flexión simple, a una velocidad aproximada de 50 kp/minuto apoyadas sobre rodillos separados 10 ± 1 cm y con carga aislada centrada entre los dos ejes de rodillos.

La probeta se colocará sobre los rodillos inferiores en tal posición que uno de los extremos de la probeta diste unos 10 mm del eje del rodillo.

La resistencia a flexión, en kp/cm^2 , de cada probeta, quedará determinada por:

$$\sigma = \frac{3P \cdot l}{2b \cdot d^2}$$

P es la carga de rotura (en kp).

l , la longitud entre apoyos (en cm).

b y d , las dimensiones de la sección de la probeta ($b = d = 4$ cm).

El valor de la resistencia a flexión σ_f de la piedra, en kp/cm^2 , quedará determinado por la media aritmética de los tres resultados.

b) Determinación de la resistencia a compresión

El ensayo se realizará con prensa de compresión sobre los trozos de probeta de menor tamaño resultante del ensayo de resistencia a flexión.

Los trozos de probetas se colocan sobre una placa de acero de dimensiones

$A = 4 \times 6,25 = 25 \text{ cm}^2$ ó $A = 4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$, dejando fuera toda la parte de rotura irregular, y se sitúa a plomo una placa del mismo tamaño.

La carga de compresión se transmite de esta manera a través de un prisma de base A , en régimen de compresión simple.

La carga se ejerce con una velocidad no inferior a $500 \text{ kp}/\text{cm}^2$ y minuto hasta la rotura y se toma como resistencia a compresión de cada probeta:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

P = la carga que ha producido la rotura (en kp).

A = área de la superficie de la placa de acero (en cm) (A = 25 ó 16 cm²).

El valor de la resistencia a compresión σ_c de la piedra, en kp/cm², quedará determinado por la media aritmética de los tres resultados obtenidos.

c) Ensayo de resistencia a compresión

c.1) Fábricas de cantería

El ensayo tiene por objeto determinar el valor característico σ_k de la resistencia a compresión de la fábrica de cantería.

Se preparará un mínimo de 5 probetas de muro de fábrica de cantería ejecutadas con el mismo tipo de piedra que haya de utilizarse, mortero confeccionado con los conglomerantes y áridos a emplear, del tipo y plasticidad especificados y el espesor de junta adoptado.

Las probetas serán prismáticas, del mismo espesor que haya de tener en obra y con una longitud y una altura mínimas de 50cm. La disposición de las piedras será semejante a la prevista en obra, con no menos de dos piezas por hilada ni menos de cuatro hiladas. Las caras superior e inferior deberán quedar refrentadas con el mismo tipo de mortero empleado en la fábrica.

Las probetas se conservarán tapadas con sacos húmedos durante 28 días y se ensayaran seguidamente a compresión.

La carga se aplicará, una vez centrada la probeta en los platos de la prensa, con una velocidad de 3 a 7 kp/cm² por segundo hasta la rotura.

La tensión de rotura de cada probeta quedará definida por la carga de rotura, expresada en kp, dividida por su sección horizontal, en cm². El valor característico σ_k , en kp/cm², de la resistencia a compresión de la fábrica, quedará determinado por la expresión:

$$\sigma_k = \sigma_m (1 - 1,640 \delta)$$

$$\sigma_m = \frac{\sum_{i=0}^n \sigma_i}{n}$$

σ_m = el valor medio de los resultados obtenidos

$$\delta = \frac{1}{\sigma_m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_m)^2}{n}}$$

δ = la dispersión

n = el número de probetas ensayadas.

Cuencas Hidrológicas

6.1 Fundamentos Teóricos de Hidrológica

En 1674 Pierre Perrault publicó el libro “*De l’origine des fontaines*”, en el que demostraba con evaluaciones cuantitativas, que las precipitaciones y las nevadas son la causa del flujo en los ríos, con lo cual marcó la pauta para el reconocimiento universal del ciclo hidrológico en su interpretación moderna.

El ciclo hidrológico es el concepto fundamental de la hidrológica, y la cuenca hidrológica es su unidad básica de estudio.

Una cuenca es la zona de superficie terrestre donde las precipitaciones de lluvia tienden a ser evacuadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (Solo el agua no percolada y la no retenida por el suelo).

Las cuencas exorreicas son aquellas que tienen su punto de salida en los límites de la cuenca que fluye sobre otra corriente o sobre el mar.

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, formado por la precipitación, al que la cuenca responde mediante una corriente en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización.

6.1.1 Características de una cuenca

- a) Se entiende como **parte aguas o división de aguas** una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa una cuenca de la vecina.
- b) El **área de la cuenca**, se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parte aguas.
- c) La corriente principal de una cuenca, es la corriente que pasa por la desembocadura. El resto de las corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes **tributarias o afluentes**.
- d) Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se denominan **cuencas tributarias o subcuencas**.
- e) Cuantas más corrientes tributarias tenga una cuenca, más rápida será su respuesta a la precipitación.
- f) Un indicador del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta, es la pendiente del cauce principal. En este sentido como la pendiente puede variar a lo largo del cauce, se hace necesario definir una pendiente media.
- g) **Las corrientes en ingeniería hidrológica se clasifican:**
 - g.1) **Por el tiempo en que transportan el agua:** perennes, intermitentes y efímeras.
 - g.1.1 Una corriente perenne es la que transporta agua durante todo el año.
 - g.1.2 Una corriente intermitente transporta agua, normalmente, en las épocas lluviosas.

- g.1.3 Una corriente efímera o influente transporta agua con posterioridad a las tormentas, alimentan los acuíferos pero la circulación en superficie dura unos días o semanas dependiendo de la intensidad de las tormentas.
- g.2) **Por su posición topográfica o edad geológica:** los ríos pueden ser de montaña o juveniles, de transición o maduros y de planicie o viejos.
 - g.2.1 En un mismo cauce se pueden encontrar los tres tipos de ríos.
 - g.2.2 Los ríos de montaña: nacen en cotas elevadas sobre el nivel de mar, tienen grandes pendientes, debido a la velocidad de sus aguas, pocas curvas y sus cauces están generalmente formados por cantos rodados de diverso tamaño, poca de grava y casi nada de finos.
 - g.2.3 Los ríos de planicie, presentan numerosos meandros debido a la baja velocidad del agua y su cauce se rellena de arenas y finos.
 - g.2.4 Los de transición están en una situación intermedia entre los dos anteriores, presentan una velocidad moderada, algunas curvas, sus cauces están formados básicamente por grava, algo de cantos rodados y arena.

6.2 Características de las cuencas internas en Cataluña (CIC)

El conjunto de las CIC está dividido en 11 cuencas hidrográficas y 336 subcuencas.

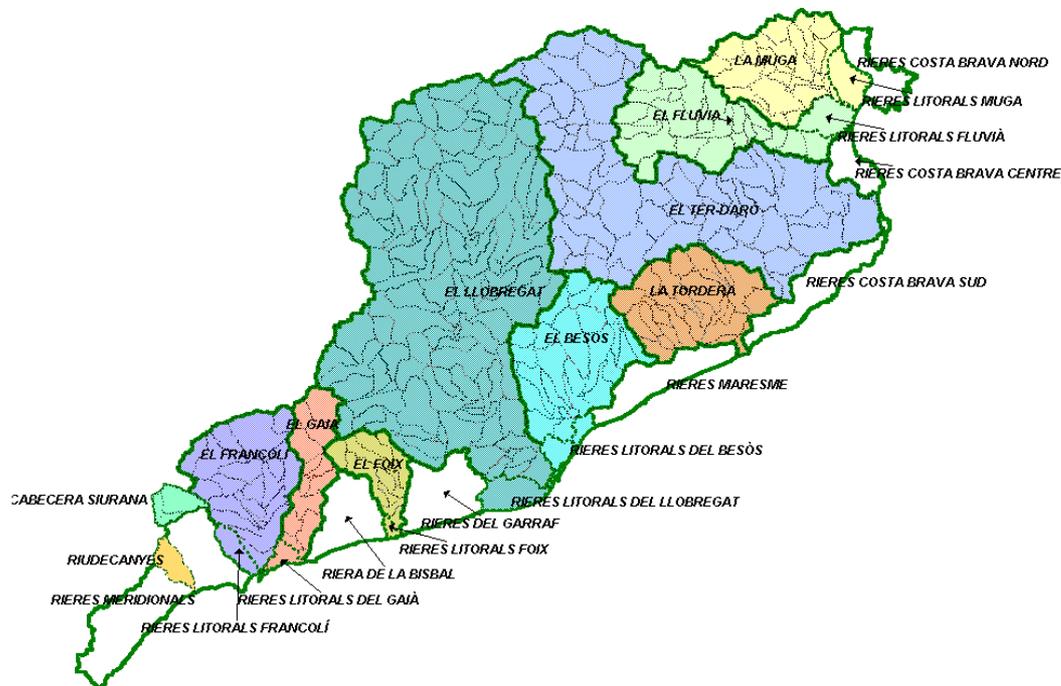


Figura 6.1 Cuencas hidrológicas de Catalunya

En la tabla 6.1 se recogen los datos característicos sobre cada cuenca: superficie, precipitación media anual, específica total. Los valores de las precipitaciones proceden de las series naturales mensuales de todas las subcuencas durante el periodo de 61 años, los comprendidos durante el periodo 1940-1941 a 1999-2000 publicados por la ACA .

En la columna (1) viene la superficie en Km² y el valor porcentual de cada una respecto al total. En la (4) la precipitación media anual en valor absoluto seguido, de un valor índice tomando como base 100 la cuenca de mayor precipitación. En la columna 6 el valor de la precipitación media anual en la cuenta por unidad de superficie

1	2	3	4	5	6
Cuenca hidrográfica	Superficie ² (km)	Nº de subcuencas	Precipitación media anual (mm)	Precipitación media anual (hm ³)	Precipitación media anual por unidad de superficie (hm ³ /Km ²)
La Muga	758 (5,57%)	26	807 (86)	612	0,80
El Fluvià	974 (7,15%)	25	935 (100)	911	0,93
El Ter	2.955 (21,71%)	59	879 (94)	2.597	0,87
El Daró	321 (2,35%)	5	702 (75)	225	0,7
El Llobregat	4.957 (36,42%)	115	672 (72)	3.331	0,67
El Besòs	1.020 (7,49%)	29	661 (70)	674	0,66
La Tordera	876 (6,43%)	28	792 (78)	694	0,79
El Foix	310 (2,27%)	11	586 (62)	182	0,58
El Gaià	423 (3,10%)	13	519 (55)	220	0,52
El Francolí	853 (6,26%)	20	525 (56)	448	0,615
Rra. Riudecanyes	72 (0,52%)	2	605 (64)	44	0,611
El Siurana (capçalera)	88 (0,64%)	3	650 (69)	57	0,64
TOTAL	13.607 (100%)	336			

Tabla 6.1 Principales características de las cuencas internas de Catalunya

Partiendo de los valores de la columna 4 se puede ver que las cuencas donde se localizan los puentes a estudiar son las de mayor pluviometría media anual. Y que también destacan por el mayor coeficiente de precipitación media anual por unidad de superficie, columna 6.

En la figura y tabla 6.2 se amplía la imagen de las cuencas internas de Catalunya, limitándola a las cuencas de la Muga, el Fluvià y el Ter.



Figura 6.2 Cuencas a las que se refiere el estudio: La Muga, el Fluvià y el Ter- Daró

En la tabla 6.2 se recogen los valores procedentes de la tabla 7.1

Cuenca hidrográfica	Superficie Km ²	Nº de subcuencas	Precipitación media anual (mm)	Precipitación media anual (hm ³)	Precipitación media anual por unidad de superficie (hm ³ /Km ²)
La Muga	758	26	807	612	0,80
El Fluvià	974	25	935	911	0,93
El Ter	2.955	59	879	2597	0,87
El Daró	321	5	702	225	0,7

Tabla 6.2 Cuencas a las que se refiere el estudio

En la figura 7.3 se pueden ver todas las cuencas internas de Cataluña con las isólinas de la pluviometría media durante el periodo 1940-1999 . Podemos observar que las tres cuencas estudiadas se encuentran en las zonas de mayor pluviometría

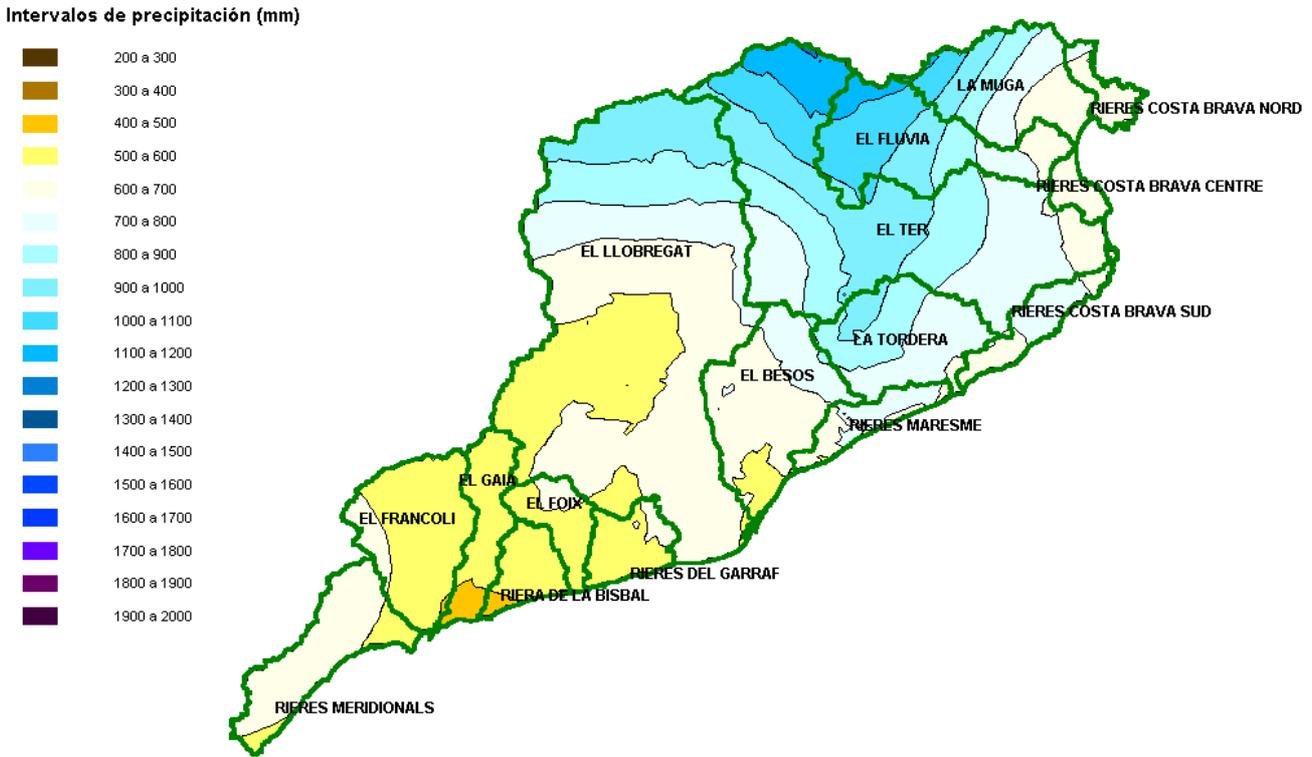


Figura 6.3 Mapa de pluviosidad media del periodo 1940/1941 a 1999/00

Basándonos en la figura 6.3 estimamos el nivel pluviométrico de cada cuenca subdividida en las zonas alta, media y baja, que se recogen en la tabla 7.3 .

Cuenca	Alta	Media	Baja	Valor medio	Índice
la Muga	900-1.100	600-900	600-700	807	100
Fluvià	900-1.100	700-900	600-700	935	115,8
Ter	1000-1200	700-1000	600-800	879	108,9

Tabla 6.3 Pluviosidad media anual en las cuencas alta, media y baja (mm)

En las figuras 6.4 y 6.5 se pueden ver el nivel de isóneas de pluviosidad media anual correspondiente a un año seco y a otro húmedo, al que añadimos las tablas correspondiente con los valores numérico para cada zona de la cuenca, igual que hemos realizado anteriormente.

Si los valores medios de la tabla 6.3 los tomamos como base 100 y los comparamos con los correspondiente a la pluviosidad del año seco (tabla 6.4), podemos cuantificar la influencia del año seco respecto al valor medio de pluviosidad.

Isolíneas de pluviometría correspondientes a un año seco

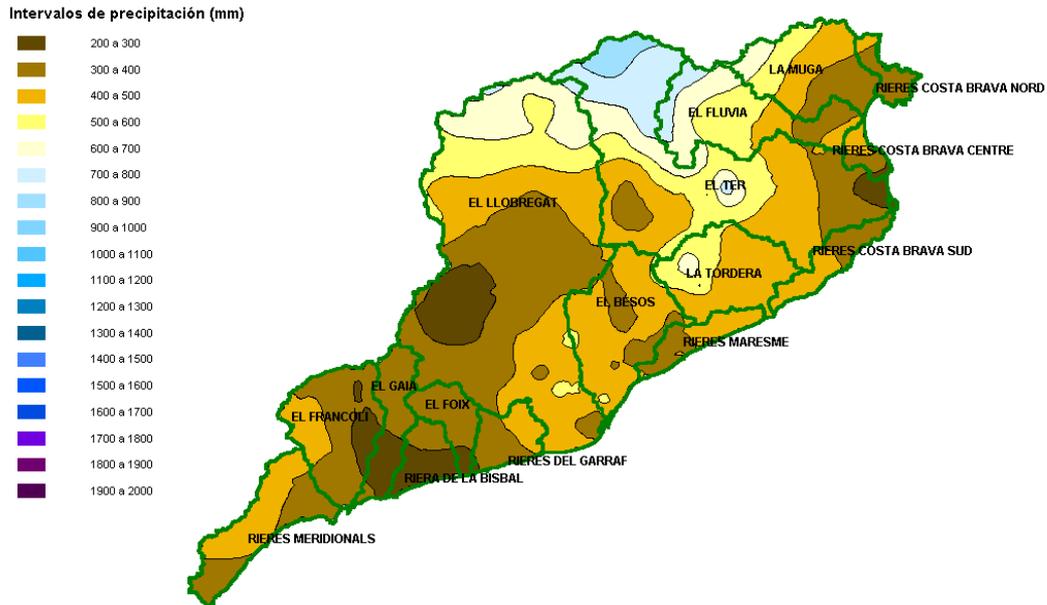


Figura 6.3 Mapa de pluviometría media de un año seco 1972/1973

Cuenca	Alta	Media	Baja	Valor medio	Índice
La Muga	600-700	400-600	300-400	500	62,52
El Fluviá	600-700	400-600	300-600	533	59,22
El Ter	600-900	400-700	300-500	560	64,09

Tabla 6.4 Pluviometría media anual de un año seco (mm)

En valor que aparece en la columna Índice, es la relación exigente entre el valor medio de la tabla 7.4 respecto al valor medio anual del periodo 1940 a 1999, tomado como base 100. Es decir en un año tipo seco, la pluviometría en la cuenca del la Muga es (100-62,52) un 37,48% inferior al valor medio del periodo considerado. En la cuenca del *Fluviá* (100-59,22) es de 40,78% inferior y en la del *Ter* (100-64,09) 35,91% inferior.

Isolíneas de pluviometría correspondientes a un año húmedo

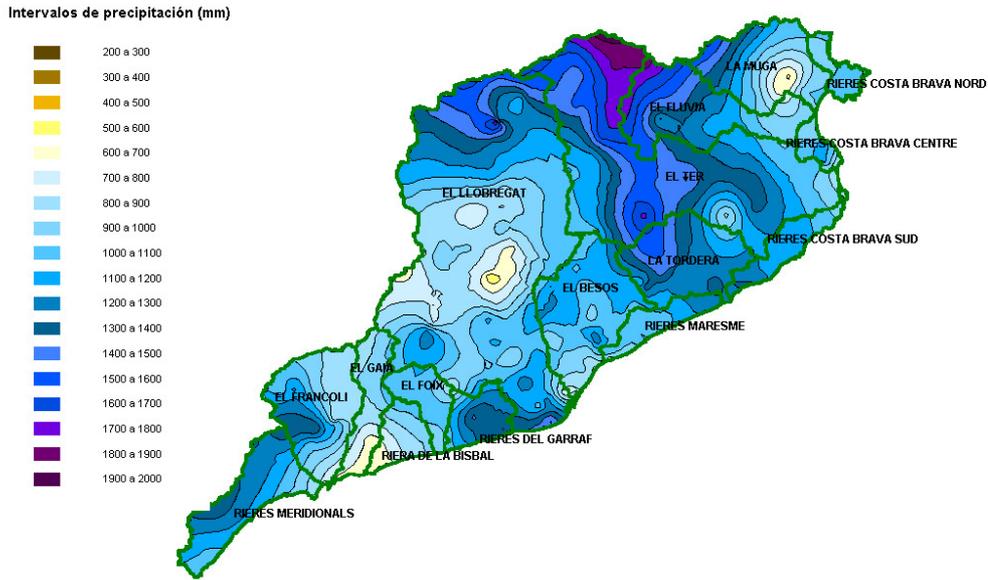


Figura 6.4 Mapa de la pluviometría media de un año húmedo 1971/1972

Cuenca	Alta	Media	Baja	Valor medio	Índice
La Muga	1100-1400	600-800	700-1000	933	116,62
El Fluvià	1200-1400	700-1200	700-900	1016	112,8
El Ter	1800-1900	1500-1700	900-1100	1483	167,95

Tabla 6.5 Pluviometría media anual de un año húmedo (mm)

Para un año húmedo, operando de forma semejante a como hemos realizado con los valores de un año seco, en la cuenca de la Muga habría un aumento de la pluviometría media anual de (116,62 -100) de un 16,62%, en la cuenca del Fluvià (112,8-100) el incremento sería del 12,8% y en la del Ter (167,95-100) del 67,95%.

6.3 Cuenca del río Ter

El río *Ter* nace en *Ulldeter* a 2.325 m de altitud, el gran afluente del Ter el río *Fresser* a una altitud de 2.400 m. Gracias a estas altitudes la cuenca del Ter puede beneficiarse de las reservas nevadas del “Novell de l’ou” del Pirineo Oriental.

El árbol estructural del Ter se compone de las cuencas alta y baja, la primera va desde *Ulldeter* al *Pastoral*; y la segunda desde el *Pastoral* al mar en la playa de *Pals*.

Al Ter afluyen 133 cursos fluviales, 78 por la orilla derecha y 55 por la izquierda.

La longitud del Ter es de 167 Km. y la extensión de su cuenca es de 2.955 km².

Su caudal está regulado en la cuenca baja con el pantano de *Sau* desde 1962 y además por la de *Susqueda* desde 1968.

6.3.1 El río Ter:

El río Ter, con 208,3 km de longitud, es uno de los más largos de Cataluña y también uno de los más singulares. Nace en *Ulldeter*, cerca del límite con Francia, en el municipio de *Setcases*. Después llega a *Camprodon* donde recibe las aguas del *Ritort* y más tarde en *Sant Joan de les Abadesses* y en *Ripoll* donde se le une el *Freser* que previamente ha recibido las aportaciones del *Rigat* en *Ribes de Freser* y el *Merdàs* en la población de *Campdevàrol*.

Ya desde *Ripoll* el río tiene una nítida vocación industrial, que conserva a su paso por *Sant Quirze de Besora*, *Torelló i Manlleu*, donde el trazado del río dibuja una serie de meandros antes de nutrir el embalse de *Sau*, después de recibir la riera de *Vallfogona*, el *Ges*, la riera de *Sorreig* y el *Gurri* con el *Meder*, inmediatamente después los de *Susqueda* y el *Pasteral* entra en las *Guilleries* justo por la zona donde se encuentra el conjunto de embalses llamados la “ruta pantanera” del Ter. Por el *Pasteral* sale a la zona plana y de suaves pendientes del *Gironès*.

A pie de presa de *Sau* empieza el embalse de *Susqueda*, son duda uno de los más espectaculares de toda Cataluña, construido por la iniciativa privada para la generación de energía eléctrica en un entorno privilegiado de naturaleza salvaje como son las *Guilleries*.

Al finalizar la década de los años 50 del pasado siglo, se decidió que el abastecimiento de Barcelona se debería asegurar mediante una transferencia de recursos del río Ter. Este hecho propició la construcción de los embalses de *Sau* y el *Pasteral* (de titularidad pública) y del de *Susqueda* (de titularidad privada) con destinación del agua a usos hidroeléctricos.

El abastecimiento a Barcelona se hace mediante una gran tubería que sale desde el *Pastoral* y llega a *Cardedeu* donde está la planta de tratamiento; desde aquí llega a la planta de almacenaje y distribución de la *Trinitat*. Después la compañía *Aigües de Barcelona* se hace cargo de la red de distribución.

Después del *Pasteral* va incrementando su caudal por las aportaciones que sucesivamente le hacen el *Brugent*, la *Riera d’Osor* y el *Llèmena*.

El Ter se acerca a Gerona, la ciudad de los cuatro ríos (El Ter, el *Onyar*, con la *Gotarra*, el *Galligans* y el *Güell*), profundizando a continuación en el congost de *Sant Julià de Ramis*, donde recibe el *Terri*. El río recorre mansamente la plana aluvial hasta

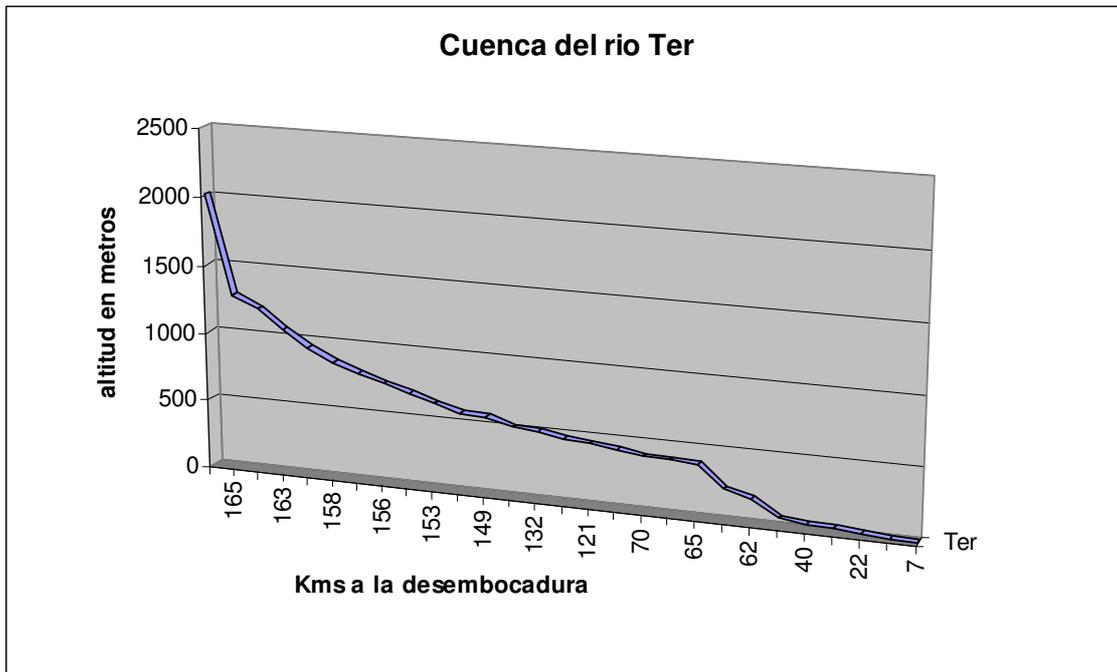


Figura 6.7 Perfil longitudinal del río Ter

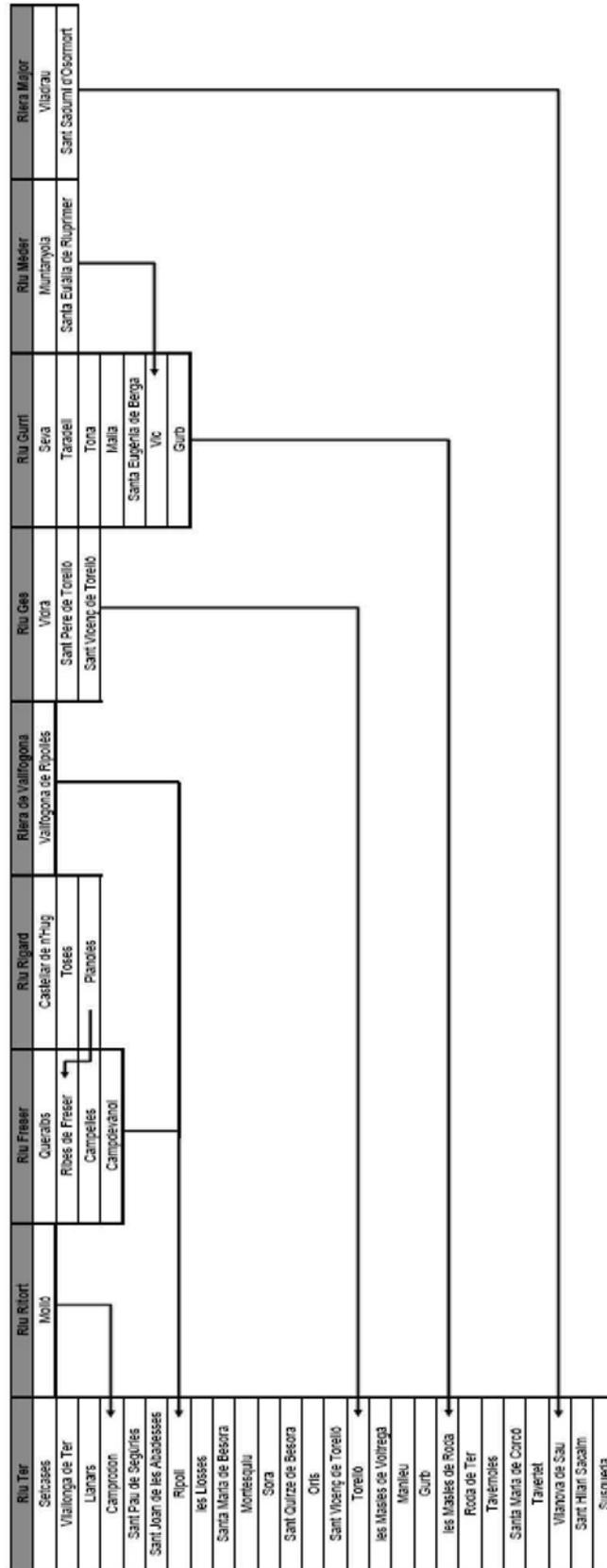


Figura 6.8 Red hidrológica de Alto Ter⁴

⁴ Inuncat revisió 2009

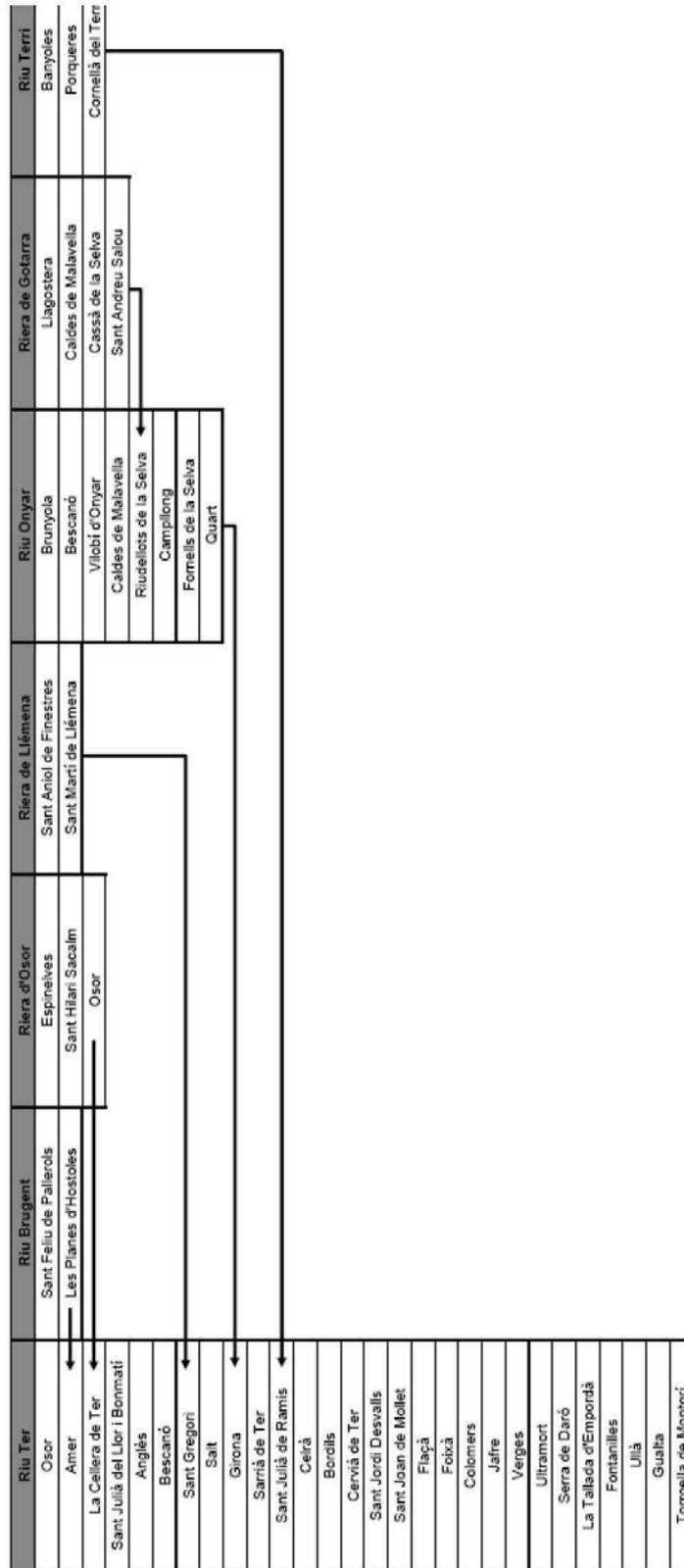


Figura 6.9 Red hidrológica del Bajo Ter⁵

⁵ Innuncat revisión 2009

6.3.2 El río Daró:

El Daró en condiciones normales y para caudales bajos sigue el curso viejo hasta la desembocadura en la zona de las Basses d'en Coll pero en unos altos caudales es derivado en Gualta por el canal hasta el margen derecho del Ter.

Riu Daró	Riu Rissac
Cruïlles, Monells i Sant Sadurní de l'heura	Sant Martí Vell
La Bisbal d'Empordà	Quart
Corçà	Madremanya
Ullastret	Cruïlles, Monells i Sant Sadurní de l'heura
Parlavà	
Serra de Daró	
Fontanilles	
Gualta	
Pals	
Torroella de Montgrí	

Figura 6.10 Red Hidrológica del Daró⁶

6.4 Cuenca del río Fluviá

EL río Fluviá nace en las montañas de la sierra de Collsacabra en Falgars d'en Bas en la comarca de la Garrotxa a 1000m de altitud. No lo hace de una fuente única, se origina por las pequeñas torrenteras de *Collsacabra* que se unen en *pla de Hostalets d' en Bas* y conforman el río.

Tiene un curso irregular, rápido en sus inicios, pero modifica su forma a partir del pla de Hostalets. Su curso sigue el surco de importantes fallas. Cuando el río deja las coladas de lava, aguas debajo de *Castellfollit*, forma terrazas que se componen de materiales que se depositaron durante los periodos de deshielo (Cuaternario). Recorre las comarcas de *Girona*, *Garrotxa* y *Alt Empordà*, desemboca en los *aiguamolls de l'Empordà* cerca de *Sant Pere Pescador*.

La longitud del Fluviá es 70 Km. y la extensión de su cuenca 974 km².

6.4.1 El río Fluvià:

El Fluvià nace de un seguido de torrenteras que bajan desde el nordeste de la Serra de Cabrera por la zona de Falgars hasta la Plana d'en Bas y sigue su curso a lo largo de sus 97,2 km de recorrido entre dos de los más singulares parques naturales de Cataluña: el de la zona volcánica de la Garrotxa y el de los Aiguamolls de l'Empordà.

Los afluentes que el Fluvià recibe en las zonas de cabecera irán configurando en los tramos medio y final el río principal hasta la desembocadura en Sant Pere Pescador. Estos tributarios principales procedentes de las montañas son: La riera de Bianya con el Riudaura, el Llierca con las riera de Oix y de Beget, el Turonell, el Borró y el Ser.

⁶ Inuncat

Hay dos particularidades que diferencian este curso fluvial con respecto a otros de las cuencas internas de Catalunya: curiosamente no dispone de ningún embalse y, por tanto, no está regulado y están dominados por todo un conjunto de meandros que nos dan una idea de la poca pendiente del río en los citados tramos.

El río finaliza su curso en la parte sur de los Aiguamolls de l'Empordà.⁷

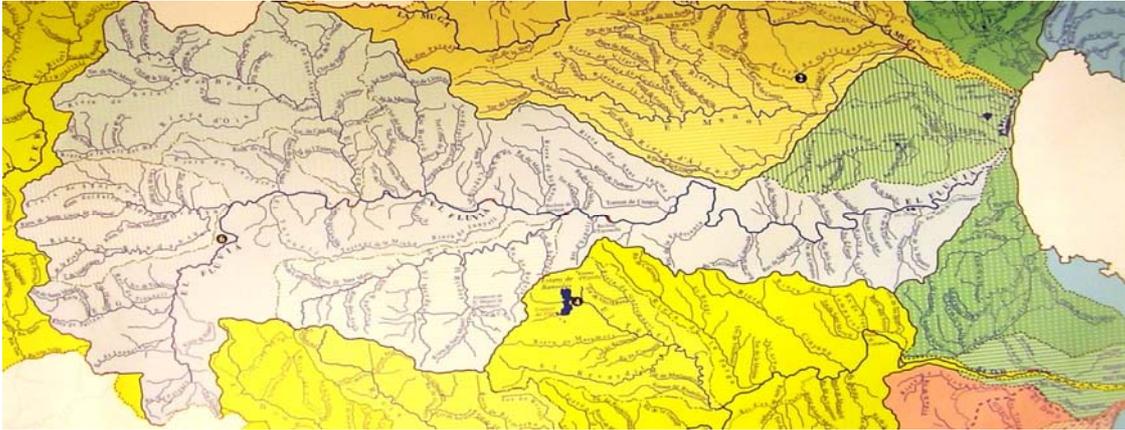


Figura 6.11 Cuenca del río Fluvià

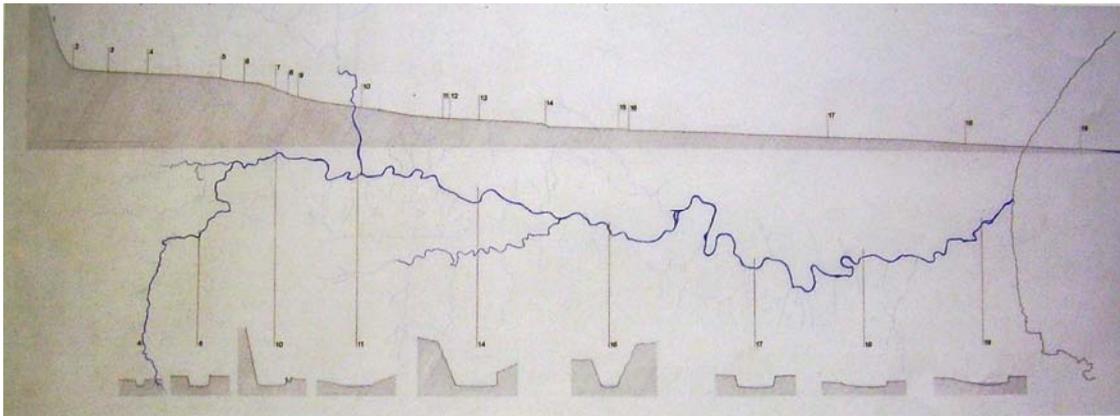


Figura 6.12 Perfil longitudinal de la cuenca del río Fluvià

1 Collsacabra, 2 Font Boada 511m, 3 S Esteve d'En Bas 480m, 4 Hostalets 468m, 5 Sant Roc 435m, 6 Olot 410m, 7 La Canya 360m, 8 Riera de Bianya, 9 Sant Joan les Fonts 310m, 10 Castellfolit de la Roca 240m, 11 Sant Jaume de Llierca 180m, 12 Rio Llierca., 13 Argelaguer 170m, 14 Besalu 130m, 15 Rio Ser..., 16 Esponella 95m, 17 Bàscara 66m, 18 Sant Miquel de Fluvià 28m, 19 Sant Pere Pescador 5m

⁷ Inuncat revisión de 2009. pag 29

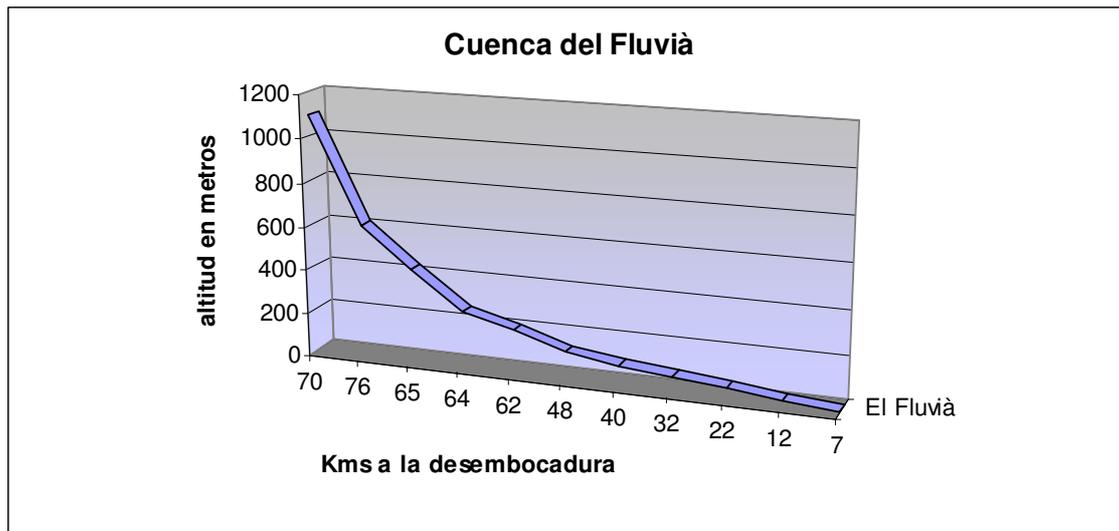


Figura 6.13 Perfil longitudinal del río *Fluvià*

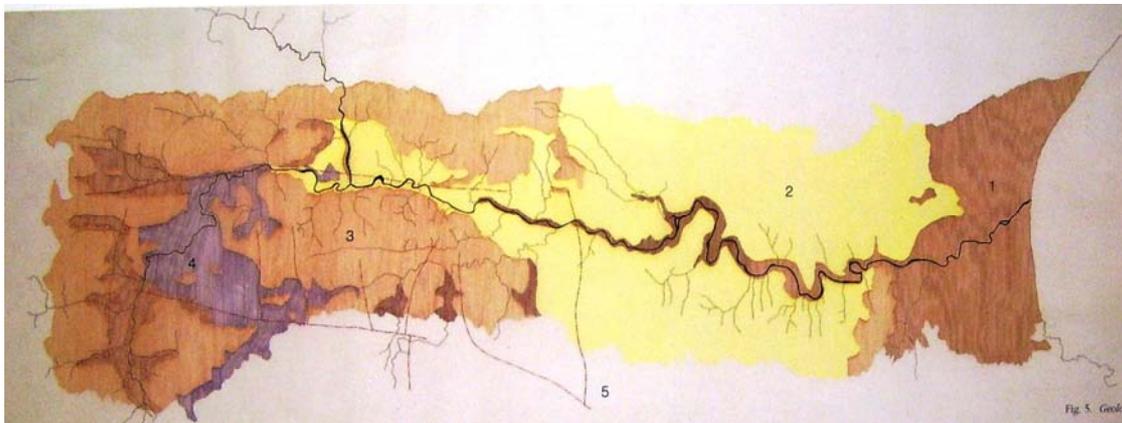


Figura 6.14 Geología de la cuenca del río *Fluvià*

1. Sedimentos, limos (cuaternario)
2. Conglomerados, arcillas, arenas (Plioceno)
3. Calcarías, y margas (eoceno)
4. Basaltos (cuaternario medio)
5. Fallas tectónicas

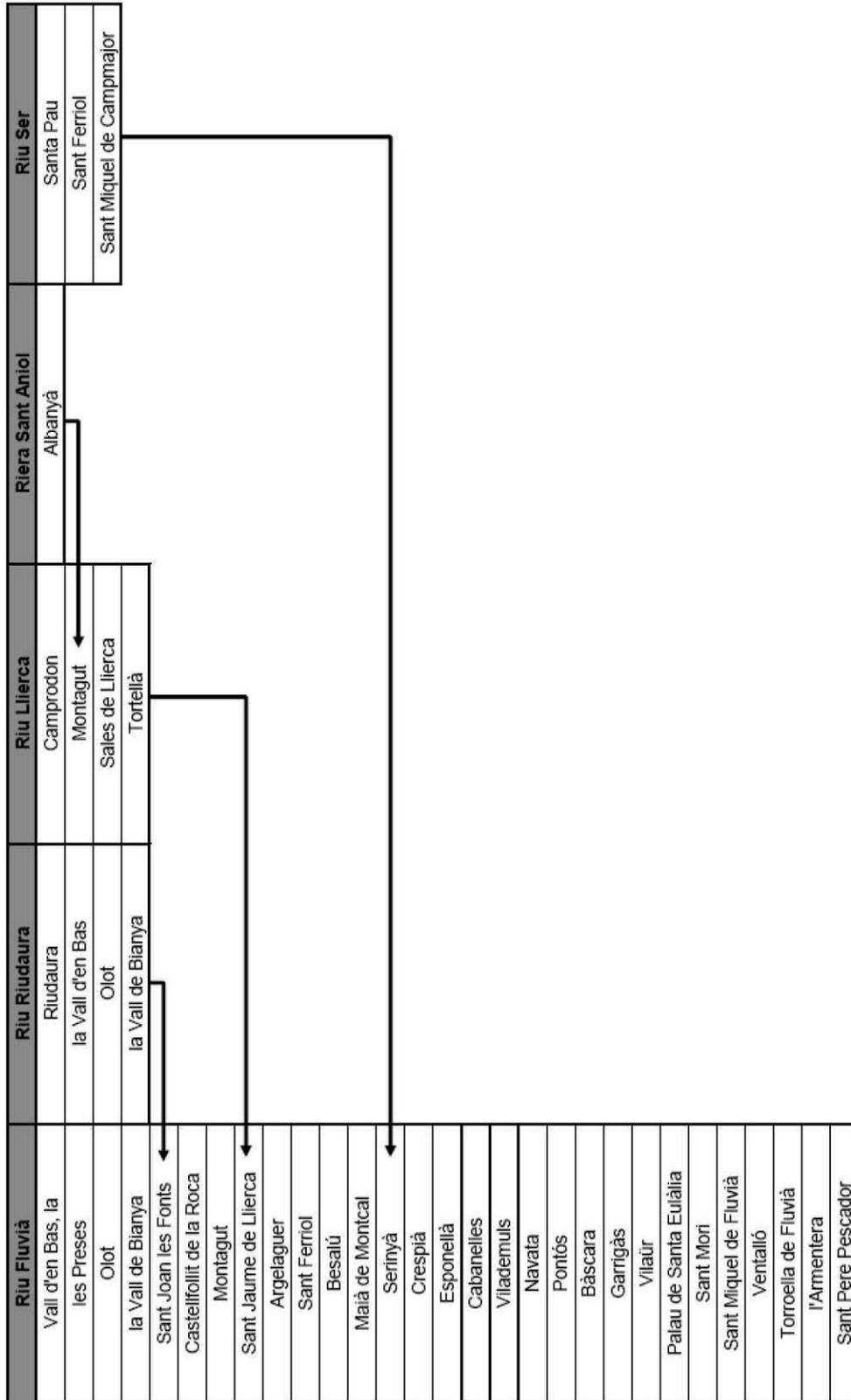


Figura 6.15. Red Hidrológica del Fluvià⁸

⁸ Inuncat revisión de 2009

6.5 Cuenca de la Muga

El río la Muga nace bajo la plana de la Muga a 1.186 m de altitud, en el centro del Montnegre (1.425m), en el límite entre el Alt Empordà y el Vallespir francés, sus orillas constituyen, durante 5 Km., el límite fronterizo entre España y Francia. Su cuenca recibe aguas de la zona axial de los Pirineus (Roc de Frausa y Riera d'Albera), cruza por profundos valles formados por los sedimento del Subpirineu, bastantes tectonizados, llega por Pont de Molins a la amplia llanura del Alt Empordà. Recorre la comarca de Alt Empordà, desembocando en el golfo de Roses, cerca de la población de Castelló d'Empuréis.

La longitud de la Muga es de 64,7 Km. y la extensión de su cuenca es de 758 Km².

La desemboca el río Llobregat d'Empordà cerca de Peralada, más caudaloso que el propio La Muga. Después de pasar por Vilanova de la Muga, le afluye el río Manol.

Su cauce está regulado desde 1968, por el pantano de Boadella, situado en una garganta epigénica cerca de la población de Boadella de l'Empordà.

6.5.1 El río la Muga:

El primer curso fluvial importante de Cataluña pertenece a las Conques Internes, de norte a sur, es la Muga, que nace en el Pla del mismo nombre entre los Puig de la Llibertat y el Montnegre en zona fronteriza con Francia, y con un recorrido de 64,7 km (todos ellos por la misma comarca) va a parar a la amplia marisma que conforman los Aiguamolls de l'Empordà, convertidos hoy en un parque natural. Sus afluentes principales son el Arnera (nutridor en cabecera juntamente con el río principal del embalse de Boadella), recibe las aportaciones del Llobregat de la Muga con el Ricardell y el Orlina por la izquierda y del Manol por la derecha.

Regulado el río en cabecera por el embalse de Boadella, el cual tiene una doble finalidad: abastecer e Figueres y regadío de una extensa zona de la cuenca, finaliza su curso en la parte norte de los Aiguamolls de l'Empordà.⁹

⁹ Inuncat versión 2009

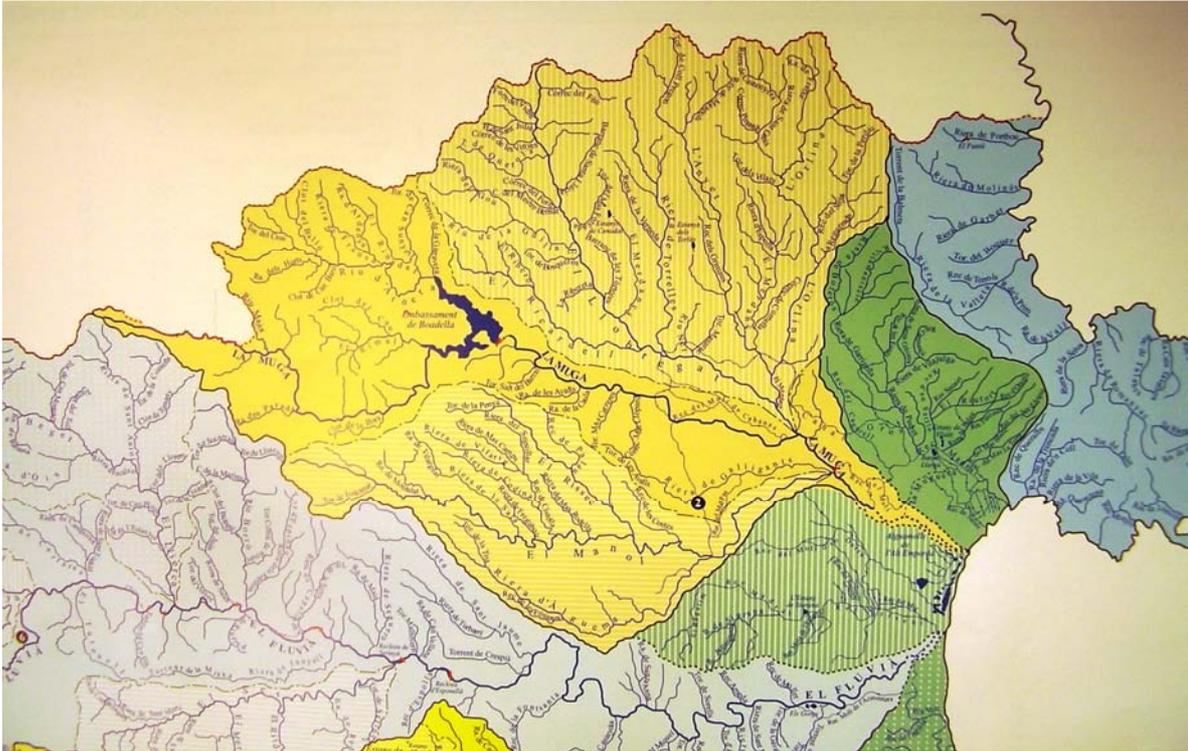


Figura 6.16 Cuenca del río la Muga

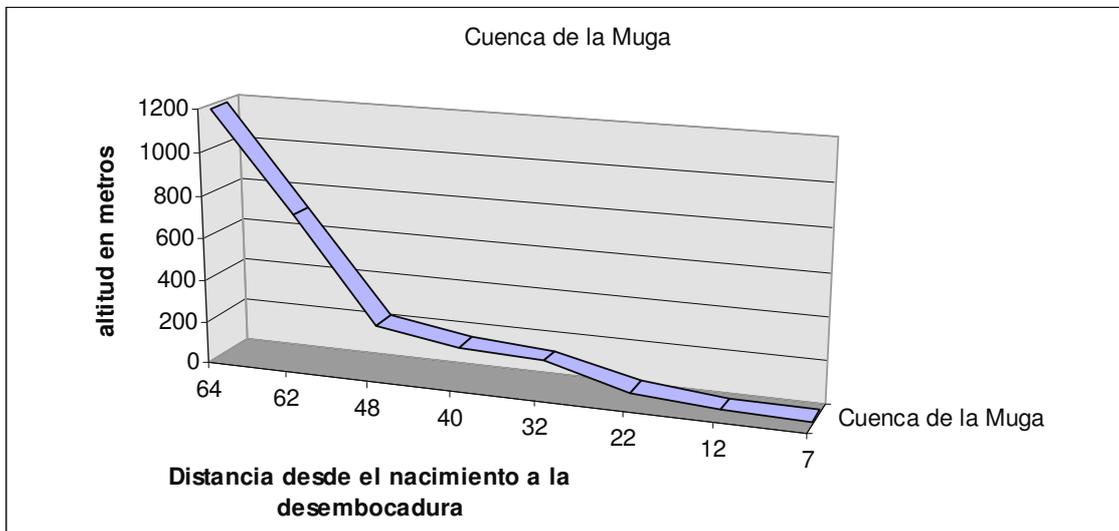


Figura 6.17 Perfil longitudinal del río la Muga

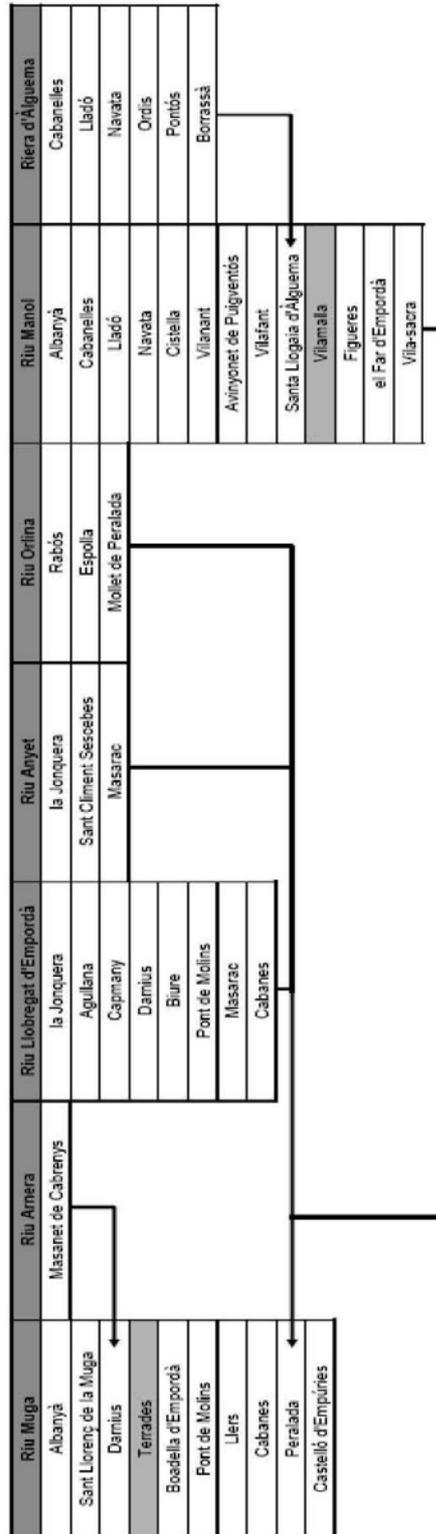


Figura 6.18 Red hidrológica de La Muga¹⁰

¹⁰ Inuncat

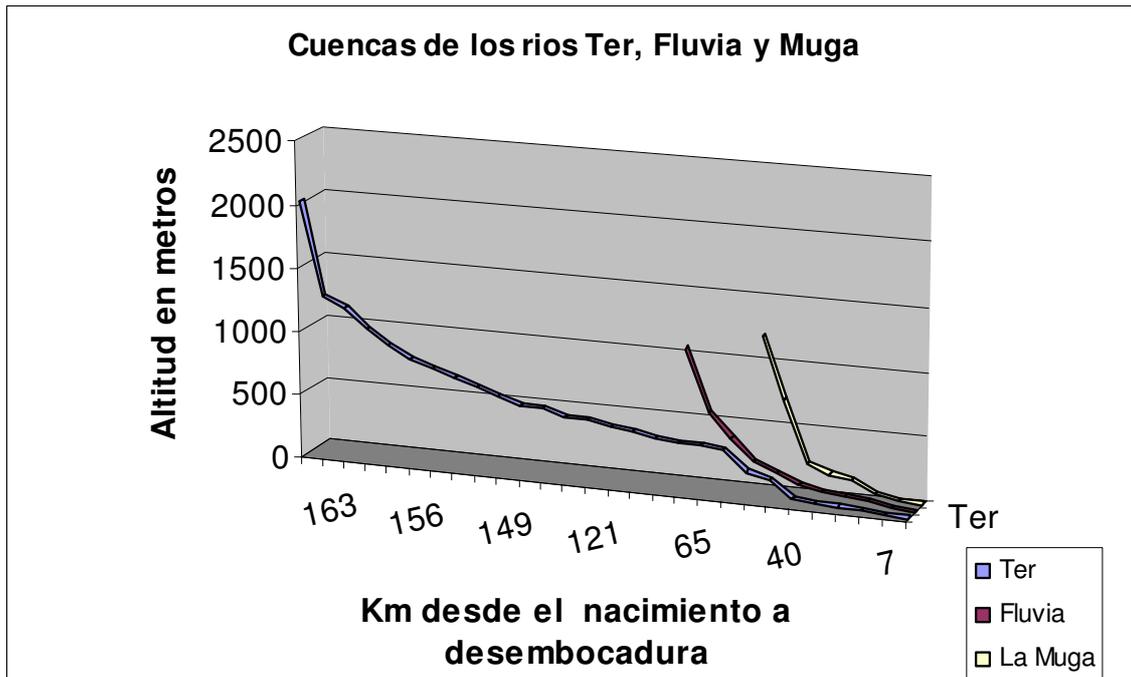


Figura 6.19 Comparación de las tres cuencas: Altitud y longitud

6.6 Subcuencas que afectan a los puentes estudiados

6.6.1 En la cuenca del Ter

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Freser	Cabreta	265	78	0,39
Ter	Camprodon	194	94	0,416
Ter	Sant Joan Abadesses	262	87	0,405
Ter	Manlleu	1127	64	0,405

Tabla 6.6

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Meder	Remei	81	63	0,412
Meder	Queralt	81	63	0,414
Gurri	Bruguer	179	63	0,414

Tabla 6.7

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Riera Major	Malafogassa	124	76	0,422

Tabla 6.8

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Daró	La Bisbal	99	83	0,468
Daró	Gualta	112	80	0,468

Tabla 6.9

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Fluvià	Sant Roc	112,43	92	0,429
Fluvià	Sant Joan les Fonts	139,25	94	0,435
Fluvià	Besalú	600,72	90	0,456

Tabla 6.10

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Riera Oix	Oix	38,42	94	0,441
Sant Aniol	Valentí	35,57	93	0,448
Llerca	Llerca	188,18	93	0,448

Tabla 6.11

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
Ritort del Fluvià	Can Prat	31,41	89	0,453

Tabla 6.12

Cuenca	Puente	Km ² cuenca	Pluviometría (mm/día)	CV
La Muga	Sant Antoni	75,76	86	0,462
La Muga	Sant Llorenç	80,93	86	0,462
La Muga	Castelló d'Empúries	755,24	90	0,468

Tabla 6.13

6.7 Precipitación máxima diaria esperada para diferentes periodos de retorno:

Para valorar la precipitación máxima diaria esperada en Cataluña se ha hecho uso del estudio realizado en base a información de precipitación diaria facilitada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), correspondiente a un total de 145 estaciones pluviométricas distribuidas por toda Cataluña y de las cuales se dispone de series suficiente representativas. Los datos diarios representan lo que se llama “día pluviométrico” (período comprendido entre las 07:00 T.U.C. de un día y la misma hora del día siguiente).

A continuación se comenta el contenido de los mapas correspondientes a la precipitación máxima diaria esperada en Cataluña para los periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 500 años, como ilustración gráfica de los resultados del estudio.

La distribución espacial resultante que localiza los valores máximos y mínimos es idéntica para los cinco mapas y es producto directo de la metodología utilizada. A grandes rasgos, se puede decir que las áreas donde se puede esperar un máximo de precipitación diaria se localizan en la mitad este de Cataluña, en las zonas más altas del Pirineo y al tercio sur de Cataluña y que las áreas donde se espera una mínima precipitación diaria coinciden en gran parte con la *Depressió Central*, extendiéndose desde su extremo occidental hasta el altiplano del *Lluçanès* y la *Plana de Vic*.

6.7.1 El periodo de retorno: cuando reproducen fenómenos naturales con consecuencias catastróficas, como lluvias intensas, riadas , etc uno se puede preguntar ¿Se volverá a producir? ¿Cuándo? Intentando dar respuesta, se ha realizado estudios estadísticos y de probabilidad, sobre cuantos años es probable que vuelva a suceder un fenómeno de igual o mayor al ocurrido. A este número de años se le conoce como periodo de retorno.

Cuando decimos que una lluvia diaria de 100 mm tiene un periodo de retorno de 15 años, queremos decir que, de media, se registrará un precipitación igual o superior a los 100 mm un día cada 15 años.¹¹

¹¹ Martin Vide,X. *Pluges i inundacions a la mediterranea*. TLC : Lluvias y inundaciones en el mediterraneo.

Como resultados del estudio de precipitaciones extremas diarias en Cataluña, a continuación se representan 5 mapas, correspondientes a los períodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 500 años.

- Figura 6.20 Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 2 años.
- Figura 6.21 Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 10 años.
- Figura 6.22. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 50 años.
- Figura 26.23 Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 100 años.
- Figura 26.24. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 500 años

Precipitación máxima diaria esperada para diferentes periodos de retorno¹²

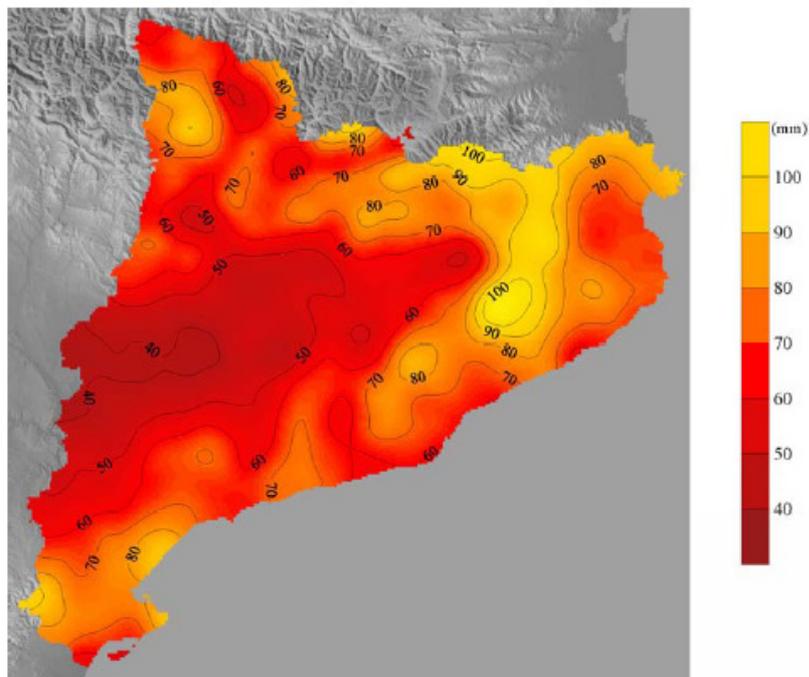


Figura 6.20 Estimación de los valores esperados de precipitación diaria (l/m^2) para un periodo de retorno de dos años¹³

¹² Inuncat pag 20 Actualización 2009

¹³ Inuncat Mapa 2.2 pag 21 Actualización 2009

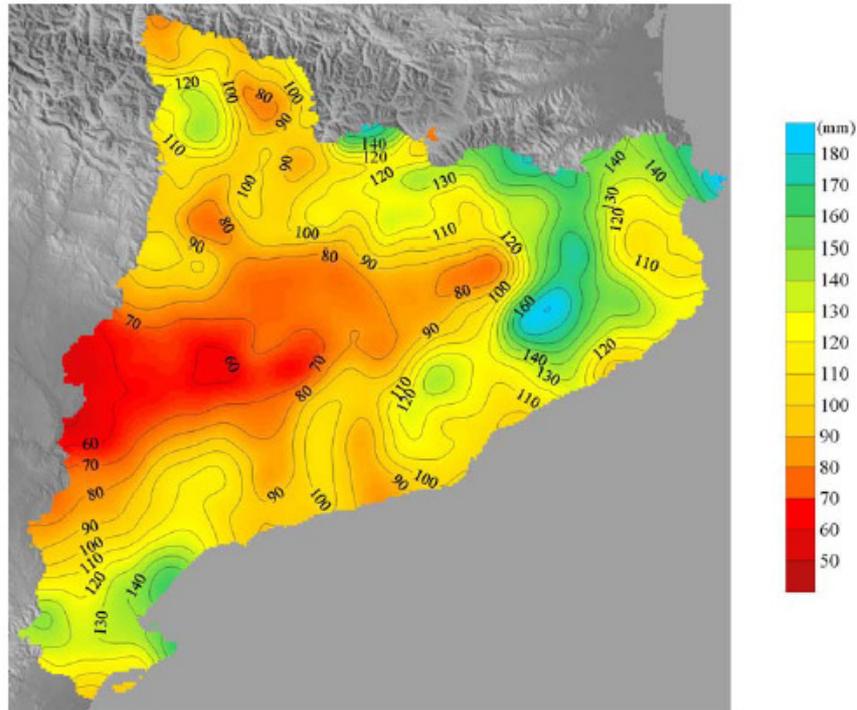


Figura 6.21 Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m²) para un periodo de retorno de 10 años¹⁴

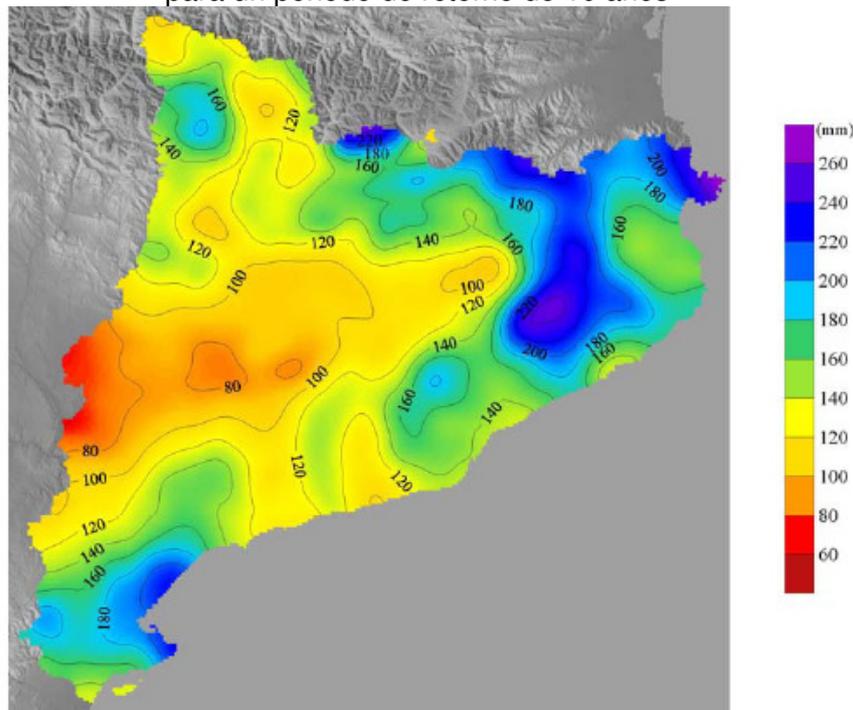


Figura 6.22 Estimación de los valores esperados de precipitación diaria (l/m²) para un periodo de retorno de 50 años¹⁵

¹⁴ Inuncat Mapa 2.3 pag 21 Actualización 2009

¹⁵ Inuncat Mapa 2.4 pag 22 Actualización 2009

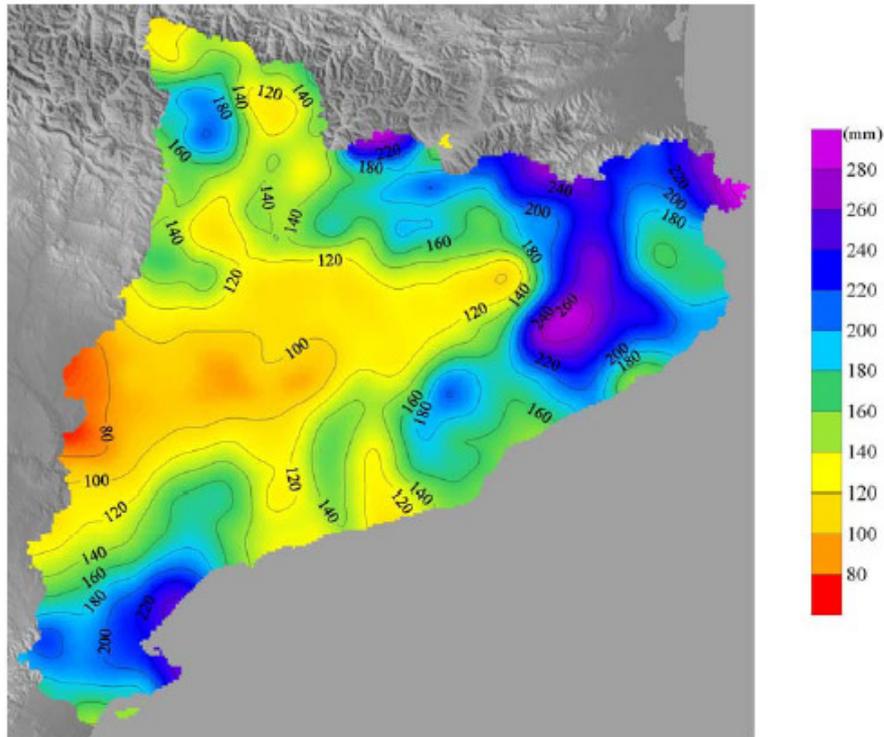


Figura 6.23 Estimación de los valores esperados de precipitación diaria (l/m²) para un periodo de retorno de 100 años¹⁶

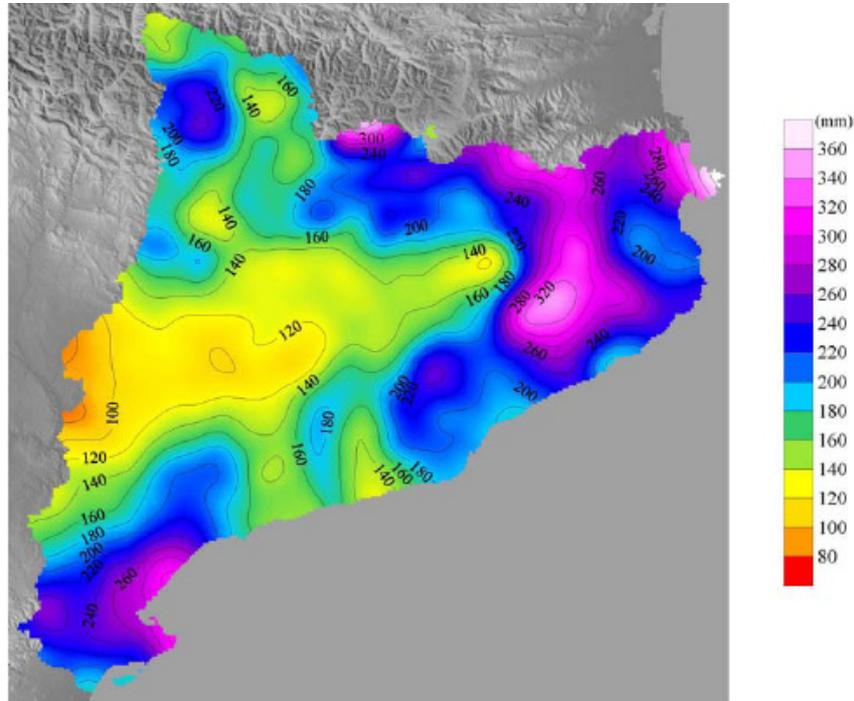


Figura 6. 24 Estimación de los valores de precipitación máxima diaria (l/m²) para un periodo de retorno de 500 años¹⁷

¹⁶ Inuncat mapa 2.5 pag 22 Actualización 2009

¹⁷ Inuncat mapa 2.6 pag 23 Actualización 2009

6.7.1 Comentario de los mapas:

En la mitad este de Cataluña los máximos más destacados dibujan una línea que sigue la Serralada Prelitoral, desde Monteserrat y Sant Llorenç del Munt, hacia el Montseny y las Guilleries y se extiende en dirección norte siguiendo la Serralada Transversal hasta llegar al Pirineo Oriental, desde donde se extiende al oeste hasta el sector del Moixeró y hacia el este por las Alberes hasta el mar. El paraje donde se pueden esperar valores máximos para las precipitaciones diarias extremas es la zona de las Guilleries, pero también son muy destacados los máximos resultantes en la zona comprendida entre las cabeceras de los ríos Ter y Muga y la zona del Cap de Creus.

En el Pirineo se destacan altas zonas donde es necesario esperar precipitaciones diarias importantes, coincidentes también con las zonas de mayor altitud. La más destacada se sitúa al norte de la Cerdanya, en la zona comprendida entre los picos de Perafita y de Puigpedrós, la Noguera Pallaresa, la Noguera Ribagorçana y la Garona.

En todo el tercio sur de Cataluña se define también un área de máximos para la precipitación diaria acumulada definida alrededor de la Serralada Prelitoral, desde las montañas de Prades hasta el Montsià y que se extiende en dirección oeste, hasta los Ports. Los máximos más importantes se sitúan sobre los Ports, en la Serra de Cardó en la franja litoral que envuelve todo el golfo de Sant Jordi y finalmente, en la mitad norte del delta del Ebro.

Al comparar estos dos mapas con los de precipitación media anual en Cataluña (Atles Climàtic de Catalunya, 1996), se observa una gran similitud en su distribución espacial. Las zonas donde se estima un valor máximo para la precipitación máxima diaria descritas anteriormente tienen mucho parecido con áreas de la Cataluña más lluviosa, donde se superan los 700 mm. Ahora bien, también se detectan áreas de máximos dibujadas dentro de lo que se puede considerar la Cataluña seca, Cap de Creus y golfo de Sant Jordi, donde la precipitación media anual se sitúa entre los 500 y 600 mm, pero en cambio son parajes en donde se dan los valores máximos para la precipitación diaria más importantes.

Por lo que hace a la distribución de mínimos más destacados, de un lado existe una gran coincidencia con la Cataluña más seca, es decir, el extremo occidental de la Depressió Central que se dibuja en el mapa de precipitación media anual. Otras zonas de mínimos coinciden con las sombras pluviométricas bien conocidas de la valle de la Noguera de Cardós, o de las tierras del Alt Urgell. De un lado la Val d'Aran o la Plana de Vic son áreas de la Cataluña lluviosa que en cambio presentan mínimos por lo que hace a la estimación de valores máximos para la precipitación diaria. En la franja litoral es necesario hacer mención de los mínimos situados en el Garraf – Alt Penedès y en el Camp de Tarragona, los cuales delimitan un máximo relativo alrededor de un área que coincide bastante bien con la delimitación comarcal del Baix Penedès.

En observar como evolucionan los valores de los máximos y mínimos cuando se incrementa el tiempo de período de retorno, de 2 a 500 años, se observa que la diferencia entre ambos valores también se incrementa hasta llegar a duplicarse.

A continuación se citan los rasgos más importantes del Figuras 6.20 a 6.24 referentes a la precipitación máxima diaria esperada para diferentes períodos de retorno.

- Figura 6.20. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 2 años.

El valor de las isólinas de este mapa varía entre un mínimo de 40 mm y un máximo de 100 mm, y la equidistancia entre isólinas es de 10 mm.

El mapa correspondiente a un período de retorno de 2 años muestra que se pueden dar 40 mm en toda Cataluña.

Los valores máximos de precipitación diaria extrema por encima de los 80 mm se encuentran localizados en Sant Llorenç del Munt, en el Montseny, en las Guilleries, en el área que va desde la Serralada Transversal hasta llegar al Pirineo Oriental, desde el sector del Moixeró hasta las Alberes, destacando incluso valores por encima de los 100 mm en las Guilleries y en la parte norte del Ripollès. También se llega a valores por encima de los 80 mm en la franja litoral del golfo de Sant Jordi, en los Ports, en la zona de la Pica d'Estats, en la divisoria de aguas de las cuencas de la Noguera Pallaresa y la Noguera Ribagorçana y finalmente al norte de la Cerdanya, entre Perafita y Puigpedrós.

- Figura 6.21. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 10 años.

El valor de las isólinas de este mapa varía entre un mínimo de 50 mm y un máximo de 180 mm, y la equidistancia entre isólinas es de 10 mm.

Por otro lado, los valores máximos para la precipitación diaria extrema aparecen alrededor de la Serralada Transversal, más concretamente encima de las Guilleries, y en el extremo del Cap de Creus, con un máximo superior a los 180 mm.

Al norte del país también destacan otros máximos: uno localizado en la parte norte del Ripollès, y uno segundo al norte de la Cerdanya, entre Perafita y Puigpedrós. Ambos máximos alcanzan valores de precipitación por encima de los 160 mm.

En el extremo sur de Cataluña se definen tres máximos con valores por encima de los 140 mm, centrados en los Ports, en la franja litoral que envuelve el golfo de Sant Jordi y en los extremos del delta del Ebro.

Otros máximos relativos aparecen en la zona del macizo de Montserrat y en la confluencia entre las comarcas de la Alta Ribagorça y los Pallars, con valores por encima de los 130 mm.

Por otro lado, los mínimos coinciden con la Vall de Cardós, las tierras del Alt Urgell, la cuenca de Tremp, el Baix Penedès y la Depressió Central, extendiéndose hasta el Pla de Lluçanès, la Plana de Vic, la Serra de Prades, con valores entre 60 y 90 mm, destacando valores inferiores a 60 mm, uno en la zona donde confluyen el Segre y el Cinca y el otro entre las comarcas del Pla d'Urgell y el Urgell.

- Figura 6.22. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 50 años.

Las isólinas de este mapa varían entre un mínimo de 80 mm y un máximo de 220 mm, y la equidistancia entre las isólinas es de 20 mm.

En este mapa, se puede hacer una división territorial similar a la del mapa anterior por lo que hace a la distribución de máximos y de mínimos.

En el extremo del Cap de Creus aparecen los valores máximos de precipitación diaria extrema por encima de los 240 mm. Otros máximos se dan en el extremo sur de Cataluña, al norte de la Cerdanya y en la zona que va desde Montserrat y Sant Llorenç del Munt, hacia el Montseny y las Guilleries, extendiéndose hacia la Serralada Transversal, hasta el Pirineo Oriental, hasta el Cap de Creus, con valores de las isolíneas superiores a los 200 mm.

Es necesario destacar también los tres máximos relativos en la zona de confluencia entre la Alta Ribagorça y los Pallars, en el macizo de Montserrat y los Ports, con valores superiores a los 180 mm.

Los valores mínimos para la precipitación diaria extrema aparecen sobre la Depressió Central, extendida hacia el Camp de Tarragona, la cuenca de Tremp, la Vall de Cardós, el Pla de Lluçanès y la Plana de Vic, con valores por debajo de 80 mm en la zona centrada en el Segrià, las comarcas del Pla de Urgell y el Urgell y la Panadella.

- Figura 6.23 Estimación de los valores de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 100 años.

Las isolíneas de este mapa varían entre un mínimo de 80 mm y un máximo de 280 mm, y la equidistancia entre las isolíneas es de 200 mm.

En este mapa contrastan, nuevamente, los mínimos de precipitación de la Cataluña seca, localizados geográficamente en la Depresión Central, con los máximos correspondientes en la zona noreste de Cataluña.

Los valores máximos también aparecen en las mismas zonas que en el mapa anterior, pero con valores de precipitación diaria importantes en el Cap de Creus, con valores de precipitación por encima de 280 mm, y en el Massís de les Guilleries y norte de la Cerdanya, con valores por encima de los 260 mm. Otros máximos relativos se encuentran en la franja litoral que envuelve todo el golfo de Sant Jordi y el extremo del delta del Ebro, con valores superiores a los 220 mm.

Por lo que se refiere a la distribución de mínimos los valores más destacados, por debajo de los 120 mm, aparecen en la Vall de Cardós, en lo que sería la delimitación comarcal del Baix Penedès, y dentro del área definida por la Depresión Central, el Pla de Lluçanès, la Plana de Vic, la cuenca de Tremp, extendiéndose hacia el Camp de Tarragona. Es necesario el mínimo centrado en el Segrià, con valores por debajo de los 80 mm.

- Figura 6.24. Estimación de los valores esperados de precipitación máxima diaria (l/m^2) para un período de retorno de 500 años.

Las isolíneas de este mapa varían entre un mínimo de 80 mm y un máximo de 360 mm, y la equidistancia entre isolíneas es de 20 mm.

Los valores máximos de precipitación diaria extrema aparecen en el extremo del Cap de Creus, con un valor superior a 360 mm. Otros máximos importantes destacan al norte de la Cerdanya, con valores de 340 mm, en la zona de las Guilleries, con valores de 320 mm, y en la Franja Litoral que

envuelve el golfo de Sant Jordi y el extremo de delta del Ebro, lugares donde se llegan a superar los 300 mm.

Los valores mínimos se localizan de nuevo en la Depresión Central, con mínimos absolutos inferiores a 120 mm, incluso con valores inferiores a los 80 mm, en la parte más occidental del Segrià.¹⁸

Tal como hemos referido en las introducciones de los Volúmenes II y III, en los planos 6/6 de cada puente, indicamos la posible zona de inundación partiendo de los valores referenciado por las placas existentes sobre los niveles alcanzados en la inundaciones históricas y por las referencias de los Guardas fluviales de las cuencas del Fluvià y la Muga. Indicado de Los puentes del Remei, Queralt y Bruguer en 1863, y 1963) y el de Manlleu en 1940, y Oix, Valenti, Llierca en 1970 y Gualta y La Bisbal 1985. En las tablas A1y A2, se recogen los valores de las avenidas históricas en los tres cuencas a las que no referimos en el trabajo desde 1900 a 1978.

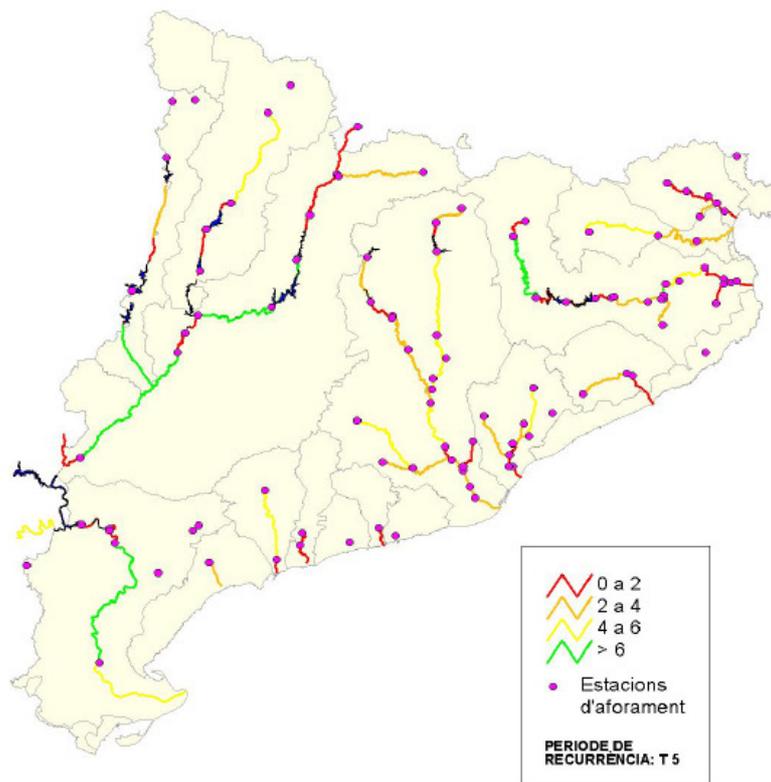


Figura 6.25 Mapa con periodos de retorno de 5 años¹⁹

¹⁸ Inuncat pag.23. Actualización 2009

¹⁹ Inuncat Actualización 2009

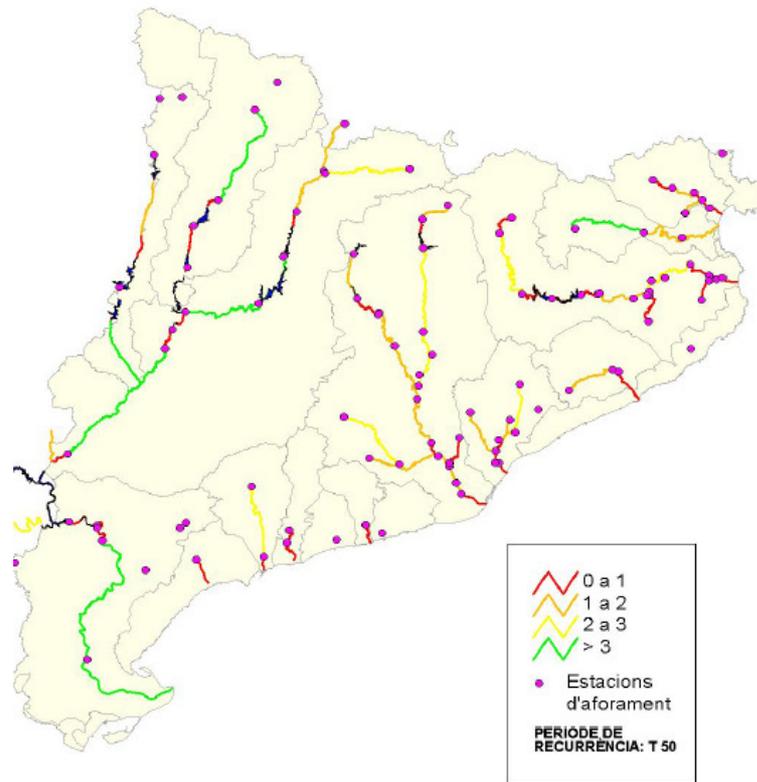


Figura 6.26 Periodos de retorno de 50 años²⁰

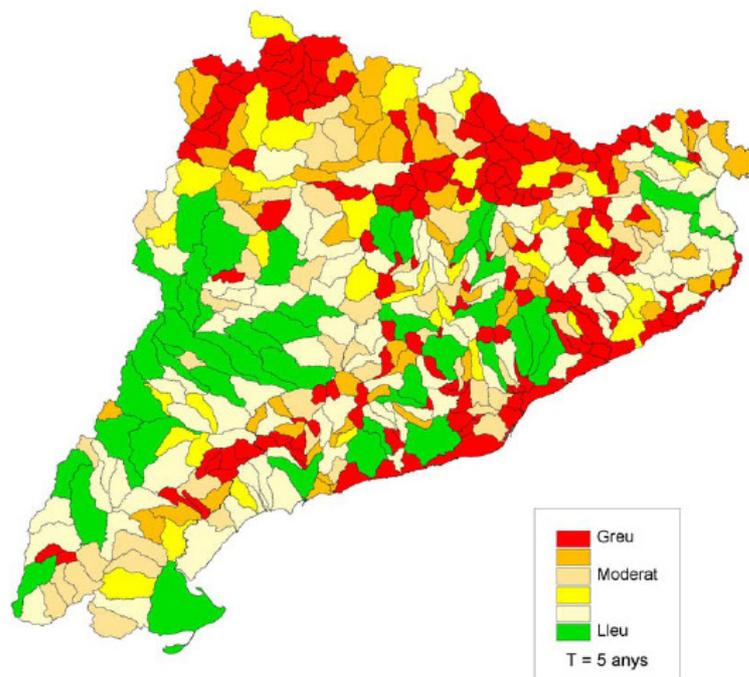


Figura 6.28 Mapa peligrosidad de la cuenca según el tiempo de tránsito con periodos de retorno 5 años²¹

²⁰ Inuncat Actualización 2009

²¹ Inuncat Actualización 2009

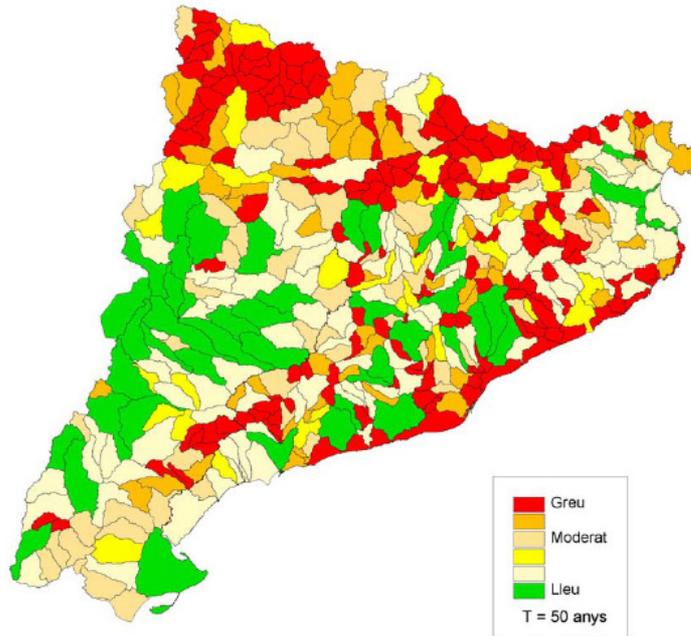


Figura 6.29 Peligrosidad según de tiempo de tránsito con periodos de retorno de 50 años²²
Anexo9

²² Inuncat Actualización 2009

Estación de aforos nº	33			19			27			80		
Río Lugar	Ter Ripoll			Ter Sau			Riera Mayor Villanova			Ter Torroella		
S - K	738 Km ² - 2,2			1523 Km ² - 1,9			133 Km ² - 2,5			2900 Km ² - 1,8		
Fecha / caudal	Qci	Qc	qci	Qci	Qc	qci	Qci	Qc	qci	Qci	Qc	qci
oct - 1907			(.9)	2000 (12)	1050 (12)	1,3			(.9)	1500 (12)	800 (12)	0,51
oct - 1919	530 (1)	240 (5)	0,72	1100 (1)	578 (1)	0,72			(.9)			(.9)
oct - 1920	230 (1)	105 (2)	0,31			(.9)			(.9)			(.9)
sep - 26	33 (1)	15 (2)	(.8)			(.9)			(.9)			(.9)
dic - 32	919 (1)	418 (1)	1,24	1800 (3)	863 (2)	1,18			(.9)	1400 (7)	770 (1)	0,48
may - 36			(.9)	375 (1)	197 (2)	0,24			(.9)			(.9)
sep - oct - 37			(.9)	415 (1)	219 (13)	0,27			(.9)			(.9)
oct - 40	100 (1)	450 (1)	1,34	2350 (7)	1237 (1)	1,54			(.9)	2400 (1)	1340 (1)	0,83
abr - 42			(.9)			(.9)			(.9)			(.9)
dic - 43			(.9)			(.9)			(.9)			(.9)
feb - 44			(.9)			(.9)			(.9)			(.9)
jun - 57	280 (1)	128 (2)	0,38	525 (2)	261 (2)	0,34			(.9)			(.9)
dic - 58			(.8)	376 (2)	248 (2)	0,25			(.9)			(.9)
feb - 59	420 (1)	190 (2)	0,57	954 (2)	538 (2)	0,63			(.9)			(.9)
mar - 59	400 (1)	181 (2)	0,54	659 (2)	376 (2)	0,43			(.9)			(.9)
oct - 59			(.8)	349 (2)	305 (2)	0,24			(.9)			(.9)
mar - 60	224 (1)	102 (2)	0,3	452 (2)	250 (2)	0,3			(.9)			(.9)
oct - 62			(.8)			(.8)			(.8)	900 (1)	500 (3)	0,31
nov - 62	970 (1)	441 (2)	1,31	790 (2)	660 (2)	0,52	195 (2)	89 (2)	1,46			(.9)
sep - 63	634 (1)	228 (2)	0,86	1300 (2)	770 (2)	0,85	211 (2)	90 (2)	1,59	1340 (1)	740 (1)	0,45
nov - 63			(.8)			(.8)	105 (3)	28 (2)	0,8			(.9)
dic - 63			(.8)	260 (2)		(.8)	101 (2)	34 (2)	0,76			(.9)
abr - 64	253 (1)	135 (2)	0,34	429 (1)	226 (2)	0,28			(.8)			(.9)
may - 64	250 (1)	117 (2)	0,34	490 (2)	208 (2)	0,32			(.8)			(.9)
dic - 64			(.8)	356 (1)	192 (2)	0,24	79 (2)	38 (2)	0,59			(.9)
sep - 65	300 (1)	136 (2)	0,4	1250 (3)	395 (2)	0,82			(.8)	1260 (1)	700 (1)	0,43
oct - 65	205 (1)	93 (2)	0,28	340 (1)	181 (2)	0,23	205 (2)	63 (2)	1,54			(.9)
nov - 68	560 (1)	254 (2)	0,76			(.9)	165 (3)	97 (2)	1,24			(.9)
mar - 69	337 (1)	153 (2)	0,46			(.9)			(.8)			(.9)
abr - 69	270 (1)	123 (2)	0,36			(.9)	199 (2)	149 (2)	1,5			(.9)
oct - 70	1050 (4)	275 (2)	1,42	1066 (3)	400 (2)	0,7			(.9)	1100 (1)	620 (1)	0,38
may - 71	380 (1)	127 (2)	0,38	390 (1)	205 (2)	0,25			(.9)			(.9)
sep - 71	308 (1)	140 (2)	0,4	220 (1)	116 (2)	(.8)			(.9)			(.9)
dic - 71			(.8)	600 (1)	312 (2)	0,39			(.9)			(.9)
feb - 72			(.8)			(.8)			(.9)			(.9)
dic - 73	180 (1)	82 (2)	(.8)	1000 (2)	410 (2)	0,66			(.9)			(.9)
mar - 74	365 (2)	166 (2)	0,49	875 (2)	490 (2)	0,57			(.9)			(.9)
sep - 75				787 (2)	64 (2)	0,52						
feb - 76				238 (2)	137 (2)	(.8)						
dic - 76			(.8)	405 (2)	260 (2)	0,26			(.9)			
ene - 77	238 (1)	108 (2)	0,32	224 (4)	162 (2)	(.8)			(.9)	1200 (4)	670 (1)	0,42
may - 77	458 (1)	208 (2)	0,62	304 (2)	260 (2)	0,2			(.9)			(.9)
oct - 77	550 (1)	190 (2)	0,14	405 (2)	234 (2)	0,26			(.9)			(.8)
abr - 78			(.8)			(.8)			(.8)			(.8)
Qcim	220			353			72			560		

Tabla A.1 – Avenidas históricas entre 1907 a 1978 en el río Ter y en la Riera Major²³

- (1) = Datos deducidos por extrapolación o interpolación.
- (2) = Anuario normal de aforos (Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental o Comisaría de Aguas, según fecha).
- (3) = Inventario de hidrográficas estudiados por la comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Ingenieros F. Montalbán y M. Novoa. Julio de 1975 y marzo de 1976.
- (4) = Estudio de avenidas de la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental e Instituto de Hidrología. F. Vilaró Rigol y M. Martín Arnáiz.

²³ López Bustos, A. "Antecedentes para una historia de las avenidas en los ríos del Pirineo Oriental". Revista de Obras Públicas, Mayo 1980, págs. 369 a 383.

Estación de aforos nº	12			52			13			16			531		
Río Lugar	Muga Boadella			Muga Castelló Ampurias			Fluvià Olot			Fluvià Espotellà			Fluvià Garrigas		
S - K	179 Km ² - 2,4			760 Km ² - 2,1			128 Km ² - 2,8			804 Km ² - 2,5			909 Km ² - 2,1		
Fecha / caudal	Qci	Qc	qci												
oct - 1907	390 (12)	145 (2)	2,15	1140 (12)	600 (12)	1,5	220 (12)	140 (12)	1,7	1600 (12)	750 (12)	2,2	1000 (12)	800 (12)	1,1
sep - 1913	398 (1)	166 (2)	2,22			(.9)			(.9)			(.9)			(.9)
dic - 17	118 (1)	49 (2)	0,66			(.9)		16 (5)	(.8)	225 (1)	90 (5)	0,28			(.9)
oct - 19	132 (1)	55 (2)	0,74			(.9)	395 (1)	141 (5)	3,08	612 (1)	125 (5)	0,39			(.9)
feb - 20	223 (1)	93 (2)	1,24			(.9)	140 (1)	50 (2)	1,1	212 (1)	85 (2)	0,26			(.9)
oct - 30	248 (1)	103 (5)	1,37			(.9)	78 (1)	28 (5)	0,62			(.9)			(.9)
dic - 32	326 (1)	136 (13)	1,82			(.9)	224 (1)	80 (13)	1,75	1360 (1)	544 (13)	1,59			(.9)
may - 36	77 (1)	32 (2)	0,43			(.9)	67 (1)	24 (2)	0,52	263 (1)	102 (2)	0,32			(.9)
sep - oct - 37	88 (1)	37 (13)	0,5			(.9)	53 (1)	18 (2)	0,41	250 (1)	100 (1)	0,31			(.9)
sep - 38	235 (1)	98 (13)	1,3			(.9)	142 (1)	51 (13)	1,1			(.9)			(.9)
oct - 40	355 (1)	148 (2)	1,98	1200 (1)	600 (1)	1,58	230 (1)	82 (1)	1,8	1875 (7)	750 (1)	2,33	2000 (4)	950 (1)	2,2
abr - 42	314 (1)	131 (2)	1,75			(.9)			(.9)			(.9)			(.9)
dic - 43	74 (2)	36 (2)	0,41			(.9)			(.9)	437 (2)	292 (2)	0,54			(.9)
feb - 44	98 (2)	91 (2)	0,55			(.9)			(.9)	663 (2)	330 (2)	0,84			(.9)
sep - 49	110 (2)	34 (2)	0,61			(.9)			(.9)			(.8)			(.9)
feb - 59			SA			(.9)	65 (2)	24 (2)	0,74	375 (2)	145 (2)	0,47			(.9)
sep - oct - 59	340 (2)	164 (2)	1,9			(.9)			(.8)	395 (2)	153 (2)	0,49			(.9)
dic - 60			(.8)			(.9)			(.8)	340 (2)	96 (2)	0,42			(.9)
nov - 61	360 (2)	215 (2)	2,01			(.9)	120 (2)	48 (2)	0,94	570 (2)	219 (2)	0,71			(.9)
ene - 62	164 (2)	42 (2)	0,92			(.9)			(.8)			(.8)			(.9)
mar - 62	160 (2)	91 (2)	0,9			(.9)			(.8)	108 (2)	44 (2)	(.8)			(.9)
oct - 62	120 (2)	76 (2)	0,66			(.9)		15 (2)	(.8)	230 (2)	77 (2)	0,29			(.9)
nov - 62	128 (2)	84 (2)	0,71			(.9)			(.8)	165 (2)	69 (2)	0,2			(.9)
sep - 63	350 (2)	136 (2)	1,95			(.9)	112 (1)	40 (2)	0,88	870 (2)	219 (2)	1,08			(.9)
dic - 63	56 (2)		(.8)			(.9)	84 (1)	29 (2)	0,66	460 (2)	138 (2)	0,58			(.9)
nov - 64	136 (2)	43 (2)	0,77			(.9)			(.9)	240 (3)	102 (2)	0,3			(.9)
dic - 64	109 (2)	51 (2)	0,59			(.9)			(.9)	340 (3)	136 (2)	0,42			(.9)
sep - 65	112 (2)	24 (2)	0,62			(.9)			(.9)	216 (1)	87 (2)	0,27			(.9)
oct - 65	423 (2)	109 (2)	2,36			(.9)			(.9)	890 (1)	356 (2)	1,11			(.9)
feb - 67	145 (2)	59 (2)	0,86			(.9)			(.8)			(.9)			(.9)
abr - 69	63 (2)	36 (2)	0,35			(.9)			(.8)			(.9)			(.9)
oct - 70			(.8)	1100 (4)	500 (4)	1,45	95 (2)	11 (2)	0,74	1630 (4)	650 (1)	2,02	1600 (1)	710 (1)	1,76
dic - 71			(.8)			(.9)			(.9)	175 (2)	105 (2)	0,22	309 (3)	187 (2)	0,34
mar - 72			(.8)			(.9)			(.9)	161 (2)		(.8)	500 (3)	181 (2)	0,55
may - 72			(.8)			(.9)			(.9)	143 (2)		(.8)	405 (3)	202 (2)	0,44
jun - 72			(.8)			(.9)			(.9)	148 (2)		(.8)	367 (3)	175 (2)	0,4
oct - 72			(.8)	350 (2)	114 (2)	0,46			(.8)			(.8)			(.8)
dic - 73			(.8)			0,52			(.8)	211 (2)	132 (2)	0,26	360 (3)	173 (2)	0,4
mar - 74			(.8)			(.8)	123 (1)	44 (2)	0,96	164 (2)	101 (2)	0,2	320 (3)	132 (2)	0,35
feb - 76			(.8)			(.8)			(.8)	187 (2)	145 (2)	0,23	330 (1)	158 (2)	0,36
dic - 76			(.8)			(.8)	95 (2)	40 (2)	0,34			(.8)			(.8)
ene - 77	36 (2)	33 (2)	(.8)	107 (4)		(.8)	145 (4)	96 (2)	1,14	300 (4)	150 (2)	0,37	336 (4)	170 (2)	0,37
may - 77	44 (2)	41 (2)	(.8)	450 (4)	255 (2)	0,59	115 (2)	46 (2)	0,9	400 (4)	200 (4)	0,5	420 (4)	200 (1)	0,46
oct - 77			(.9)			(.8)	270 (2)	80 (2)	2,11	1200 (2)	360 (2)	1,49	1300 (4)	430 (2)	1,43
abr - 78			(.9)			(.8)	76 (2)	32 (2)	0,5			(.8)			(.9)
Qcim	88			225			70			235			250		

Tabla A.2 – Avenidas históricas entre 1907 a 1978 en los ríos *Fluvià* y *La Muga*.²⁴

- (5) = Resumen interanual de aforos (Dirección General de Obras Hidráulicas, 1966).
- (7) = Geografía de Catalunya de Sole e Sabaris.
- (8) = Sin avenida.
- (9) = Sin datos.
- (10) = Jaume Codina (Inundacions al delta del Llobregat).
- (12) = Avenidas "estimadas", apoyadas en referencias que las acotan.
- (13) = Anuario múltiple de aforos, de 1932 a 1942.

$$K = \frac{Qc_i}{Qc}$$

Qci = caudal máximo instantáneo [m³/s] **Qc** = caudal máximo medio diario [m³/s] **S** = superficie de la cuenca receptora en km

²⁴ López Bustos, A. "Obr. citada"

Características de los puentes medievales Intervenciones a lo largo del tiempo

7. Los puentes históricos y tipos de intervención a lo largo del tiempo

En este capítulo se resumen las opiniones de especialistas¹ sobre la morfología de los puentes medievales. También sobre las obras de adaptación realizadas sobre los puentes históricos como consecuencia de las reparaciones, reconstrucciones, o simplemente adaptaciones a las nuevas necesidades². Nuestra aportación además de resumirlo y emplearlo como guía consistió en emplearlo como guía para identificar los detalles que permiten su identificación y clasificación.

En algunos casos, después de indicar el detalle morfológico, indicamos en los apuntes identificados con “**a.** en cursiva y negrita” el nombre de los puentes estudiados que cuentan con ella en su estructura. Citando, en algunos casos, la ficha del puente en cuestión.

7.1 Características morfológicas de los puentes medievales

Los estilos arquitectónicos en la Edad Media, románico y gótico se caracterizan por el empleo de la bóveda de piedra para cubrir los espacios. El dominio de este tipo de construcción se puede ver también en la construcción de los puentes.

La técnica constructiva empleada en la construcción de puentes desde los romanos a bien entrado el siglo XVIII no presenta cambios básicos: la bóveda cilíndrica de dovelas yuxtapuestas.

7.1.1 La esbeltez

Hay no obstante características distintivas entre las dos épocas, la esbeltez de los arcos es una de ellas, ya que en los medievales es mayor que en los romanos.

En los últimos los valores son 1/8 a 1/18 y en los medievales entre 1/15 y 1/30.

7.1.2 Relaciones existentes

También hay diferencias entre la relación entre el ancho de la pila y la luz del arco ya que en los romanos es de 1 a 1/4,3 y un valor normal 1/2, en los medievales de llega a 1/6,5.

7.1.3 Los Arranques del arco

En cambio, durante la época medieval se mejora la intuición del comportamiento resistente del arco de medio punto. Ya se sabía que la línea de cargas y presiones no coincidía con todo el arco de medio punto, por esta razón los arranques se modifican, iniciándose con sillares horizontales con el borde curvo para dar la forma del arco, cuando el sillar llega a un cierto punto: normalmente al llegar a 30º del centro del arco, arrancan las dovelas radiales para trazar un arco de 120º.

“a.1. Es comprobable en casi un 50% de los 75 arcos estudiados en los puentes que se estudian en la tesis”.

¹ Sin ánimo de omitir a la totalidad de ingenieros y arquitectos que han trabajado y publicado trabajos sobre este tema no queremos dejar de citar a Fernández Troyano, L. autor de un artículo que nos ha servido a todos los estudiosos sobre el tema y de guía para el desarrollo de este capítulo, y también a otros que con numerosas publicaciones, tratan el tema, Arenas, J.J.; Durán Fuertes, M; Huertas, S.; Tarragó, S.; Roca.P, Novoa, M.

² I simposio nacional sobre Conservación, rehabilitación y gestión de puentes. Madrid 1991.

7.1.4 Las dovelas

En los puentes medievales se pueden encontrar dos tipos de dovelas que dan lugar a dos tipos de bóvedas:

a) las uniformes, donde todas las dovelas son análogas en todo el ancho de la bóveda y todas tiene el mismo canto

b) las que tienen en el paramento del puente dovelas grandes y bien labradas, con una sola pieza en el canto del arco y el resto de la bóveda entre los paramentos realizado con sillarejo.

“a.2. Es visible la aplicación del procedimiento indicado en el apartado b) en todos los puentes, menos en: Sant Joan de les Abadesses (reconstruido en 1974), Besalú (reconstruido en 1967), Can Prat, Remei, Bruguer, la Bisbal de l’Empordá, Castelló d’Empuries”.

7.1.5 Los Tajamares y los espolones

El conocimiento del efecto de los tajamares es otra de las características que nos sirven para determinar el periodo de construcción del puente.

Los romanos ignoraban el efecto de los espolones, por esta razón sus puentes tienen tajamares y en algún caso el ensanche de las pilas aguas abajo.

En cambio en los puentes medievales se colocan tajamares en ambos sentidos, y con frecuencia elevados hasta la plataforma del camino.

Otra característica del puente medieval hace referencia a los tajamares con “sombretes escalonados”:

“a.3. Se pueden apreciar en los siguientes puentes: Camprodon, Sant Joan de les Abadesses, Manlleu, Queralt, parcialmente en el de Bruguer, Sant Roc, Oix, Besalú, Can Prat, Castelló d’Empuries antes de las restauraciones de los años 2003 y 2008”

En los puentes góticos son característicos los tajamares triangulares que llegan hasta el borde superior de los pretilos, “formando balconillos” a lo largo de la plataforma del puente.

“a.4. Son apreciables en los puentes de: Remei, en la Bisbal de l’Empordá, Besalú, Sant Antoni y Sant Ilorenç de la Muga. También en Castelló d’Empuries después de la últimas restauraciones de los años 2003 y 2008”.

7.1.6 Arquillos de aligeramiento

Los puentes medievales suelen construirse con arquillos de aligeramiento, se suelen situar sobre la línea vertical de pilas. A estos arquillos se les suele llamar aliviaderos ya que podrían cumplir algunas de las siguientes funciones:

Aumentar el desagüe del puente en las avenidas.

Disminuir el empuje del agua de las avenidas sobre los tímpanos.

Disminuir el área de los tímpanos y así, reducir el empuje del relleno sobre los tímpanos.

Introducir un elemento en la composición del puente, que aligere la superficie que forma el conjunto pila-tímpano.

a.5 Figuran como elementos estructurales secundarios en los siguientes puentes: Cabreta, parcialmente cegados, Camprodon, con el lado del paramento de aguas arriba cegado, Sant Joan de les Abadesses, Manlleu, Queralt, Bruguer, Sant Roc, Sant Joan les Fonts, Besalú.

7.1.7 Numero de arcos

También son característicos de los puentes medievales los de un solo arco principal de gran luz para salvar el río y con arquillos de aligeramiento de gran tamaño a ambos lados del arco principal, En estos puentes la flecha necesaria un arco de luz grande obliga a levantar la clave sobre las orillas lo cual lleva aun perfil de lomo de asno pronunciado.

“a.6. Destacan cumpliendo ambas los puentes de como el de: Cabreta, Sant Joan de les Abadesses y Camprodon. Y también sin arquillos de aligeramiento el puente de Llierca”.

7.1.8 Calzadas con pendiente

Los puentes de lomo de asno, se dan en los puentes con uno o con varios arcos. En este ultimo caso las luces de los arcos decrecen desde el centro a los extremo.

“a.7. Con doble pendiente y arcos de luces decrecientes, se encuentran: Cabreta, Camprodon, Sant Joan de les Abadesses, Queralt, Bruguer, Gualta, Oix, Llierca, Can Prat, Sant Ilorenç de la Muga”.

En los puentes góticos, los arcos son ojivales. No obstante en la misma época se construían puentes con este tipo de arco y también con arcos de medio punto.

“a.8. Hay puentes con los dos tipos de arco, como el de Sant Joan de les Abadeses y Sant Joan les Fonts y también uno de los dos arcos de la quinta bóveda de Besalú”.

7.1.9 Arcos Apuntados

Los puentes con arcos apuntados, no tiene justificación desde el punto de vista de resistencia ya que las cargas permanentes que actúan sobre el arco son máximas en los arranque y mínimas en la clave.

7.1.10 La Ejecución

Respecto a la ejecución de los puentes shogun las épocas, los romanos de una ejecución más perfecta que en los medievales, perfección que se observa el labrado de los sillares y de las dovelas y en la geometría de los arcos.

7.2 Las actuaciones en los puentes históricos realizadas a lo largo del tiempo

La mayoría de los puentes históricos que se han conservado, han sufrido transformaciones: las más importantes se han debido a las variaciones de sus condiciones funcionales a lo largo de su historia. Entre esas condiciones, las

principales son los requerimientos por las necesidades crecientes del tráfico, lo que ha obligado en muchos puentes a ensanchar la calzada, rectificar la rasante, etc.

En algunos de los puentes que se construyeron en la Edad Media, según su valor estratégico, se le incluían torres de defensa. Otros fueron construidos sin este tipo de torres, y en algunos casos, pasado el tiempo, se les añadieron, inclusive sobre algunos puentes romanos que no tenían. A finales del medioevo, la mayoría de los puentes tenían torres que servían para su defensa y para el cobro del pontazgo. Pero se derribaron en su mayor parte a finales del siglo XVIII y principios del XIX, para aumentar la capacidad de paso por ellos.

“a.9. En las referencias históricas de las estructuras que hemos estudiado se relacionan torres de defensa o pórticos para control en los siguientes puentes: Camprondon (existe). Queralt, la Bisbal de l’Emporda, Besalú (reconstruida), Sant Llorenç de la Muga, Castelló d’Empuries”.

Las actuaciones realizadas en los puentes históricos se pueden dividir en tres grupos claramente diferenciados:

A. Las actuaciones para adaptarlos a las nuevas necesidades funcionales.

B. Las reparaciones, reconstrucciones, o restauraciones, para asegurar su supervivencia.

C. Las sustituciones por nuevos puentes cuando no es posible mantener el tráfico por ellos.

A. Las actuaciones de adaptación, son las motivadas por las nuevas necesidades funcionales que se exigen al puente que, han ido variando a lo largo de su historia.

Actuaciones de este tipo se han hecho en todos los tiempos, pero la mayoría en los siglos XIX y XX, que es cuando se han producido mayores transformaciones en los medios de transporte.

Las adaptaciones más comunes en los puentes de piedra son debidas a la geometría del puente, y pueden afectar a la planta y al alzado. La más frecuente es el ensanche de la calzada y para ello se utilizan distintos procedimientos, ordenados según la corrección:

A.1 Ensanche mediante vigas adosadas al puente original. Se intenta resolver el problema, ignorando la existencia de una obra anterior a la que hay que adecuarse. Generalmente las vigas nuevas se apoyan en los tajamares de puente o en nuevas pilas de hormigón adosadas a las originales.

A.2 Ensanche de los arcos mediante bóvedas de hormigón adosadas. Esta solución se ha utilizado también con frecuencia, y sin ningún respeto al puente existente porque también lo desfigura irreversiblemente.

A.3 Ensanche de los arcos realizando una nueva bóveda con el intradós por encima del trasdós de la primitiva. De esta forma el arco antiguo queda a la vista bajo el nuevo. Hay por tanto en esta solución un intento de conservación y respeto del puente primitivo.

A.4 Ensanche mediante voladizos laterales.

Es el procedimiento que más se ha utilizado; se han hecho distintos tipos de voladizos: losa de hormigón; ménsulas aisladas en diafragma con una losa entre ellas; tornapuntas metálicos con una losa delgada de hormigón o metálicas. Los voladizos de ambos paramentos se pueden compensar entre sí de varias formas: con una losa continua en toda la calzada, con tirantes metálicos, o con vigas de hormigón.

“a.10. De los puentes que hemos estudiado, en el de Manlleu, su rasante ha sido ampliada como mínimo dos veces durante el siglo XX, primero en 1900 mediante vigas adosadas perpendiculares al eje de la rasante. En 1940, ensanche, colocando una losa de hormigón armado a lo largo de toda la rasante, de ambas se adjuntan fotografías en la ficha número cuarta”.

A.5 Ensanche mediante translación paralela de uno de los paramentos.

Este procedimiento supone el desmontaje de uno de los paramentos, la ampliación de la cimentación y el montaje de nuevo paramento, con el ancho de calzada requerido; los bóvedas se ensanchan interiormente, bien mediante la misma piedra, que la solución ideal, o bien de hormigón. De los cinco procedimientos, este es el que en la mayoría de los casos resulta más satisfactorio. Tiene el inconveniente de que es difícilmente reversible. También el más caro, porque obliga a un desmontaje cuidadoso del paramento y de las dovelas frontales de los arcos, numerando todos los sillares para volver a montarlos.

No solo el hierro y el acero tienen problemas de durabilidad. El hormigón armado tiene problemas por oxidación carbonatación de las armaduras, debido a la figuración o a recubrimientos escasos. También la piedra tiene problemas de durabilidad por meteorización, agravada en muchos puentes por las atmósferas agresivas de las ciudades.

B. En los puentes de piedra, una de las causas que ha producido más desastres ha sido la insuficiencia de cimentación que generalmente se manifiesta en las grandes avenidas. Los pilotes de madera hincados no siempre eran suficientemente profundos, y por ello la socavación del lecho del río podía derribar las pilas. Otra de las causas que ha llevado a la ruina a muchos puentes de piedra ha sido la rotura de los tímpanos por empuje del relleno, o que termina dejando los arcos exentos.

a.11. Las intervenciones más destacadas llevadas a término, en este sentido, han sido sobre las pilas quinta y sexta del puente de Besalú, que se explican en la ficha décimo sexta”

C. En la sustitución de un puente se plantea dos problemas:

El primero es la posición relativa entre los dos puentes. Con frecuencia el nuevo se ha situado casi pegado al viejo, de forma que ambos se estorban y ahogan. Si están a la distancia adecuada ambos se pueden potenciar mutuamente. La distancia depende de la envergadura o de las dimensiones de ambos

El segundo problema es la situación en que quedan los puentes históricos cuando pierden su función; en ese momento dejan de pertenecer al Departamento de Obras Públicas o a cualquier otro organismo, y por ello pueden descomponerse progresivamente hasta desaparecer, sin que nadie se haga cargo de ellos.

“a.12. Un ejemplo lo podemos encontrar en la ficha décimo tercera correspondiente al puente de Oix, En las fotografías se puede apreciar el estado en que se encontraba, quizás por los efectos de las avenidas el año 1970, los trabajos realizados en su consolidación y también el estado en que se encuentra en 2010”.

Es conveniente que los puentes conserven una función, aunque sea solo histórica, estética o de identidad y servir solo para tráfico local, peatonal, o para su contemplación.

Finalmente del ejemplo de restauración del puente de Besalú, se añade un resumen del proyecto realizado por la Diputació de Girona, con la idea de emplear una metodología semejante en la descripción de las patologías de los puentes que incluiremos en la tesis.

Bibliografía consultada

1. Libros

- 1.1 ACA, Departament de Medi Ambient. Generalitat Catalunya. (2007): *Estudi d'actualització de l'avaluació de recursos hídrics de les conques Internes de Catalunya. Document de síntesis.* (Barcelona): ACA
- 1.2 Afadós Ed. (2001): *L'Abans Recull Gràfic 1886 – 1965 Osona, Manlleu* 1ª edición. (Barcelona): Afadós Editors ISBN 84 95 550 04 0
- 1.3 Aguiló Alonso, Miguel (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico.* 3ª edición. (Madrid): Ministerio de Obras Públicas ISBN 84 7433 310 5
- 1.4 Aj, M. (1990): *Manlleu. Aproximació a la història, l'entorn, l'economia i l'estructura territorial.* 1ª edición (Barcelona): Ajuntament de Manlleu ISBN 84 76 02 226 3
- 1.5 Ajuntament de Girona. (1982): *Girona, rius, ponts, aiguats.*
- 1.6 Alberti, L.B. (1991): *De Re Aedificatoria.* Edc.(Madrid): Edc. Akal ISBN 8476009240
- 1.7 Alegria Goyoga, E. (1993): *Cartografía histórica siglos XIX-XX.* (Madrid): Edc. Akal. ISBN 84 4600 121 7
- 1.8 Alejandro Sánchez, FJ. (2002): *Historia, caracterización y restauración de morteros.* (Sevilla): Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ETSAS. Universidad de Sevilla. ISBN 84 472 0773 0
- 1.9 Alonso Pérez de Ágreda, E. (1986): *Riesgos naturales en la Ingeniería Civil.* (Barcelona): UPC ediciones. ISBN 84 7653 001 3
- 1.10 Amics del Montseny (2006): *Monografies del Moteseny.* nº 21. (Barcelona): Ed. Amics del Montseny. ISSN 1135/9293
- 1.11 Aparicio Mijares, FJ. (1987): *Elementos de hidrológica de superficie.* (México): Edt. Limusa SA
- 1.12 Araiza, G. (2005): *Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Tensiones de corte.* Tesis Doctoral. (Barcelona): Universidad Politécnica de Catalunya ETSAB.
- 1.13 Aragon, E. (1909): *Ponts et ouvrages en maçonnerie.* (Paris): Dunod et E. Pinot.
- 1.14 Aramburu, MA. (1990): *Las obras publicas en la corona de Castilla entre 1750 y 1650: Los puentes.* Tesis Doctoral. (Madrid): Universidad Autónoma de Madrid. ISBN 84 7477 214 1
- 1.15 Aramburu-Zabala, M.A. (1990): *La arquitectura de puentes en Castilla y León entre 1575 – 1650.* (León): Junta de Castilla y León.
- 1.16 Arenas de Pablo, J.J. (2002): *Caminos en el aire: Los puentes.* Dos volúmenes. Colección ciencias, humanidades e ingeniería nº 57. (Madrid): CICCOP. ISBN Obra completa 84 380 0224 2

- 1.17 Arenillas Parra, M. (1987): *Los ríos. Guía física de España*. (Madrid): Alianza Edit.
- 1.18 Arzola, P. (1994): *Historia de las Obras Públicas en España*. 3ª edición. Colección ciencias, humanidades e ingeniería nº 11. (Madrid): CICCIP. ISBN 84 380 0208 0
- 1.19 Badia i Homs, J. (1981): *L'Arquitectura Medieval de l'Empordà*. Tres volúmenes. (Girona): Diputació de Girona. ISBN 8450031419
- 1.20 Balaguer Camphuis, E. (1991): *Simposio Nacional sobre Conservación, Rehabilitación y Gestión de puentes*. (Madrid): Asociación Técnica de Carreteras. ISBN 84 87825 54 0
- 1.21 Bango Torviso, I G. (1999): *El Camino de Santiago*. (Madrid): Espasa Calpe. ISBN 84 239 9304 3
- 1.22 Belda Villena, E. (1963): *Resistencia de Materiales y cálculo de estructuras*. Volumen I. (Bilbao): ETSII.
- 1.23 Bielza Feliu, A. (1999): *Manual de técnicas de tratamiento del terreno*. (Madrid): Universidad Politécnica Madrid, ETSIM. ISBN 84 921 7088 3
- 1.24 Bolós, J. (1998): *Atlas del Comtat de Besalú 785 a 988. Col·lecció Atlas del Contat de la Catalunya Carolíngia*. (Barcelona): R. Dalmau. ISBN 84 232 0520 7
- 1.25 Bolós, J. (1998): *Atlas del Comtats d'Empúries i Peralada 780 a 991. Col·lecció Atlas del Contat de la Catalunya Carolíngia*. (Barcelona): R. Dalmau. ISBN 84 2320 60 41
- 1.26 Bolós, J. (1998): *Atlas del Comtat de Girona 785 a 993. Col·lecció Atlas del Contat de la Catalunya Carolíngia*. (Barcelona): R. Dalmau. ISBN 84 2320 6149
- 1.27 Bolós, J. (1998): *La vida quotidiana a Catalunya a l'època medieval*. (Barcelona): R. Dalmau. ISBN 84 29 7477 37
- 1.28 Bolós, J. (1995): *El mar, el pagès i el sènior: paisatge i societat en una parròquia de la Garrotxa a l'Edat Mitjana*. (Barcelona): Curial. ISBN 847 25 69 144
- 1.29 Bolós, J. (2004): *Els orígens medievals del paisatge català*. (Barcelona): Ed. Abadía de Montserrat. ISBN 84 8415 647
- 1.30 Bosch, X. (1986): *Els ponts de ferro a Girona*. TFC. (Girona): Col·legi Aparelladors ISBN 84 500 7131 3
- 1.31 Braudel, F. (1993): *El mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II*. 2ª edición, 3ª reimpresión. Dos volúmenes. (Madrid): Sucursal del Fondo de Cultura Económica. Obra completa ISBN 84 375 0095 8
- 1.32 Camps i Arboix, J. (1976): *El Ter*. (Barcelona): Edi. Destino. ISBN 84 233 0108 7
- 1.33 Calavera Ruiz, J. (1999): *Nuevas técnicas de evaluación estructural, rehabilitación y refuerzo de estructuras*. (Barcelona): Grupo español de la International Association for Bridge and structural engineering, Association Internationale des ponts et charpentés.

- 1.34 Casas i Genover, J. (1981): *La via romana del Capsacosta*. (Girona): Diputació de Girona
- 1.35 Casas, i Genover, J. (1995): *El món rural d'època romana a Catalunya: (exemple del nord-est)*. (Girona): Centre d'Investigacions Arqueològiques de Girona. ISBN 84 878 3405 1
- 1.36 Casas Trabal, P. (2007): *La construcción urbana de Manlleu 1900 – 2000*. 1ª edición. (Barcelona): Eumo Editors ISBN 978 84 97 66 277
- 1.37 Castillo Barranco, J.C. (2002): *Topología y materiales de las presas romanas en España*. Tesis doctoral. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid.
- 1.38 Caula i Vegas, F. (2002): *Les parròquies i comuns de Santa Eulàlia de Begudá i Sant Joan les Fonts (Notes Històriques)* 3ª edición. (Olot): Ajuntament de Sant Joan les Fonts. Edicions El Bassegoda. ISBN 84 86239 57 5
- 1.39 Caula i Vegas, F. (1984): *Recull d'articles i treballs*. Volum II. (Olot): Ajuntament de Sant Joan les Fonts. Edicions El Bassegoda. ISBN 84 86239 09 5
- 1.40 Caula i Vegas, F. (1984): *Recull d'articles i treballs*. Volum III. (Olot): Ajuntament de Sant Joan les Fonts. Edicions El Bassegoda. ISBN 84 86239 10 9
- 1.41 Caula i Vegas, F. (1988): *Recull d'articles i treballs*. Volum IV. (Olot): Ajuntament de Sant Joan les Fonts. Edicions El Bassegoda. ISBN 84 86239 32 X
- 1.42 Caula i Vegas, F. (2005): *Crònica fidel de les coses més assenyalades succeïdes a les parròquies de Sant Joan les Fonts, Santa Eulàlia de Begudá i Sant Andreu de Socarrats, des dels primers temps fins a l'any de gracia de 1592. 1925*. (Sant Joan les Fonts): Edició de 2005 Amics de Sant Joan les Fonts, Ajuntament de Sant Joan les Fonts.
- 1.43 Coque, R. (1984): *Geomorfología*. (Barcelona): Alianza. ISBN 84 206 8079 6
- 1.44 Choisy, A. (1999): *El arte de construir en Roma*. (Madrid): Centro de Estudios Históricos de Obras Publicas y Urbanismo, CEHOPU. Centro de Estudios y experimentación de Obras Publicas del Ministerio de Fomento, CEDEX. Instituto Juan de Herrera, ETSA. ISBN 84 89977 67 4
- 1.45 Chueca, J.A. (1975): *Supervivencia de una obra hidráulica: El acueducto de Segovia*. Colección ciencias, humanidades e ingeniería nº 40. (Madrid): CICCIP.
- 1.46 Crisfield, MA. (1988): "A mechanism program for computing the strength of masonry arch bridges", TRRL, Dept. of Transport, Research Report 124
- 1.47 Danés i Torras, JMª (1917): *El pont de Besalú sobre el Fluvià* (Barcelona): L'Avenc.
- 1.48 Degrand, M.E. (1888): *Ponts en maçonnerie*. (Paris) : Librairie Polytechnique Baudry et Cie.
- 1.49 Domènech i Moner, J. (2007): *Beget, un ric patrimoni històric i natural*. (Santa Coloma de Farners): Arts Gràfiques Cantalozella.

- 1.50 Dorca i Arnau, H. (2006): *Sant Joan les Fonts*. SJIF: Ajuntament de Sant Joan les Fonts. ISBN 84 606 4112 0
- 1.51 Duran Fuertes, M. (2001): *La construcción de puentes en la antigua Gallaecia Romana*. Tesis doctoral. (Santiago de Compostela): Universidad de Santiago.
- 1.52 Famoso Arnau, S. (2008): *EL pont vell de Castelló d'Empúries. Una memòria arquitectònica, constructiva i històrica del passat*. CdE: Ajuntament de Castelló d'Empúries. ISBN 978 84 88451
- 1.53 Fernández Casado, C. (1980): *Historia del puente en España: Puentes romanos*. (Madrid): Instituto Eduardo Torroja.
- 1.54 Fernández Casado, C. (1977): *Curso especializado de hormigón*. Tres volúmenes. (Madrid): Agrupación de fabricantes de cemento.
- 1.55 Fernández Casado, C. (2005): *La arquitectura del ingeniero*. 2ª edición. (Madrid): CICCIP. ISBN 84 380 0317 6
- 1.56 Fernández Troyano, L. (2004): *Tierra sobre el agua*. 2ª edición. Dos volúmenes. (Madrid): CICCIP. ISBN 84-380-0271-4
- 1.57 Francés Garcia, F. (1995): *Utilización de la información histórica en el análisis regional de avenidas*. (Barcelona): CIMNI de la Universidad de Catalunya. ISBN 84 878 6753 7
- 1.58 Franquesa, P; Solé JMª. (1965): *Sagrada Biblia*. (Barcelona): Editorial Regina. Nº de registro B 8433/65
- 1.59 Freixes, P. (1980): *Girona Medieval: Muralls i Ponts*. (Girona): Anals de d'Institut de Estudis Gironines nº 25. 1979-1980
- 1.60 Gaztelu (1865) Estabilidad de los puentes. Madrid
- 1.61 García Ruiz, JM. (1987): *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial*. (La Rioja): Instituto de Estudio Riojanos. ISBN 84 000 6613 8
- 1.62 Gay, V. i Gay Puigbert, C. (2008): *Els ponts. Col·lecció Quaderns de la Revista de Girona 134*. (Girona): Diputació de Girona i Fundació Caixa Girona. ISBN 978 84 96747 20 3
- 1.63 Gautier, H.(1716):*Traite des ponts*. (Paris) :Cailleau, C.A.
- 1.64 Gendron, S. (2006): *La toponymie des voies romaines et médiévales: les mots des routes anciennes*. (París): Edt Errance. ISBN 28 7772 332 1
- 1.65 Gibert i Bonastre, F. (2005): *Els ponts de Girona*. (Girona): UdG, Recurs electrònic.
- 1.66 Gifré i Ribas, P. (2000): *Història de l'Alt Empordà*. (Girona): Publicaciones de la Diputació de Girona. ISBN 84 95187 02 07
- 1.67 Gil Olcina, A. (1989): *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*. (Alicante): Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, CAM. ISBN 84 86809 36 3

- 1.68 González, F. (1992): *Fábricas hidráulicas Españolas*. (Madrid): Centro de publicaciones del MOPU. ISBN 84 7790 147 3
- 1.69 Gracia Ortega, P. *Historia de la legislación española de caminos y carreteras*. MOPU.
- 1.70 Graciani, A. (1998): *La técnica de la arquitectura en la antigüedad*. Reimpresión 1999. (Sevilla): Universidad de Sevilla. ISBN 84 472 0467 7
- 1.71 Grattesat, G. (1981): *Concepción de puentes. Tratado general*. (Barcelona): Editores técnicos asociados. ISBN 84 7146 226 5
- 1.72 Gutierrez i Martínez, J. coordinador (2008): *Historia de la Garrotxa Volumen V de la colección: Història de les comarques gironines*. (Girona): Unitat de Publicacions Diputació de Girona. ISBN 978 84 96747 26 5
- 1.73 Heyman, J. (1995): *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSA, Instituto Juan de Herrera, ISBN 84 89977 69 0
- 1.74 Heyman, J. (1999): *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSA, Instituto Juan de Herrera, ISBN 84 89977 73 9
- 1.75 Heyman, J. (2001): *Ciencia de las estructuras*. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSA, Instituto Juan de Herrera. ISBN 84 95365 98 7
- 1.76 Heyman, J. (2004): *Análisis de estructuras. Un estudio histórico*. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSA, Instituto Juan de Herrera, ISBN 84 9728 112 8
- 1.77 Huerta, S. (1990): *Diseño. Estructura de arcos de bóveda en España entre 1500 y 1800*. Tesis Doctoral. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid. ETSA.
- 1.78 Huerta, S. (1997): *"Mecánica de las bóvedas de la catedral de Gerona. Las grandes bóvedas hispanas"*. (Madrid): Tarragó, S. edt. Cedex
- 1.79 Huerta, S. (2004): *Arcos, Bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. (Madrid) Instituto Juan de Herrera. ISBN 84 9728 129 2
- 1.80 Járrega, R. (1998): *Les vies terrestres de l'Alt Maresme en època romana*. (Barcelona): Separata de Autopistes i arqueologia.
- 1.81 Juliol i Albertí, G. (2001): *Llibre Vermell de la ciutat de Girona (1188 – 1624)*. Fundació Noguera. Ajuntament de Girona. Col·lecció Documents de l'Arxiu municipal nº 2. (Lleida): Pagès Editors. ISBN: 84 7935 887 4
- 1.82 Junyent, E. (1976): *La ciutat de Vic i la seva història*. (Barcelona): Ed. Curial ISBN 84 7256 089 9
- 1.83 Kinder, H. (1999): *Atlas histórico mundial*. 19 edic. Dos volúmenes (Madrid): Edt Itmo. ISBN Obr. completa 84 7090 105 g2

- 1.84 Laborie, J.P.; Palá, JM^a. (1989): *El Pirineo, presentación de una montaña fronteriza*. (Madrid): Ministerio de Obras Públicas. ISBN 84 7433 610 4
- 1.85 Lacuesta, R. et al. (2008): *Ponts de la provincia de Barcelona, comunicacions i paisatge*. (Barcelona): Publicaciones de la Diputació de Barcelona ISBN 978 84 9803 303 8
- 1.86 Lamperez Rome, V. (1999): *Historia de la Arquitectura Cristiana en España de la Edad Media*. Dos volúmenes. (León): Junta de Castilla y León. Obra completa ISBN 84-8183-065-8
- 1.87 Latorre i Gaia, R. (1981): *Catalunya: resum geogràfic*. (Barcelona): Barcino. ISBN 84 7226 0550
- 1.88 Leontovich, V. (1987): *Pórticos y arcos: Soluciones para el análisis estructural*. 15^o edición (Mexico): CEC SA.
- 1.89 Lorenza Pardo, M. (1993): *Plan nacional de Obras hidráulicas*. Dos volúmenes. (Madrid): Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Obra completa ISBN 84 7790 133 3
- 1.90 Madoz, P. (1846): *Diccionario Geográfico*. 2^a edición. (Madrid): 16 volúmenes. 1846
- 1.91 Maristany, M. (1998): *Els ponts de pedra a Catalunya*. (Barcelona): Generalitat Catalunya, Edicions 62. ISBN84 872 5475 6
- 1.92 Martín Caro, JA. (2004): *Análisis de estructural de puentes de arco de fábrica. Criterios de comprobación*. Tesis Doctoral. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSICCP.
- 1.93 Martín Vide, JP. (2006): *Ingeniería de ríos*. 2^a edición. (Barcelona): Universidad Politécnica de Catalunya. Edicions UPC. ISBN 9788483019009
- 1.94 Martín Vide, X. (1985): *Pluges i inundacions a la mediterrània*. (Barcelona): Ed. Ketres. ISBN 84 85256 44 1
- 1.95 Martínez, J.L. (2003): *Determinación teórica y experimental de diagramas de interacción de esfuerzo en estructuras de fábrica y aplicación al análisis de construcciones históricas*. Tesis Doctoral. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid, ETSICCP.
- 1.96 Mesqui,J. (1986): *Le pont en France avant le temps des ingénieurs*. (Paris) : Picard. ISBN 270 84 032 22
- 1.97 Mersitt, Frederick S. (1992): *Manual de ingeniería civil*. 3^a edición. Dos volúmenes. (Mexico): McGraw Hill. Obra completa ISBN 970 10 0014 5
- 1.98 Mestres i Campi, J. (2002): *Atles d'Història de Catalunya*. 5^a edición. (Barcelona): Edicions 62 2002. ISBN 84-297-4061-9
- 1.99 Military Engineering Experimental Establishment (MEXE). (1963): *"Military load classifications of civil bridges."* (Solog Study B.38), Chistchurch, Hampshire, UK.

- 1.100 Moliner, M. (2007): *Diccionario de uso del español*. 3ª edición. (Madrid): Ed. Gredos. ISBN 978 84 249 2886 5
- 1.101 Molins, C. (1996): *Un model per a l'anàlisi del comportament resistent de construccions de maçoneria*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya, ETSECCP.
- 1.102 Moreno Gallo, I. (2006): *Vías Romanas: ingeniería y técnicas constructivas*. 2ª edición. (Madrid): Ministerio de Fomento. ISBN 84 779 0404 9
- 1.103 Monterota, J. (2006): *Apuntes para el diseño, cálculo y construcción de Puentes*. Dos volúmenes. Colección Escuelas. (Madrid): CICCPC. ISBN 84 380 0323 0
Obra completa.
- 1.104 Mundó, Anscari (2001): *De quan hispans, gots, jueus, àrabs i francs circulaven per Catalunya*. (Barcelona): Reial Acadèmia de Bones Lletres de Barcelona, Servei de Publicacions de la UAB.
- 1.105 Müller, W. y Volger, G. (2007): *Atlas de arquitectura*. 5ª reimpresión. Dos volúmenes. (Madrid): Alianza editorial. Obra completa ISBN 84 206 6997 0
- 1.106 Nolla Brufau, J.M. (1984): *Carta arqueològica de les comarques de Girona*. (Girona): Centre d'Investigacions Arqueològiques. ISBN 84 500 9703 7
- 1.107 Noguera i Massa, A. (1994): *El peregrinatge medieval al nord-est català*. Col·lecció Font Moixina. (Olot): Fundació Σ Pere Simón. ISBN 84 605 1348 3
- 1.108 Olalla Marañón, C. (1994): *Medidas de tensiones internas en formaciones rocosas*. (Madrid): Cedex. ISBN 8477901694
- 1.109 Page, J. (1993): *Masonry arch bridges*. (Londres): HMSO, cop. ISBN 0115511903
- 1.110 Pallí, Ll.; Roqué, C. (2009): *El patrimoni geològic de les terres gironines: 300 elements singulars*. (Girona): Universidad de Girona. ISBN: 978 84 8458 301 1
- 1.111 Peña Olivas de la, J.M. (2005): *Sistemas de posicionamiento marítimo en la antigüedad*. Tesis Doctoral. (Madrid): Universidad Politécnica de Madrid.
- 1.112 Perroy, E. (1977): *La Edad Media*. (Barcelona): Destino libro. Volumen 85. ISBN 842 33 0122 2
- 1.113 Pladevall, A. (2007): *Historia de l'Església a Catalunya*. (Barcelona): Edt Claret. ISBN 978 84 9846 002 5
- 1.114 Pladevall, A.; Viñola, E. (2009): *Susqueda. La història submergida*. (Girona): Ajuntament de Susqueda, Diputació de Girona. ISBN 978 84 930822
- 1.115 Pladevall i Font, A. Director. (2009): *L'art gòtic a Catalunya*. Enciclopèdia Catalana Volum III, *D'els Palaus a les Masies*. (Barcelona): Enciclopèdia Catalana. ISBN 84 412 0891 3
- 1.116 Pous, E. (2000): *Pobles de muntanya, pobles d'aigua al Pirineu oriental (1100 – 650 a.C)*. (Girona): Col·lecció Papers de recerca nº 5. ISBN 84 885 8979 4

- 1.117 Prió Perelta, JM. (1999): *Estudio de la sobre elevación y erosión local en puentes antiguos*. Tesina de especialidad. (Barcelona): Universidad Politécnica de Catalunya, ETSECCP.
- 1.118 Pro Ruiz, J.; Rivero Rodríguez, M. (1999): *Breve atlas de la historia de España*. (Madrid): Alianza editorial. ISBN 84 206 8659 X
- 1.119 Puig i Cadafalch, (1983): *L'arquitectura Romànica a Catalunya*. 2ª edición, Cuatro volúmenes. (Barcelona): Institut d'Estudis Catalans. ISBN 84 500 8547-0 Obra completa
- 1.120 Puigdevall, N.; Melció, J.M. (2001): *Vells camins i antics hostals de la Garrotxa*. (Olot): Llibres de Batet. ISBN 84 86626 30 7
- 1.121 Rankine, W.J. (1858): *A Manual of applied mechanics* (Londres): Griffin, Bohn.
- 1.122 Riba i Arderiu, Oriol. (1980): *Geografia física dels Països Catalans* 3ª edició. (Barcelona): Ketres. ISBN 84 85256 01 8
- 1.123 Riquer i Permanyer, Borja. Director. (2004): *Història, política, societat i cultura dels Països Catalans*, Doce Volúmenes. Volumen 2º. (Barcelona): Fundació Enciclopèdia Catalana. ISBN 84 412 2483 8 Obra completa.
- 1.124 Sabaté i Curull, F. (1997): *El territori de la Catalunya medieval*. (Barcelona): Fundació Salvador Vives i Casajuan. ISBN 84 232 0513 4
- 1.125 Sala i Canadell, R. (1984): *Caminant per l'Alta Garrotxa*. 2ª edició. (Barcelona): Ed. El Bassegoda. ISBN 84 86239 11 7
- 1.126 San Martí, FX. (2003): *El Ter un riu compartit*. (Barcelona): Edt. Aigües Ter Llobregat. ISBN 84 7782 994 2
- 1.127 Santamaría Arias, J. Director del trabajo. (1999): *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Serie Monografías. (Madrid): Ministerio de Fomento, Dirección General de carreteras.
- 1.128 Saurí i Ros, M.C. (2006): *Història de Baix Empordà*. (Girona): Publicaciones de la Diputació de Girona. ISBN 84 95187 89 2
- 1.129 Sebastian Pardo, E. Director del curso. (1996): *Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos*. (Sevilla): Junta de Andalucía. Conserjería de Cultura. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. ISBN 84 86944 12 0
- 1.130 Séjourné, P. (1913): *Grandes vouîtes*. Volumen 1º Edt V^{ve} Tardy. (Bourges).
- 1.131 XXIII Semana de Estudios Medievales (1995): *Las grandes obras publicas en la Europa Medieval*. (Estella): Gobierno de Navarra. ISBN 84 235 1478 1
- 1.132 XXVIII Semana de Estudios Medievales (2001): *Señores, Siervos, Vasallos en la Alta Edad Media*. (Estella): Gobierno de Navarra. ISBN 84 235 2209 1
- 1.133 XXIX Semana de Estudios Medievales (2002): *La sociedad urbana en la España Medieval*. (Estella): Gobierno de Navarra. ISBN 84 235 2370 5

- 1.134 Serrano Alabiades, J. (1998): *Carga de hundimiento en un macizo rocoso anisotro con un criterio de rotura lineal*. (Madrid): Cedex. ISBN 84 7790 314 X
- 1.135 Simón i Tarrés, A. (2005): *Construccions politiques i identitas nacionals*. (Barcelona): Abadía de Montserrat. ISBN 84.8415 680 X
- 1.136 *Simposi Restauració Monumental. El Pont de Roda de Ter: Estudi històric*. (1992). (Barcelona): Diputació de Barcelona. ISBN 84 7794 253 6
- 1.137 Sobrino, J.A. (1992): *Evaluación del comportamiento funcional y de la seguridad estructural de puentes existentes de hormigón armado y pretensado*. Tesis Doctoral. (Barcelona): Universidad Politécnica de Catalunya, ETSECCP.
- 1.138 Soler i Viñolas, M. (1990): *El Monasterio Benedictino de Sant Joan les Fonts*. (Girona): Edt Amigos de Sant Joan les Fonts.
- 1.139 Steinman, D.S. (2001): *Puentes y sus constructores*. Colección Ciencia, humanidades e Ingeniería nº 10 (Madrid): CICCOP. ISBN 84 380 0188 2
- 1.140 Strahler, A.N. (1975): *Geografía física* 2ª edición. (Barcelona): Omega. ISBN 84 2820 351 2
- 1.141 Tarragó Cid, S. Director y editor. (2005): *La Construcció de pedra seca. Seminari Internacional de la Construcció de Pedra seca*. (Barcelona): CIEPAC-UPC. ISBN 84 96459 08 X
- 1.142 Témez Peláez, J.R. (1988): *Control de la erosión fluvial en puentes*. (Madrid): MOPU. ISBN 84 7433 572 8
- 1.143 Uriol Salcedo, J.I. (1990): *Historia de los caminos de España*. Dos volúmenes. Colección Ciencias humanidades e ingeniería nº 38. (Madrid): CICCOP. ISBN 84 380 0035 5
- 1.144 Valeri, X. (2009): *Arrels i llavors de Sant Joan les Fonts*. Col·lecció «Els municipis de la Garrotxa Volum VI». (Girona): Ed. Ajuntament de Sant Joan les Fonts.
- 1.145 Ventura Pujolar, M. Dirección científica y coordinación técnica. (2004): *Atlas ambiental i patrimonial del riu Ter*. (Barcelona): Consorci Alba-Ter i Fundació Agbar. ISBN 84 609 1492 5
- 1.146 Vilar, P. (1993): *Catalunya dins l'Espanya moderna*. 5ª edición. Cuatro volúmenes. (Barcelona): Edic. 62. ISBN 84 297 2417 6 Obra completa.
- 1.147 Vilar, P. Dirección. (1992): *Historia de Catalunya*, 4ª edición. (Barcelona): Edic. 62. ISBN 84 297 2601 2.
- 1.148 Vilar, P. (1983): *Historia de España*. 17ª edición. (Barcelona): Grijalbo. ISBN 84 7423 054 3
- 1.149 Viollet-le-duc, E. (1996): *La construcción medieval*. (Madrid): Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, CEHOPU. Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento, Cedex, Instituto Juan de Herrera, ETSA. ISBN 84-95-365-35-9

- 1.150 Vitruvio Polion, M.(1992):*Los diez libros de Arquitectura*.(Madrid):Edición de Ortiz y Sanz,J. Edic, Akal.
- 1.151 Xanthakos, P P. (1994): *Theory and design of bridges*. (New York): John Wiley & Sons. Inc. ISBN 0471 57097 4

2. Revistas

2.1 Revistas de Obras Públicas, CICC¹

- 2.1.1 Bernabeu, J. et al. "*Puentes arco con armadura rígida portante*". Octubre 2005 nº 3459.
- 2.1.2 Duran Fuentes, M."*Identificación de puentes romanos en Hispania*". Monográfico Ingeniería e Historia. 2001 diciembre.
- 2.1.3 Fernández Casado, C. "*Teoría del arco 1932 a 1934*". 8 artículos.
- 2.1.4 Fernández Casado, C. "*Los puentes de fábrica desde 1962 a 1968*". 8 artículos.
- 2.1.5 Fernández Troyano, L. "*Construcción de puentes por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas*". 1970. 117, tomo 1 nº 3063.
- 2.1.6 Fernández Troyano, L. "*Puente de arco sobre el río Nervión*". 2004 nº 3445
- 2.1.7 Fernández Troyano, L. "*Variantes morfológicas de los puentes medievales españoles*". 2005. Tomo 152.
- 2.1.8 Gete-Alonso de Ylera, A. et al. "*Avenidas máximas de los ríos españoles*". 1978. febrero nº 3154 pp. 115-129.
- 2.1.9 Huerta, S. et al. "*Análisis a rotura de estribos de fábrica*." 2003. nº 3439. Tomo 150.
- 2.1.10 Huerta, S. *La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico*. (numero especial sobre Ingeniería e Historia) 1996. NE 38 18-29
- 2.1.11 López Bustos, A. "*Antecedentes para una historia de las avenidas en los Ríos del Pirineo Orienta*". 1980 mayo, pp 369-383.
- 2.1.12 Novoa, M. "*Los puentes medievales en Cataluña*". 1991 abril.
- 2.1.13 Pérez – Fadón, S. "*Ejemplos de I+D+i en a construcción*". 2005, 152, nº 3457.
- 2.1.14 Pérez – Fadón, S. "*Arcos:Evolución y tendencias futuras*". 2005. 152, nº 3451.
- 2.1.15 Rodríguez, J. "*Sobre puentes de arco de fábrica desde 1923 a 1955*". 6 artículos.

¹ Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

- 2.1.16 Ruiz Bedia, ML. et al. *"Un puente con siglos de historia. Recuperación del puente de Solía"*. 2000 nº 3398.
- 2.1.17 Sáenz Ridruejo, C. *"Geomorfología del Camino de Santiago"*. 1992. nº 3311.
- 2.1.18 Sánchez Rey, J.A. *"Portazgos y otras exacciones"* 1994 Tomo 141.
- 2.1.19 Sánchez Rey, J.A. *"Los caminos de España 1750 y los medios para financiación"*. 1996 Tomo 143.
- 2.1.20 Sánchez Rey, J.A. *"Los caminos en las leyes y fueros medievales"*. 2007 Tomo 154.
- 2.1.21 Sánchez Rey, J.A. *"El puente del Arzobispo Tenorio cumple seiscientos años"*. 983 nº de diciembre.
- 2.1.22 Sánchez Rey, J.A. *"Los caminos en las leyes y fueros medievales"*. 2007 nº 3477.
- 2.1.23 Uriol Sacedo, JI. *"Apuntes para una historia del transporte en España"*. Los caminos de rueda del siglo XVIII. 1977 nº 3143.
- 2.1.24 Uriol Salcedo, JI. *"Viaje y viajeros por España a principios del siglo XVI."* 1986, nº 3251.
- 2.1.25 Uriol Salcedo, JI. *"Puertos y barcos en España en los siglos XVI y XVII"*. 2006, nº 3466.
- 2.1.26 Zorio Blanco, V. *"Breve historia de las carreteras"*. 1987, enero.

2.2 Otras revistas.

- 2.2.1 Audenaert, A. *2-D analysis of arch Bridges using an elasto-plastic material model. Engineering Structures* 30 (2008) 845-855.
- 2.2.2 Bauder, E. *¿Son seres humanos los puentes de fabrica?* Informes de la construcción Vol. 58, 501, Pág. 33-46 enero marzo 2006.
- 2.2.3 Boothby, T.E.; Anderson Jr.; A.K. (1995): *The masonry arch reconsidered.* ASCE Journal of Architectural Engineering, 1, 1, p.25-36.
- 2.2.4 Boothby, T.E. *Analysis of masonry arches and vaults. Prog. Struct mater*, 2001, vol 3, pp 246-256.
- 2.2.5 Bridle, I.
- 2.2.6 Cassinello, P. *"Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales españolas"*. Annali di architettura. 17/ 2005. pp 9 -19.
- 2.2.7 Capel, H. *"Nuevos datos para el repertorio bibliográfico de los ingenieros militares"*. Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. 1998 nº 90. ISSN 1138 9796.

- 2.2.8 Colla, C. et al. "Sonic, electromagnetic and impulse radar investigation of stone masonry bridges". NTD and E international, vol 30. nº 4 1997. pp 249-254.
- 2.2.9 Corradi, M. "Empirical methods for the constructions of masonry arch bridges in the 19th century. Arch bridges", siopoli (ed.)Balkema, Rotterdam.
- 2.2.10 Filgueiro, J.P et al. "Material and reconstructions at the Aqueduct of Carthage since the Romans period". Historical Constructions Guimarães, 2001.
- 2.2.11 Forde, M.C. "Bridge research in Europe". Construction and Building Material, Vol 12. nº 2-3, pag 85-91. 1998.
- 2.2.12 González, T. et al. "A brief analysis of the roman bridges of the way "La via de la Plata" Historical Constructions. Guimarães 2001.
- 2.2.13 González – Drigo, JM. et al. "Digital photogrammetry, GPR and computational analysis of structural damages in a mediaeval bridge". Engineering failure analysis 14 (2007).
- 2.2.14 Gudiol, J. « Els ponts de Roda, Manlleu i Sau ». Butlletí del Centre Excursionista de Vic, nº 34 Vol III (1918-1919) Pag 23.
- 2.2.15 Harvey, W.J.; Wang, X.J. (1995): *Snap-through Buckling Analysis of Shallow Masonry Arches*. Arch Bridges. Proceedings of the first International Conference on Arch Bridges held at Bolton. Edited by C. Melbourne. p. 417-426.
- 2.2.16 Henriques, M.J. "Monitoring vertical displacements by means of geometric levelling", Historical Constructions Guimarães, 2001.
- 2.2.17 Hughes, T.G. (1996): *The testing, analysis and assessment of masonry arch bridges*. Structural Analysis of Historical Constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques. Edited by: P. Roca, J.L. González, A.R. Marí and E. Oñate, p.64-84. CIMNE
- 2.2.18 Hughes, T.G. "A review of the UK masonry arch assessment methods", Proc. Inst.Civ. Engrs, 122., 1997.
- 2.2.19 Hughes, T.G.; Blacker, M.J. (1997): *A review of the UK masonry arch assessment methods*. Structures and Buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 122. p 305-315
- 2.2.20 Inaudi, D. et al. "Long-term deformations monitoring of historical constructions with fiber optic sensor". Historical constructions. Guimarães, 2001.
- 2.2.21 Ivora, S. et al. "Analysis of the dynamic actions when bells are swinging on the bell-tower of Bonrepos I Mirambell Church" (Valencia, Spain). Historical constructions. Guimarães, 2001.
- 2.2.22 Loo, Y. Yang, Y. "Cracking and failure analysis of masonry arch bridges", ASCE . Struct. Eng., 117(6) 1641-1659.
- 2.2.23 La Hire, P. (1712): "Sur la construction des voûtes dans les édifice » Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris. Paris.

- 2.2.24 Martín-Vide, JP. "Sobreelvación causada por puentes de arcos de medio punto". Ingeniería hidráulica en México. 2005 abril-junio. Vol. XX. nº 2 pp 49-59.
- 2.2.25 Melchor Gil, F. "La construcción pública de Hispania Romana". Nº 13-14 1992-93. Págs. 126 a 170.
- 2.2.26 Molins, C.; Roca, P. (1998): *Load capacity of multi-arch masonry bridges*. Arch Bridges. Anna Sinopoli, editor, p. 213-222. Balkema, Rotterdam.
- 2.2.27 Olivera Lloret, C.; et al. *Efectes dels terratrèmols de 1427 i 1428 a les terres de Girona*.
- 2.2.28 Peña de la Olivas, JM. "Diferenciación del concepto de la obra pública actual y en la Roma clásica". Revista Ingeniería Civil, Cedex, Mº Fomento, 2006, nº 2006.
- 2.2.29 Pladevall, A. « *Els ponts del Ter a les Guilleries* . Revista Montaña nº 120 -124 marzo - diciembre 1969.
- 2.2.30 Plana i Castellvi, JA. "El consumo de agua en las cuencas internas de Catalunya". Boletín. de la AGE Nº 37 año 2004, Págs. 2006-222.
- 2.2.31 Roca, P.; Molins, C. (2000): *Análisis de construcciones de obra de fábrica mediante técnicas computacionales*. Monografía CIMNE, nº53
- 2.2.32 Solà i Morales, JMª (1971) *Construcció, reconstruccions i reformes del pont romànic de Besalú*. (Girona): Biblioteca Orotina.
- 2.2.33 Soms, E. (2001): *Anàlisi última de ponts arc d'obra de fàbrica*. Tesina final carrera. ETSECCPB-UPC
- 2.2.34 Veiga M.Rosario et al. *Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. Historical Constructions*. Guimarães, 2001.

3. Actas en libros de Congresos

- 3.1 Durán Fuentes, M. "Análisis constructivo de los puentes romano"s. Congreso de las obras Públicas Romanas. 2002 Madrid.
- 3.2 Durán Fuentes, M. "Análisis de la capacidad de desagua de varios puentes en Gallaecia". III Congreso Nacional de Historia de la Construcción. 1998. Madrid.
- 3.3 Durán Fuentes, M. "Estudio de las bóvedas de los puentes romanos. Nuevos elementos de ingeniería Romana". III congreso de las Obras Públicas Romanas. Astorga 2006.
- 3.4 Durán Fuentes, M. "Puentes romanos peninsulares: Tipología y construcción". I Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Actas. 1996 Madrid.
- 3.5 Durán Fuentes, M. "Técnicas y construcción de puentes romanos". Congreso de las obras públicas Romanas. 2004 Tarragona Libro de ponencias.

- 3.6 Huerta, S. "La teoría de las bóvedas en el siglo XVIII: La contribución de P. de la Hire" Actas segundo congreso Nacional de Historia de la construcción. Coruña (1998) 233-244.
- 3.7 Huerta, S. "The *medieval scientia of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón*". Omaggio a Edoardo Benvenuto, Univ. of Geona, Geona , Italy, Nov. 29-30
- 3.8 Martinaud, M. et al. "GPR signals for the understanding of the shape and filling of man-made underground masonry". The international Conference on ground penetrating radar, 2004 Delft. Netherlands.
- 3.9 Pavia, S. "Repair mortars for masonry bridges". Bridge and infrastructure Research in Ireland: Symposium 2006 Dublin.
- 3.10 Riveiro, B. et al. "Multidisciplinary approach to historical arch Bridges documentation". *The International Archives of Photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. Vol XXXVII. Part B5. Beijing 2008.
- 3.11 Solla, M. et al. "GPR Survey of masonry arch bridges: A study case in Galicia (NW Spain)". 12th International conference on ground penetrating radar. Birmingham, UK.
- 3.12 Towler, K.D.S: "Applications of non-linear finite element codes to masonry arch" Proc 2nd International Conference on Civil and Structural Engineering Computing, 1985

4. Webs.

- 4.1. American Academy of Research Historians of Medieval Spain. AARHMS <http://kuhttp.cc.ukans.edu/kansas/aarhms/mainpage.html>. Ofrece un archivo de documentos medievales traducidos al inglés, artículos de revistas de historia medieval española.
- 4.2. Asociación Española de Historia de la Construcción.
- 4.3. Base de datos de historia de España romana <http://www.artehistoria.icl.es>
- 4.4. Base de datos sobre historia de España www.hispanianova.rediris.es
- 4.5. Fichas de puentes. <http://cultura.gencat.cat/arxius/Fitxa>
- 4.6. Fundació Enciclopedia Catalana. www.enciclopedia.cat.com
- 4.7. Historia de España www.h-net.msu.edu/~latam/links/spanish.
- 4.8. Institute of Medieval Mediterranean Spain. Ofrece amplias bibliografías sobre la España mediterránea. <http://orb.rhodes.edu/bibliographies/imms1.html>
- 4.9. Labyrinth: Medieval Server, Georgetown University <http://www.georgetown.edu:80/Labyrinth/subjects/iberia>
- 4.10. Patrimonio Histórico, Ministerio de Cultura www.mcu.es/patrimonio/index.html <http://cultura.gencat.cat/arcxius/fitxa>

- 4.11. Portal de la edad media www.edadmedia.org
- 4.12. Traianvs. <http://traianus.rediris.es>. Artículos de historia antigua de la construcción.
- 4.13. www.cfnavarra.es/publicaciones
- 4.14. www.medievalismo.org