

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 II

DOSSIER DE PUENTES EN LA CUENCA DEL RÍO TER

Ángel López Sánchez

2010

Puente del Remei

Quinto puente: pont del Remei.

Sobre el río Mèder, a su paso por el interior de la ciudad de Vic. El río Mèder es afluente del Gurri, que a su vez lo es del Ter. Originalmente se construyó con siete arcos de tipo rebajado. Actualmente tiene 6 arcos, de los cuales tres, están sobre el cauce del río y el resto sobre una zona urbanizada. Su calzada tiene una longitud de 59 metros. Su construcción se inició en 1325, para dar entrada a la ciudad por la calle de Sant Pere. Tenía un pequeño oratorio dedicado a la Mare de Déu del Remei en un extremo.



Imagen 5.1 Vista del puente desde aguas arriba.

1. Localización

5	1.1	Denominación del puente	Pont del Remei
5	1.2	Cuenca del río	Ter
5	1.3	Comarca	Osona
5	1.4	Río	Mèder
5	1.5	Término municipal	Vic
5	1.6	Lugar	Interior de la ciudad
5	1.7	Coordenadas geográficas	41° 55' 28,40" N 2° 14' 59,26" E
5	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 437889 y' 4641882
5	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar	480
5	1.10	Orientación	N-S

Tabla 5.1 Situación de la obra.

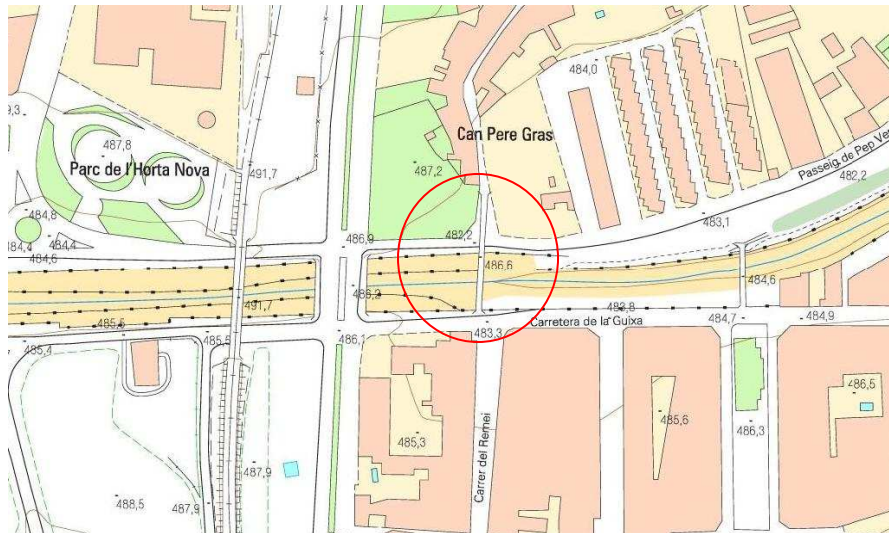


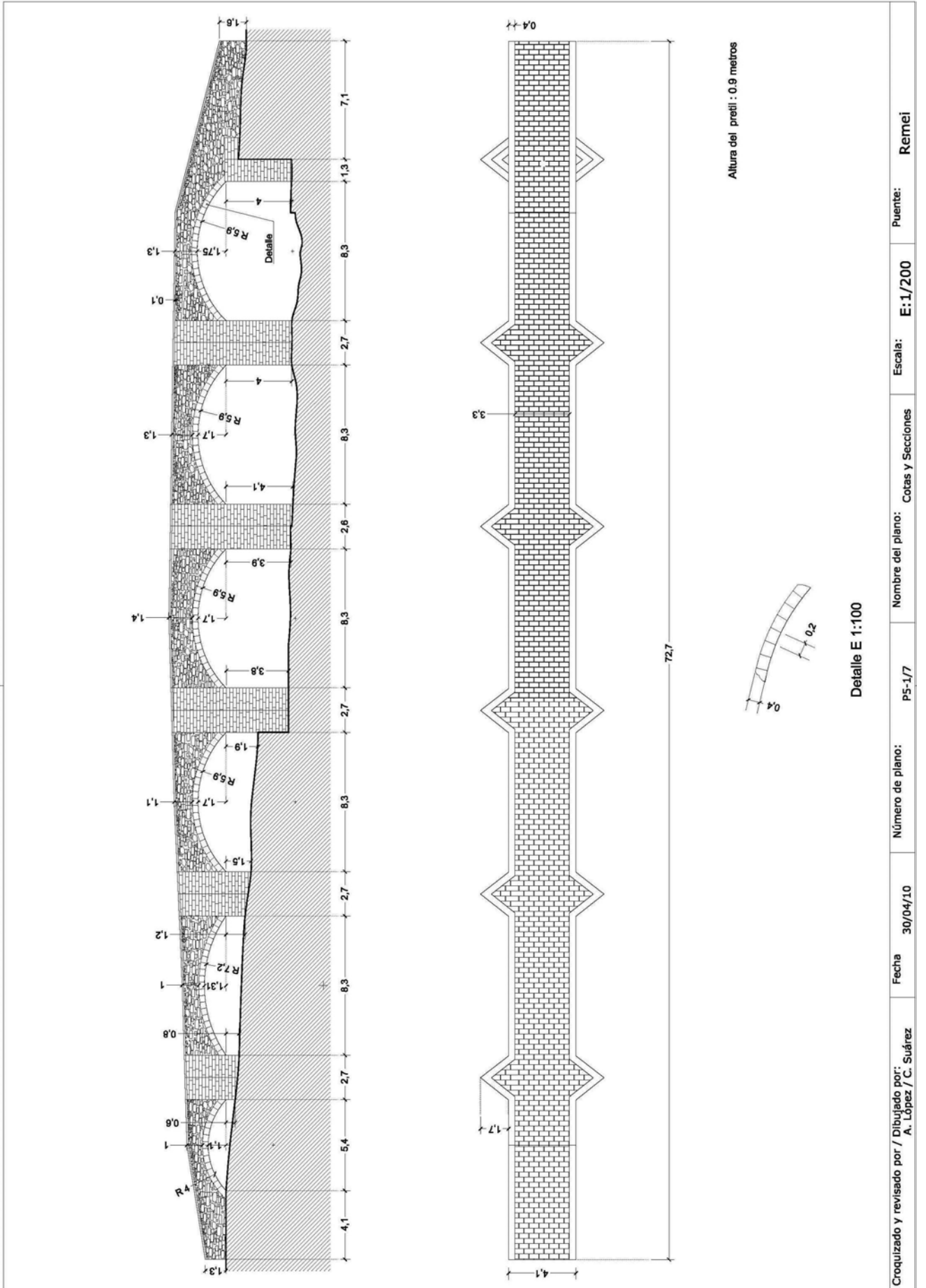
Imagen 5.2 Vista topográfica de la localización del puente.

2. Características generales

5	2.1	Número de arcos		6
5	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	5,4 - 8,3
5	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	Rebajado
5	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		No
5	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	8,5
5	2.6	Calzada con pendientes		doble pendiente
5	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	38,5
5	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	1,5°
5	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	34,2
5	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	1,25°
5	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	72,7
5	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	4,1
5	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	3,3
5	2.14	Espesor de los pretiles	c_p (metros)	0,4
5	2.15	Altura de los pretiles	h_{pr} (metros)	0,9
5	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		piedra labrada
5	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	2,7 y 2,7
5	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	2 y 5
5	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		Si

Tabla 5.2 Datos arquitectónicos.

En la pagina siguiente: Dibujo 5.0 Plano P5 – 1/7 Dimensiones fundamentales.



Croquizado y revisado por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 30/04/10	Número de plano: PS-1/7	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E:1/200	Puente: Remei
---	-------------------	----------------------------	--	--------------------	------------------

De los puentes que actualmente hay en la ciudad es el que se sitúa a mayor cota de altura topográfica. Haciendo referencia a la descripción histórica del origen del puente y su vinculación con los sentimientos religiosos dominantes en la época de su construcción, su nombre se debe al de la capilla donde se veneraba a Nuestra Señora del Remedio.¹

Cuando iniciamos esta tesis, nos planteamos el verificar si el puente actual, debido a su emplazamiento y el notable grado de desarrollo urbanístico de la zona, podía haber sufrido algún tipo de modificación y/o mutilación.

La descripción que hacemos responde a la vista actual. Su aspecto es de gran solidez, la longitud de su rasante supera los 72 metros, con dos ligeras pendientes de ángulos de elevación comprendidos entre 1,2 y 1,5° y un ancho útil de la calzada de 3,3 metros.



Imagen 5.3 Pila y arranque del arco quinto

El acceso desde el margen izquierdo enrasa el nivel de la calle con el inicio de la rasante. Para acceder desde el otro margen se debe salvar un desnivel de unos tres metros mediante una escalera de veintena de escalones.

La rasante está soportada por seis bóvedas, cinco de ellas con una luz de algo más de 8 metros, la sexta, que es la primera desde el margen izquierdo tiene una luz cercana a los 5 metros.

¹ TLC Mare de Déu del Remei



Imagen 5.4 Acceso desde la orilla derecha. Posiblemente es el resultado de una adaptación a las necesidades urbanísticas de la zona.

Las bóvedas están formadas por arcos de círculos, muy recortados, dando lugar a flechas de 1,7 metros (ver Plano P5 – 2/7)

Las pilas tienen un grueso de 2,7 metros. Están acabadas en los laterales por tajamares y espolones de base triangular de igual dimensión, que se elevan hasta alcanzar el nivel de la rasante formando balconcillos. Como elemento de protección de los usuarios, rasante y balconcillos tienen por ambos lados de la calzada pretilos de 0,9 metros de altura acabados por una albardilla plana (ver Plano P5 – 3/7 fotografías 4, 5 y 6)

El pavimento está formado por losas de tamaño semejante al de las piezas de la albardilla..

Pilas, paramentos incluido los pretilos, construidos con sillares y sillarejos de material homogéneo en el que solo cambia la tonalidad del color, unidos con una buena relación de traba. A partir del plano que contiene a la rasante y hasta alcanzar en el que contiene la albardilla los materiales pierden la homogeneidad de tamaño, pasando a tamaños menores y formas irregulares donde predomina el sillarejo, y algunas lajas (véase Plano P5 – 3/7 fotografía 3).

El encauzamiento del río Mèder ha dejado sólo tres de las seis bóvedas en el cuso fluvial. Se pueden apreciar la grandiosidad de las pilas y tajamares construidos con buena sillería y traba (véase Plano P5 – 3/7 fotografía 2).

El entorno urbanístico moderno contrasta con esta estructura, la más sólida de las que se alza en la ciudad.

De esta estructura se puede deducir que no fue levantada de cualquier forma, se levantó con una la solidez para resistir y durar.

La estructura resistió la gran avenida que inundó parte de la ciudad de Vic el 8 de octubre de 1863, donde el agua alcanzó un nivel superior al de la clave de las bóvedas “dejando los arcos sin aire” . Tal como indican las placas colocadas en los paramentos. (se puede ver en el Plano P5 – 3/7 fotografías 5 y 6).



Imagen 5.5 Placa indicadora del nivel alcanzado por las aguas en la inundación del 5 de octubre de 1863

Las referencias históricas, indicaban la existencia de dos pozos públicos, situados en los dos márgenes del río junto a las entradas al puente.

Pues bien, la existencia de uno de los pozos se puede verificar, coincide con la pequeña construcción que se levanta junto a la entrada al puente desde la orilla izquierda (paseo de Pep Ventura)².

Durante el último trimestre del año pasado 2009, con ocasión de las obras de urbanización de la calle que transcurre en paralelo con el margen derecho del río (carretera de la Guixa), al llegar a la zona donde se inicia la escalera de acceso a la calzada, (Imagen 5 4) se encontraron los restos de la rasante mutilada y la base del pozo que hubo en los inicios del puente.

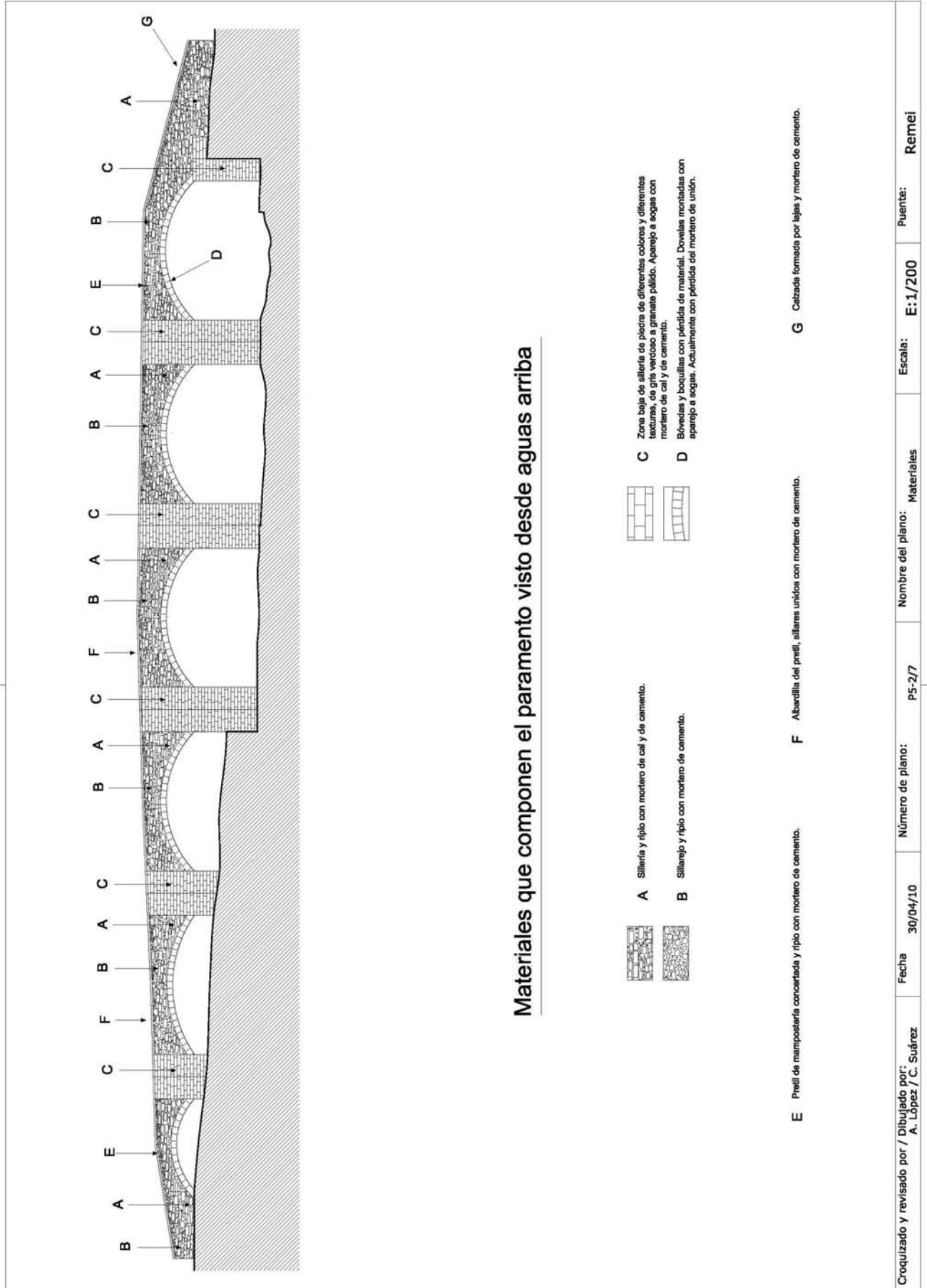
Este hecho confirma la idea que exponíamos sobre la posible modificación del perfil del puente en su margen derecho y que hemos dibujado en el plano P5-7/

En las páginas siguientes:

Dibujo 5.1 Plano P5 – 2/7 Sobre la composición del paramento.

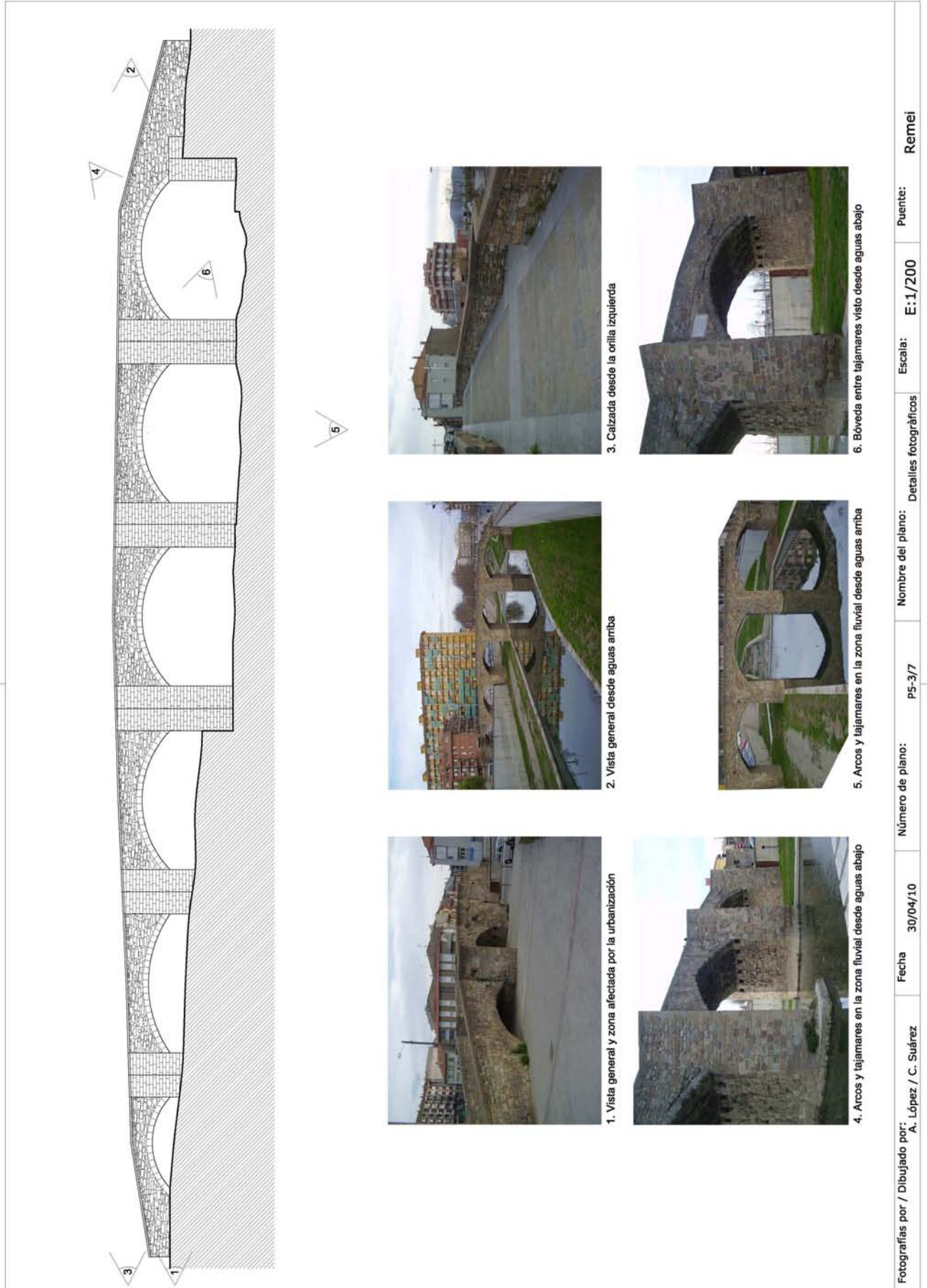
Dibujo 5.2 Plano P5 – 3/7 Detalles fotográficos del puente.

² TLC Passeig d'en Pep Ventura.



Materiales que componen el paramento visto desde aguas arriba

- A Sillares y ripio con mortero de cal y de cemento.
- B Sillares y ripio con mortero de cemento.
- C Zona baja de galería de piedras de diferentes colores y diferentes texturas, de gris, vetoso a granate pálido. Aparejo a sogas con mortero de cal y de cemento.
- D Bovedas y boquillas con pérdida de material. Dovelas montadas con aparejo a sogas. Actualmente con pérdida del mortero de unión.
- E Pírel de mampostería concertada y ripio con mortero de cemento.
- F Abardilla del prefi, sillares unidos con mortero de cemento.
- G Cabzada formacia por lejas y mortero de cemento.



Fotografías por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 30/04/10	Número de plano: P5-3/7	Nombre del plano: Detalles fotográficos	Escala: E:1/200	Puente: Remei
---	-------------------	----------------------------	--	--------------------	------------------

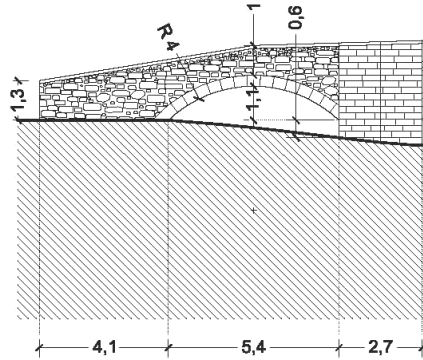
3. Geometría de la estructura

3.0. Características de los arcos

Vistos desde: aguas arriba

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1. Arco primero



Dibujo 5.3 Arco primero.

5	3.1.1	Número de roscas		1
5	3.1.2	Radio	R_1 (metros)	4
5	3.1.3	Luz	L_1 (metros)	5,4
5	3.1.4	Flecha	f_1 (metros)	1,1
5	3.1.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	86°
5	3.1.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	$1,1/5,4 = 1/4,9$
5	3.1.7	Ancho de pilas	B_{p1}	2,7
5	3.1.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1} (metros)	0 y 0,6
5	3.1.9	Dovelas: canto	c_1 (metros)	0,4
5	3.1.10	grueso	e_1 (metros)	0,2
5	3.1.11	Cantidad de dovelas	n_1	29
5	3.1.12	Canto dovela / luz	c_1 / L_1	$0,4/5,4 = 1/13,5$
5	3.1.13	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	$2,7/5,4 = 1/2$
5	3.1.14	Estado de la bóveda	E_{b1}	Pérdida de aglomerante

Tabla 5.3 Detalles del arco primero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_1 = 0,204 > 0,143$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

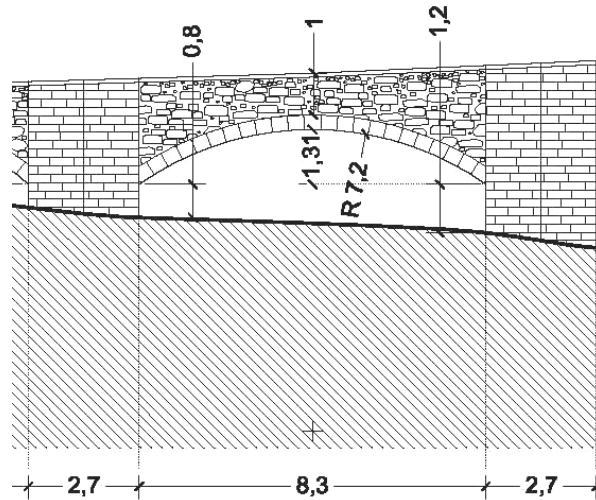
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 0,4/5,4 = 1/13,5$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5a: superficial.

3.2. Arco segundo



Dibujo 5.4 Arco segundo.

5	3.2.1	Número de roscas		1
5	3.2.2	Radio	R_2 (metros)	7,2
5	3.2.3	Luz	L_2 (metros)	8,3
5	3.2.4	Flecha	f_2 (metros)	1,31
5	3.2.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	76°
5	3.2.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	$1,31/8,3 = 1/6,33$
5	3.2.7	Ancho de pilas	B_{p2}	2,7
5	3.2.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p2} (metros)		0,8 y 1,2
5	3.2.9	Dovelas: canto	c_2 (metros)	0,4
5	3.2.10	grueso	e_2 (metros)	0,2
5	3.2.11	Cantidad de dovelas	n_2	43
5	3.2.12	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	$0,4/8,3 = 1/20,75$
5	3.2.13	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	$2,7/8,3 = 1/3$
5	3.2.14	Estado de la bóveda	E_{b2}	pérdida de aglomerante

Tabla 5.4 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_2 = 0,204 > 0,143$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

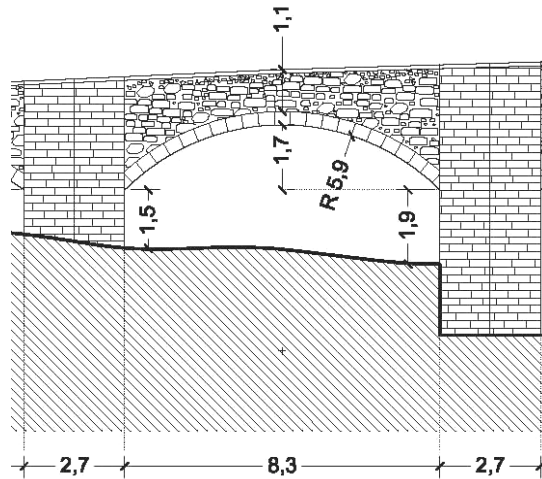
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_2 = 0,4/8,3 = 1/20,75$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5a: superficial.

3.3. Arco tercero



Dibujo 5.5 Arco tercero.

5	3.3.1	Número de roscas		1
5	3.3.2	Radio	R_3 (metros)	5,9
5	3.3.3	Luz	L_3 (metros)	8,3
5	3.3.4	Flecha	f_3 (metros)	1,7
5	3.3.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_3$	90°
5	3.3.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_3 = f_3 / L_3$	$1,7/8,3 = 1/4,88$
5	3.3.7	Ancho de pilas	B_{p3}	2,7
5	3.3.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p1} (metros)		1,5 y 1,9
5	3.3.9	Dovelas: canto	c_3 (metros)	0,4
5	3.3.10	grueso	e_3 (metros)	0,2
5	3.3.11	Cantidad de dovelas	n_3	45
5	3.3.12	Canto dovela / luz	c_3 / L_3	$0,4/8,3 = 1/20,75$
5	3.3.13	Relación ancho pila / luz	B_{p3} / L_3	$2,7/8,3 = 1/3$
5	3.3.14	Estado de la bóveda	E_{b3}	pérdida de aglomerante

Tabla 5.5 Detalles del arco tercero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_3 = 0,204 > 0,143$ que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

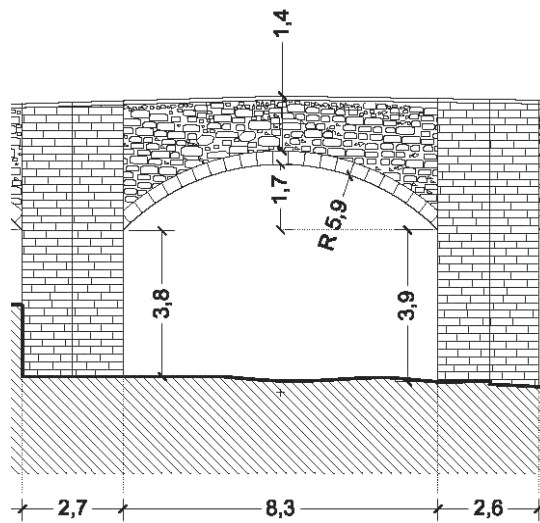
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_3 / L_3 = 0,4/8,3 = 1/20,75$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.4. Arco cuarto



Dibujo 5.6 Arco cuarto.

5	3.4.1	Número de roscas		1
5	3.4.2	Radio	R_4 (metros)	5,9
5	3.4.3	Luz	L_4 (metros)	8,3
5	3.4.4	Flecha	f_4 (metros)	1,7
5	3.4.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_4$	90°
5	3.4.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_4 = f_4 / L_4$	$1,7/8,3 = 1/4,88$
5	3.4.7	Ancho de pilas	B_{p4}	2,7
5	3.4.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p4} (metros)		3,8 y 3,9
5	3.4.9	Dovelas: canto	c_4 (metros)	0,4
5	3.4.10	grueso	e_4 (metros)	0,2
5	3.4.11	Cantidad de dovelas	n_4	45
5	3.4.12	Canto dovela / luz	c_4 / L_4	$0,4/8,3 = 1/20,75$
5	3.4.13	Relación ancho pila / luz	B_{p4} / L_4	$2,7/8,3 = 1/3$
5	3.4.14	Estado de la bóveda	E_{b4}	pérdida de aglomerante

Tabla 5.6 Detalles del arco cuarto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_4 = 0,204 > 0,143$ que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

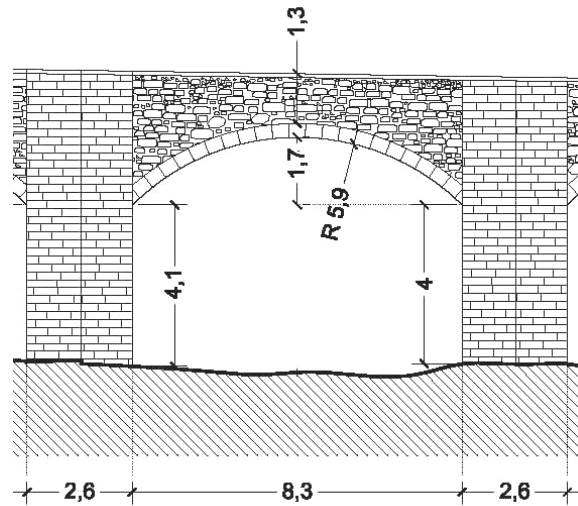
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_4 / L_4 = 0,4/8,3 = 1/20,75$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.5. Arco quinto



Dibujo 5.7 Arco quinto.

5	3.5.1	Número de roscas		1
5	3.5.2	Radio	R_5 (metros)	5,9
5	3.5.3	Luz	L_5 (metros)	8,3
5	3.5.4	Flecha	f_5 (metros)	1,7
5	3.5.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_5$	90°
5	3.5.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_5 = f_5 / L_5$	$1,7/8,3 = 1/4,88$
5	3.5.7	Ancho de pilas	B_{p5}	2,7
5	3.5.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p5} (metros)		4,1 y 4
5	3.5.9	Dovelas: canto	c_5 (metros)	0,4
5	3.5.10	grueso	e_5 (metros)	0,2
5	3.5.11	Cantidad de dovelas	n_5	45
5	3.5.12	Canto dovela / luz	c_5 / L_5	$0,4/8,3 = 1/20,75$
5	3.5.13	Relación ancho pila / luz	B_{p5} / L_5	$2,7/8,3 = 1/3$
5	3.5.14	Estado de la bóveda	E_{b5}	pérdida de aglomerante

Tabla 5.7 Detalles del arco quinto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_5 = 0,204 > 0,143$ que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

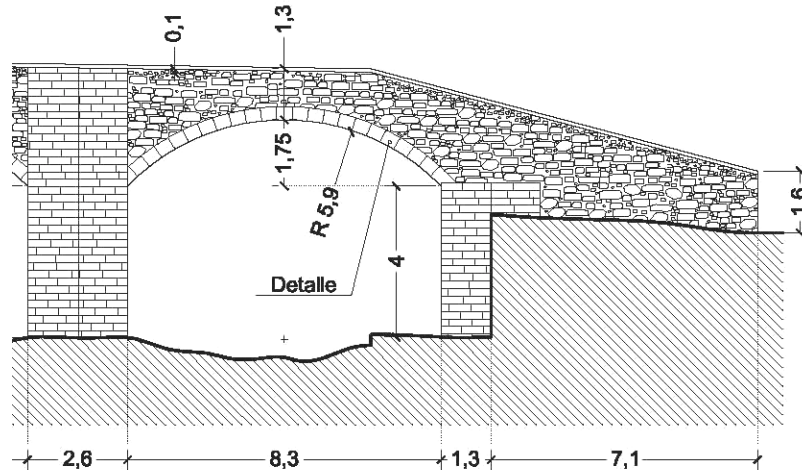
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_5 / L_5 = 0,4/8,3 = 1/20,75$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.6. Arco sexto



Dibujo 5.8 Arco sexto.

5	3.6.1	Número de roscas		1
5	3.6.2	Radio	R_6 (metros)	5,9
5	3.6.3	Luz	L_6 (metros)	8,3
5	3.6.4	Flecha	f_6 (metros)	1,7
5	3.6.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_6$	90°
5	3.6.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_6 = f_6 / L_6$	1,7/8,3 = 1/4,88
5	3.6.7	Ancho de pilas	B_{p6}	2,7
5	3.6.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p6} (metros)		4 y 4
5	3.6.9	Dovelas: canto	c_6 (metros)	0,4
5	3.6.10	grueso	e_6 (metros)	0,2
5	3.6.11	Cantidad de dovelas	n_6	45
5	3.6.12	Canto dovela / luz	c_6 / L_6	0,4/8,3 = 1/20,75
5	3.6.13	Relación ancho pila / luz	B_{p6} / L_6	2,7/8,3 = 1/3
5	3.6.14	Estado de la bóveda	E_{b6}	pérdida de aglomerante

Tabla 5.8 Detalles del arco sexto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_6 = 0,204 > 0,143$ que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

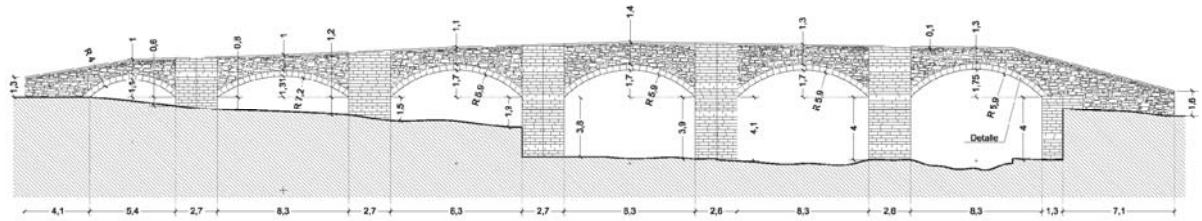
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_6 / L_6 = 0,4/8,3 = 1/20,75$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.7. Resumen de las características de los arcos

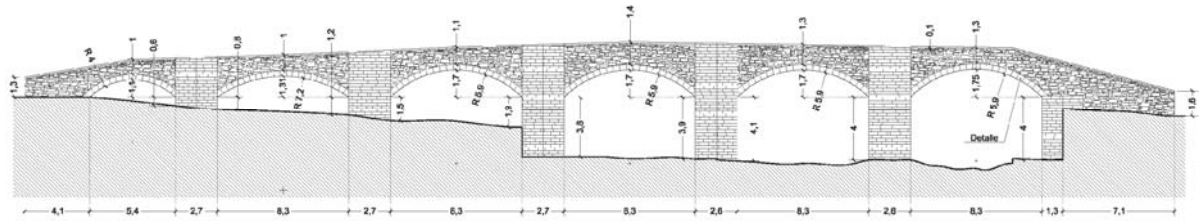


Dibujos 5.9 Alzado del puente.

Arcos	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
Número de roscas	1	1	1	1	1	1
Radio R_{1-6} (metros)	4	7,2	5,9	5,9	5,9	5,9
Luz L_{1-6} (metros)	5,4	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Flecha f_{1-6} (metros)	1,1	1,31	1,7	1,7	1,7	1,7
Ángulo de longitud de arco $2\alpha_{1-6}$	86°	76°	90°	90°	90°	90°
Directriz : flecha/luz $\sigma_{1-6} = f_{1-6} / L_{1-6}$	1,1/5,4 = 1/4,9	1,31/8,3 = 1/6,33	1,7/8,3 = 1/4,88	1,7/8,3 = 1/4,88	1,7/8,3 = 1/4,88	1,7/8,3 = 1/4,88
Ancho de pilas B_{p1-6}	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Altura peraltes desde el cimientto al arranque del arco h_{p1-6} (metros)	0 y 0,6	0,8 y 1,2	1,5 y 1,9	3,8 y 3,9	4,1 y 4	4 y 4
Dovelas: canto c_{1-6} (metros)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
grueso e_{1-6} (metros)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cantidad de dovelas n_{1-6}	29	43	45	45	45	45
Canto dovela / luz c_{1-6} / L_{1-6}	0,4/5,4 = 1/13,5	0,4/8,3 = 1/20,75	0,4/8,3 = 1/20,75	0,4/8,3 = 1/20,75	0,4/8,3 = 1/20,75	0,4/8,3 = 1/20,75
Relación ancho pila / luz B_{p1-6} / L_{1-6}	2,7/5,4 = 1/2	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3
Estado de la bóveda E_{b1-6}	Pérdida de aglomerante	pérdida de aglomerante	pérdida de aglomerante	pérdida de aglomerante	pérdida de aglomerante	pérdida de aglomerante

Tabla 5.9 Resumen de las características de los arcos.

4, 5, y 6. Características de las pilas, tajamares, estribos y terraplenes



Dibujo 5.10 Alzado del puente.

4. Pilas	Estribo 1	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta	Estribo 2
Dimensiones (largo x fondo)	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1	2,7 x 4,1
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	2,7/5,4 = 1/2	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3	2,7/8,3 = 1/3,07
Altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	0	0,8	1,5	3,8	4,1	4	4
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	2,7/7,5 = 1/3,14	-	-	-	-	-	-
Cimiento de la pila T_c	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible
Base en la que se apoya el cimiento	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas	Posible recinto de tablestacas
Protección contra la erosión	zona urbanizada, puente encauzado	zona urbanizada, puente encauzado	zona urbanizada, puente encauzado	Zona encauzada	Zona encauzada	Zona encauzada	Zona encauzada

Tabla 5.10 Resumen de características de las pilas.

5. Tajamares	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
En la pila nº	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Estribo 2º
Dimensiones	2,7 x 1,7	2,7 x 1,7	2,7 x 1,7	2,7 x 1,7	2,7 x 1,7	1,3 x 1,7
Altura desde cimiento	3,5	4,5	7	8,5	8,5	5
Forma de finalizar la altura	balconcillo	balconcillo	balconcillo	balconcillo	balconcillo	balconcillo
Dimensiones del espolón	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar
Altura desde cimiento del espolón	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar
Forma de finalizar la altura del espolón	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar	iguales al tajamar

Tabla 5.11 Resumen de características de tajamares.

6. Estribos (estimación)	Primero	Segundo
Dimensiones (largo x fondo)	2,7 x 1,5	zona mutilada y encajada en urbanización 2,7m.
Largo de estribo / luz del arco	$2,7/5,4 = 1/2$	
Largo de estribo / luz mayor	$2,7/8,5 = 1/3,14$	
Orientación del terraplén	según eje del puente	

Tabla 5.12 Resumen de características de estribos

7. Sobre las reglas empíricas

Luz	Canto	Altura de pila	Ancho de pila
5,4	0,4	0	2,7
8,3	0,4	0,8	2,7
8,3	0,4	1,5	2,7
8,3	0,4	3,8	2,7
8,3	0,4	4,1	2,6
8,3	0,4	4	2,7
8,3	0,4	4	2,7

Tabla 5.13 Valores correspondientes al puente del Remei.

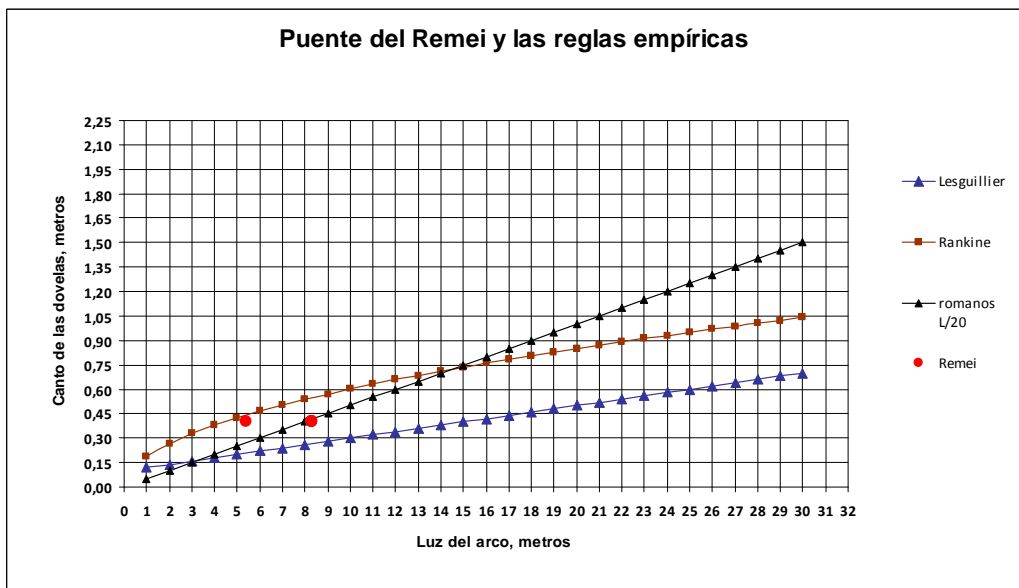


Gráfico 5.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente del Remei.

Se puede observar que el canto, *c*, de las dovelas de todas las bóvedas se identifican claramente con la regla del Alto Imperio Romano, excepto en una de ellas, la de luz diferente e inferior al resto de bóvedas.

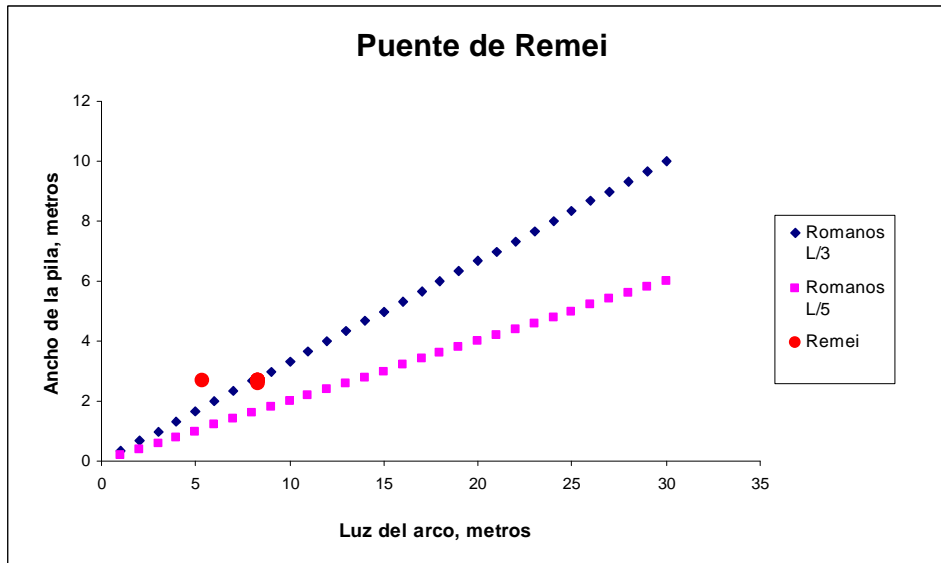


Gráfico 5.2 Fórmulas empíricas aplicables al puente del Remei.

Al ser todas las bóvedas, excepto la primera, de igual luz, lógicamente, todos los valores se acumulan y coinciden con la regla empleada en la época del Alto Imperio Romano.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCs hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes y las excentricidades necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida por el interior de la boquilla de cada uno de los arcos..

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 2,97% mayor que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	220	0,35 y 0,35
Segunda	633	0,3 y 0,2
Tercera	608	0,4 y 0,2
Cuarta	774	0,3 y 0,3
Quinta	710	0,3 y 0,3
Sexta	550	0,3 y 0,3

Tabla 5.14 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	220	0,4 y 0,4
Segunda	633	0,3 y 0,2
Tercera	608	0,4 y 0,2
Cuarta	774	0,3 y 0,3
Quinta	1.360	0,3 y 0,3
Sexta	550	0,3 y 0,3

Tabla 5.15 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a ½ de la bóveda quinta.

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico

Pila	Carga específica σ (N/mm ²)
Primera	0,06
Segunda	0,134
Tercera	0,190
Cuarta	0,305
Quinta	0,319
Sexta	0,305
Séptima	0,130
Valor medio familia	0,286
Valor medio general	0,35313

Tabla 5.16 Valores de las cargas específicas que las pilas que apoyan sobre los cimientos debidos al peso propio de la estructura.

Como en todos los puentes que estudiamos, para realizar la simulación con ARCs hemos supuesto una carga móvil formada por un tren de dos ejes separados dos metros y cada uno de ellos con una carga de 120 KN y al conjunto aplicándole un coeficiente de seguridad de 3.

Si esta carga la sustituimos por una adecuada al ancho de la calzada y formada por ristras de mulas formada tres animales de carga, en paralelo, cada uno de ellos con una carga total de 400 kg. repartida sobre las patas delanteras y traseras, representan un valor de cargas puntuales de 6 KN. Para mantener el mismo recorrido de la línea de presiones, que la calculada 120 KN, el coeficiente de seguridad pasa de 3 a 60.

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

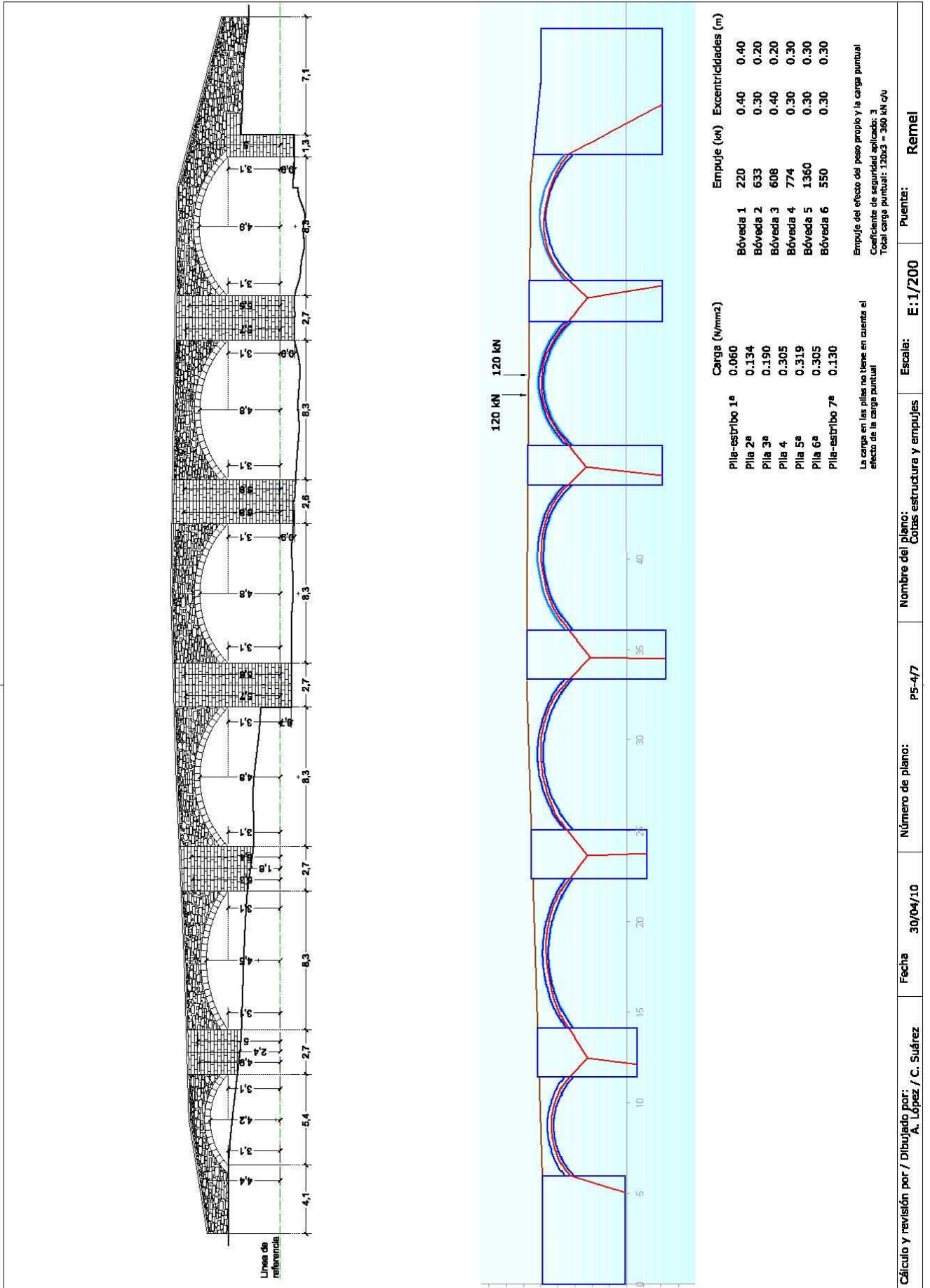
Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
En función del vano mayor: $> 5 < 10$ metros (2.b)
En función de la directriz: flecha /luz $1/4,88$
En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz $1/20,75$
En función del material de la bóveda: sillería de piedra (4.a)
En función de las cargas máxima sobre el cimiento: $0,319 \text{ N/mm}^2$
Y de los máximos empujes horizontales: 1.360 KN
En función del tipo de cimentación: recinto de tablestacas (5.d)

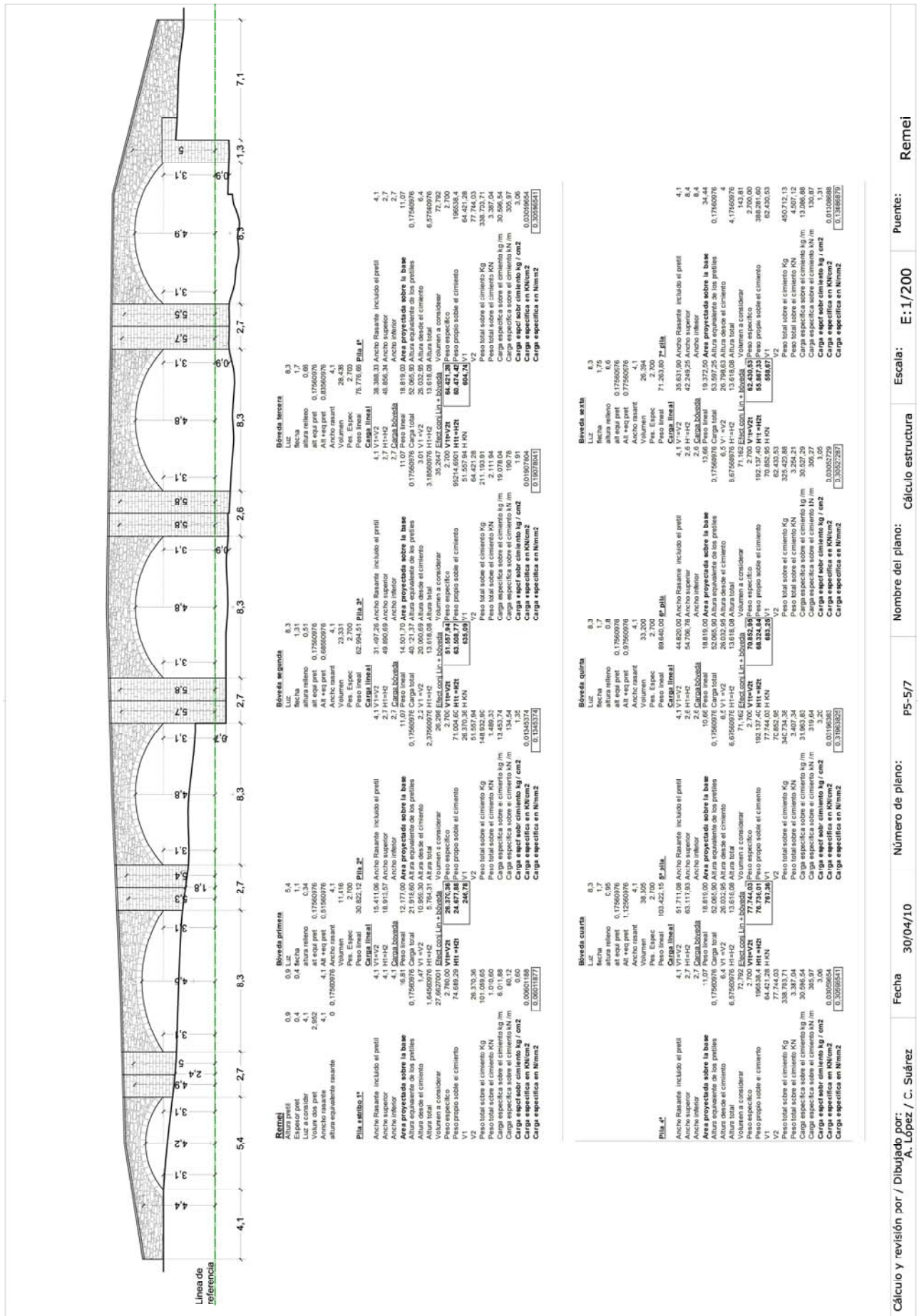
Las seis bóvedas: son de medio punto bastante rebajadas $A^{**} \ 0,288 > \sigma > 0,143$.

Cuadro 5.1 – Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

- Dibujo 5.11 Plano P5 – 4/7 Recorrido de la línea de presiones, programa ARCs.
- Dibujo 5.12 Plano P5 – 5/7 Tabla con el resumen del cálculo analítico del valor de los empujes.





9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el plano P5 - 6/7 puede verse una aproximación a la zona inundable para diferentes valores de calado.

En el plano se pueden ver dos alzados del puente:

a) El superior corresponde al alzado actual del puente, en el cual el grado de obturación al reducir el área general de paso, alcanza unos valores que oscilarían entre el 25,46% y el 40,64%.

b) El inferior corresponde a la hipótesis del trazado original del puente, que se presenta en el plano P5 – 7/7, el área de paso era superior a la que ofrece el puente actualmente, ya que le faltan dos bóvedas. El cálculo de la obturación para el puente cuando tenía las dimensiones a las que nos hemos referido anteriormente, los valores de obturación en función del calado oscilaba entre el 23,28% y 36,61%.

En la actualidad, el río Mèder tiene el comportamiento de un río efímero. La pendiente actual del río en el tramo donde se localiza el puente es del 0,692%. Su comportamiento puede ser de arrastre de sedimentos. Se encuentra localizado en una zona que actualmente está encauzada y el eje del río es perpendicular a su planta.

Datos relativos a la hidráulica del puente³

Cuenca Km ²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m ³ /seg	Caudal punta T:500 m ³ /seg
81,24	63	0,412	154	202	245,1	452,7

Tabla 5.17 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente

Considerando que la velocidad de la lamina de aguas se mantendrá a la misma velocidad de forma independiente al caudal (1,6 m/s)

1 Período retorno (años)	2 Caudal punta (m ³ /seg)	3 Velocidad agua (m/s)	4 Superficie equivalente total (m ²) (2/3=4)	5 Sección de paso del puente (m ²)	6 Sección suplementaria (m ²) (4-5=6)	7 Longitud del puente (m)	8 Altura equivalente agua (m) (6/7=8)
100	245,1	1,6	153	176	- 23	73	- 0,32
500	452,7	1,6	282,93	176	106,93	73	1,46

Tabla 5.18 Determinación del calado correspondiente a caudales punta para T=100 y T=500.

Si los valores de las alturas equivalentes de la tabla anterior los situamos sobre el plano P5 – 6/7, para el período de retorno de 100 años el agua alcanzaría hasta el arranque de los arcos, inundando parcialmente la ciudad. Para el período de retorno de 500 años, alcanzaría un valor de 5,73 + 1,46 metros, sobrepasando los pretilos del puente.

³ Cálculos procedimiento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” del M. Fomento 2001.

El 8 de octubre de 1863 el Mèder sufrió una gran avenida que inundó una parte de la ciudad. Hemos recopilado las placas indicativas del nivel alcanzado por las aguas dentro de la ciudad:

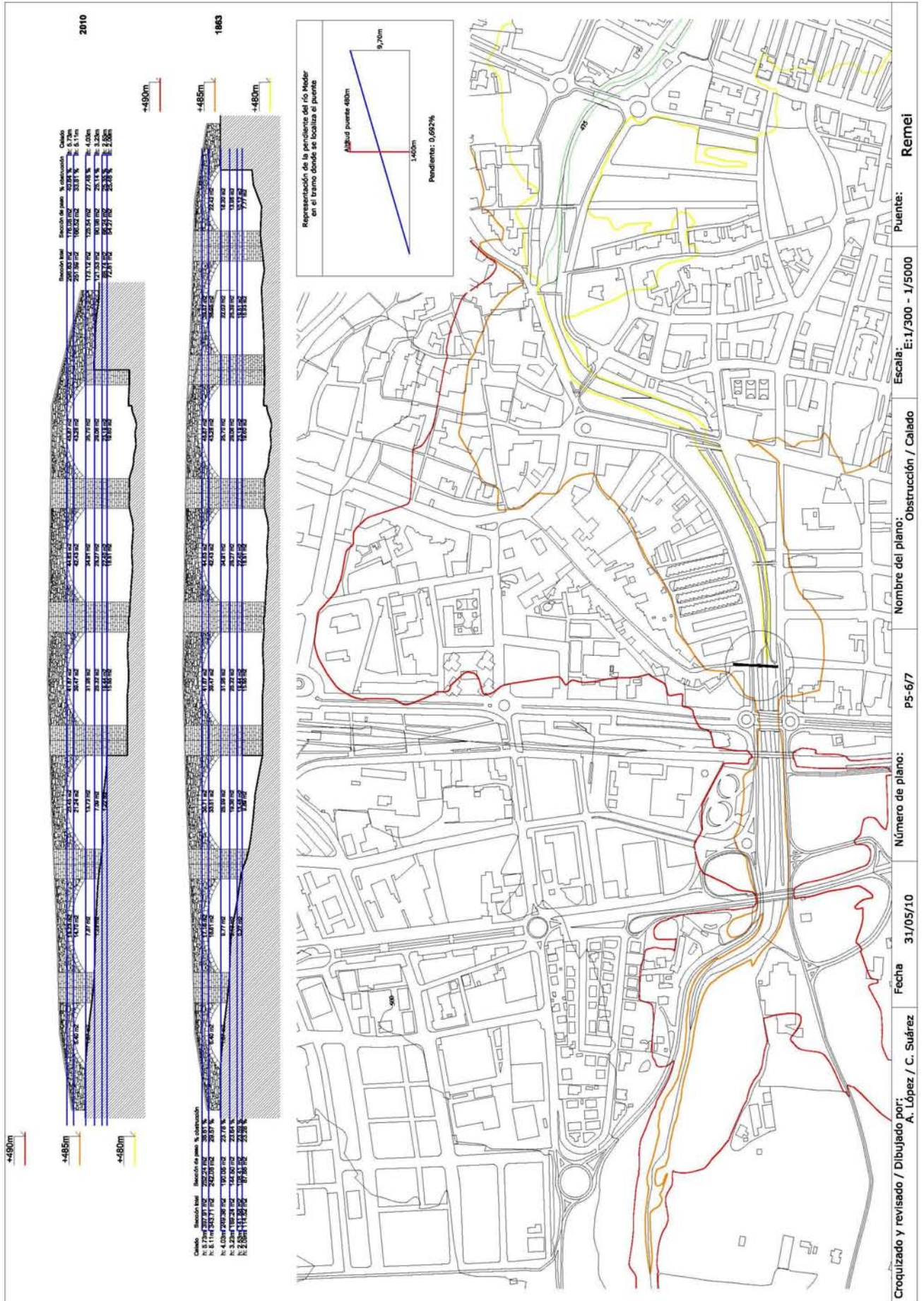
- Plaza de la Catedral, 486,8 metros
- Puente del Remei, 486,561 metros
- Can Casula, 485,524 metros
- Casa Sacerdotal, 484,705 metros
- Puente de Queralt, 482,592 metros
- Colomer Munmany, 482,102 metros
- Pasaje de la calle Montserrat, 477,422 metros⁴



Imagen 5.6 Riada de 1962 en el arco

En la página siguiente: Dibujo 5.13 Plano P5 – 6/7 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.

⁴ Datos facilitados por la Secció d'Urbanisme de l'Ajuntament de Vic.



10. Hechos históricos asociados con el puente

Este puente es uno de los testimonios monumentales de la ciudad a principios del siglo XIV, en los arrabales formados por las calles de Sant Joan, de Amposta y de Sant Pere cercanas, a las hortas de Letrans que había en la actual rambla de Sant Domènech hasta el Prat de la Riera.

En 1274 por orden del rey Jaume, se ordenaba modificar el trazado del camino que iba desde Barcelona a Vic y que entraba a la ciudad por la calle de Sant Francesc y el puente de Queralt. El proyecto que se hacía del trazado del camino proveniente de la población de Malla a Vic conducía a desviar hacia el norte en punto de entrada a la ciudad pasando de la ya mencionada calle de Sant Francesc a la de Sant Pere. En este punto también era necesario cruzar el río mediante un nuevo puente.

En los primeros años de la construcción, en 1324, hay constancia de partes de herencias que se otorgan para la construcción de este puente.

En los dos extremos del puente se construyeron dos pozos. En la parte media de la calzada se construyó un oratorio bajo la advocación de la Mare de Déu del Remei y una solemne cruz.

El puente resistió las riadas de agosto de 1488 y 1617, aunque en esta ocasión el agua alcanzó las murallas de la ciudad. En la riada de octubre de 1863 el agua alcanzó una altura que prácticamente ocultaba el punto más alto de las bóvedas dejando el puente "sin aire" bajo los arcos. Sobre esta última hay colocadas, en este puente y en el de Queralt, placas indicando hasta que altura llegaron las aguas. En esta ocasión, inundaron una parte de la ciudad.

El puente ha sufrido diferentes mutilaciones, en 1753 se suprime el oratorio y la cruz, al construirse la iglesia del Remei a donde se traslada la virgen del Remei. Posteriormente, al trazarse la carretera hacia Santfons, el extremo oeste del puente fue mutilado, suprimiéndose parte de arcos y el pozo que estaba adosado en este extremo.⁵

El oratorio del Remei está documentado desde 1373 y fue él quien dio nombre al puente, a la calle que se hizo a su entrada y, más tarde, fue trasladada su imagen, la cual dio, también, nombre al nuevo convento de franciscanos, que se construyó en el siglo XVIII, al final de tal calle. A principios del actual siglo se le mutilaron dos arcos, al hacer la carretera de Santfons o de Avinyó y quedó privado de todo paso rodado debido a las escaleras que se le hicieron para poder acceder a él por el lado de mediodía. Aunque, hoy en día, sea de escasa utilidad, es uno de los puentes más firmes y vistosos de Vic.⁶

Puente del Remei

Igual que el puente de Queralt, está situado sobre el Mèder, pero en el nuevo camino real de Vic a Barcelona, que el rey Jaume I hizo recuperar por decreto en 1274 para que la vía volviese a pasar por Caldes de Montbuí. Conecta el barrio del Remei y la calle de Sant Pere, y fue construido entre 1324 y 1327 siguiendo el modelo gótico que se había ido imponiendo en todo desde el siglo anterior.

Originalmente tenía ocho arcadas de altura decreciente desde el centro hacia los extremos, de las cuales las dos de mediodía fueron eliminadas al abrirse la carretera de Aviñón, a principios del siglo XX, y las tres de la calle de Sant Pere son, actualmente arcos auxiliares por debajo de los cuales discurre el pavimento de la vía pública.

El puente del Remei esta ejecutado con obra de sillarejos de diferentes medidas y los pilares se refuerzan por las dos fachadas con tajamares de sección triangular, que llegan hasta el coronamiento del antepecho, lo que genera apartaderos a la calzada. Los arcos son rebajados, perfilados con pequeñas dovelas, y en el arranque de las bóvedas se conservan los agujeros del andamiaje.

En el siglo XIV, en cada extremo del puente había un pozo y, además, un oratorio dedicado a la Mare de Déu del Remei al lado de mediodía y una cruz de término al opuesto. En este lado hay una fuente, con una pequeña edificación prismática coronada con una bola decorativa. Alrededor del puente y de los márgenes del Mèder, el Ayuntamiento de Vic ha creado, en la última década, un espacio ajardinado y de paseo público, obras que comportaron, también, la restauración y nueva pavimentación del puente.

Vic

El municipio está en el centro de la planicie de Vic y lo surcan diversos cursos de agua: el Gurri, el cual recibe por la izquierda al Mèder, que rodea el núcleo amurallado por mediodía, y sus torrentes. La ciudad de Vic disfruta de una ubicación estratégica y ha sido cruce y lugar de paso de antiguos caminos y carreteras modernas, como también de la vía férrea de Sant Joan de les Abadesses.

Por todas estas circunstancias, alrededor de la población se ha construido un buen número de puentes en siglos sucesivos; algunos han desaparecido, como el medieval puente del Gurri, o el puente del ferrocarril sobre el Mèder, paralelo al del Remei aguas arriba, que había sido construido en 1871 por la Maquinista Terrestre y Marítima y proyectado por Nicolau Tous y Josep M. Cornet con bigas metálicas (el tren llegó a Vic en 1876).

⁵ Traducción literal del original en catalán *La ciutat de vic i la seva historia*. Eduard Junyent. Edt Curial. Documents de Cultura. Curial Barcelona 1976. ISBN 84 7256 089 9. Pag 414. y sig.

⁶ Traducción textual del original en catalán *Els Vell ponts d'Osona*. Antoni Pladevall. Ayuntamiento de Vic, Fiesta Mayor de Vic 1970

Sí que se conservan los puentes en arco, convertidos en clásicos por la tipología y la forma, de las carreteras de los siglos XIX y XX: sobre el Mèder, el puente de la carretera de Barcelona a Ripoll, que llegó a Vic en 1847, y el puente de la de Vic a Sentflores y Santa Eulalia de Riuprimer, la cual estaba en construcción en 1910; y sobre el Gurri, el puente de Can Caseta, a la carretera de Vic a Folgueroles, el primer tramo del cual se finalizó en 1900.⁷

Las obras del Remei dejan al descubierto restos del antiguo puente gótico. El ayuntamiento valorará poder incorporar parte de los restos al acabado final de la calle

Las obras a la calle del Remei han dejado al descubierto parte del acceso al puente gótico, suprimido a inicios del siglo XX con la obertura de la carretera de la Guixa. Para este domingo, el Ayuntamiento de Vic organiza dos visitas guiadas para todo aquel que quiera conocer los restos arqueológicos.

Esta infraestructura se mantuvo casi en su estado original hasta los años 1911-12. En este momento, las obras de obertura de la carretera de la Guixa obligaron a desmontar la rampa que permitía el acceso rodado al puente y la primera arcada del mismo, substituyéndola por las escaleras que se pueden observar en la actualidad. Posteriormente se eliminó el pozo de la calle del Remei.

Los trabajos llevados a cabo por los arqueólogos la segunda quincena de octubre han consistido en el levantamiento de los rellenos aportados al siglo XX, para, de esta forma, poner al descubierto la fisonomía original de la calle, recuperando los restos que se conservan de la rampa original de acceso al puente, así como del pozo y del pavimento de la calle.

La urbanización de la calle del Remei no afecta los restos aparecidos, pero una vez realizada la intervención arqueológica se valorará la posibilidad de modificar la urbanización de la calle con tal de incorporar parte de los restos al acabado de la calle, o bien reflejar los restos en la superficie, para que, con la ayuda de un panel explicativo se pueda entender la modificación ocurrida en el puente y en la calle del Remei durante el siglo XX.⁸

⁷ Traducción literal del libro el sobre el puente Diputación de Barcelona y Archivo Ayuntamiento de Manlleu

⁸ Traducción literal del *Nou* Noviembre 2009

10.1 Reproducciones fotográficas procedentes de L'Abans



Imagen 5.7 A la izquierda: el puente a principios del siglo XX



Imagen 5.8 A la derecha: el puente visto desde el lecho del río y aguas abajo.
L'Abans Vic 1863 1965



Imagen 5.9 A la izquierda: el puente visto desde el lecho del río. L'Abans Vic 1863 1965

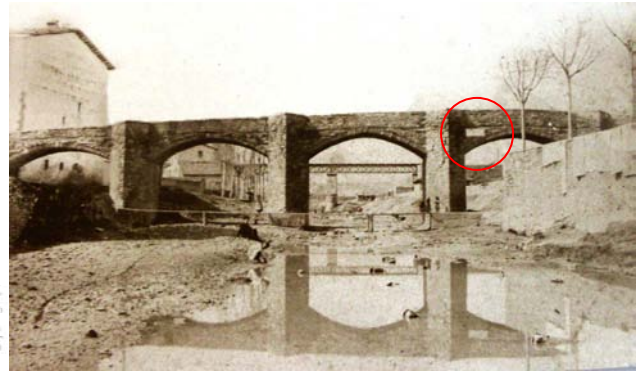


Imagen 5.10 A la derecha: el puente a principios del siglo XX
b La comarca de Osona de los siglos XIII al XVIII L'Abans Vic 1863 1965



Imagen 5.11A la izquierda: el puente a principio del siglo XX



Imagen 5.12 A la derecha: riada de 1962 vista desde agua abajo orilla derecha

Se puede observar la zapata del cimiento sobre la que se apoya la pila a la izquierda de la imagen 5.10. Actualmente, circulando un caudal mínimo por el río, deja al descubierto un trozo de la parte superior de esta zapata. (ver Imagen 5.3).

En las imágenes 5.7 a la 5.11, marcado con un círculo rojo, se puede ver la placa que indica el nivel alcanzado por las aguas en la riada del 8 de Octubre de 1863. La indicación de la placa corresponde a la altura topográfica de 486,516 metros y, que referida a la cota del suelo de las fotografías citadas anteriormente suponen 8,15 metros de altura.

11. Impresión sobre el estado de conservación e hipótesis sobre medidas originales

Históricamente se cita que el puente tenía un oratorio en el centro de la rasante y una gran cruz, y también dos pozos situados uno a cada lado del terraplén de entrada al puente.

Se cita que el puente sufrió mutilaciones y que en 1753 se suprimió el oratorio y la cruz⁹.

Creemos que una hipótesis a verificar podría ser el motivo de retirar el oratorio y la cruz y la relación que estos hechos pudieran guardar con una modificación importante realizada para aumentar la capacidad de desagüe. En las fechas que, históricamente, se cita la construcción del puente, 1324, el grado tecnológico de la construcción no contemplaba la construcción de bóvedas rebajadas a los valores que presentan actualmente las bóvedas del puente. Posiblemente tenían un trazado de medio punto completo, semejantes a las del puente de Queralt, localizado aguas a bajo y que servía como entrada a la ciudad por la puerta de la muralla arcana a la catedral.

Podría haberse dado el caso que en las inundaciones de los años 1488 y 1617, la estructura del puente hubiese resultado afectada o que los ciudadanos de Vic pudiesen llegar a ver su puente sin aire, tal como ocurrió el 8 de octubre 1863.

Posiblemente que la obra de mejora del puente Quizás la adecuación del puente, llevada a cabo 1753, fue planificada bajo un proyecto como el que citamos:

- a) Para aumentar el desagüe, manteniendo los cimiento y la parte baja de las pilas en su forma original es necesario elevar la zona del arranque de los arcos.
- b) Es posible que si esto sucedió, se pensara en realizarla modificación construyendo otro tipo de arco más de acorde con los conocimiento de la época, pasando del medio punto a otro de medio punto rebajado o inclusive ligeramente apuntado.
- c) Las pilas debían elevarse para alcanzar el nivel del arranque de los nuevos arcos.
- d) Era necesario levantar la calzada original y retirar las construcciones que había sobre esta: cruz y oratorio de la virgen del Remei.
- e) La nueva rasante debía mantener la cota de altura para poder seguir empleando los mismos terraplenes y no afectar a las viviendas de las proximidades ni a los pozos que habían en cada uno de los extremos del puente.

⁹ Eduard Junyent, obra citada pág 414 y sig.

Para acercarnos a la verificación de esta hipótesis, volvimos a observar con detalle las pilas que están situadas en el curso fluvial:

1. El arco original de medio punto debía pasar por tres puntos: los arranques y por la tangente al extradós.
2. Si a las pilas se habían variado el nivel de los arranques de los arcos, posiblemente se debía observar restos de la modificación.
3. Si las pilas se habían elevado en altura para aumentar la estabilidad, tajamares y espolones debían haberse elevado para formar los balconillos actuales y así mejorar la capacidad de tránsito por el puente, creando zonas más amplias para permitir el tránsito en doble sentido. Si fue así, posiblemente se pudiera detectar restos de la construcción analizando la formación de los paramentos..

Para verificar estas hipótesis realizamos lo siguiente:

- a) Sobre el dibujo actual para cada bóveda trazamos curvas de medio punto completas con un canto de las dovelas semejante al actual, que fueran tangentes en los arranques con las pilas y con el plano tangente al extradós que contiene la rasante. (plano P 5-7A/7).
- b) Para lograrlo las pilas podían ser de menor altura y la rasante podía tener la misma cota de altura.
- c) Comparando la sección de paso de esta bóveda de directriz de medio punto con la actual, el desagüe por aumenta $4m^2$ por arco.
- d) Observando la zona de los arranque, se puede verificar que la traba no guarda la misma uniformidad que el resto. Imagen 5.13
- e) Si se observa el lateral del tajamar se puede apreciar que se realizaron obras. Imagen 5.13.

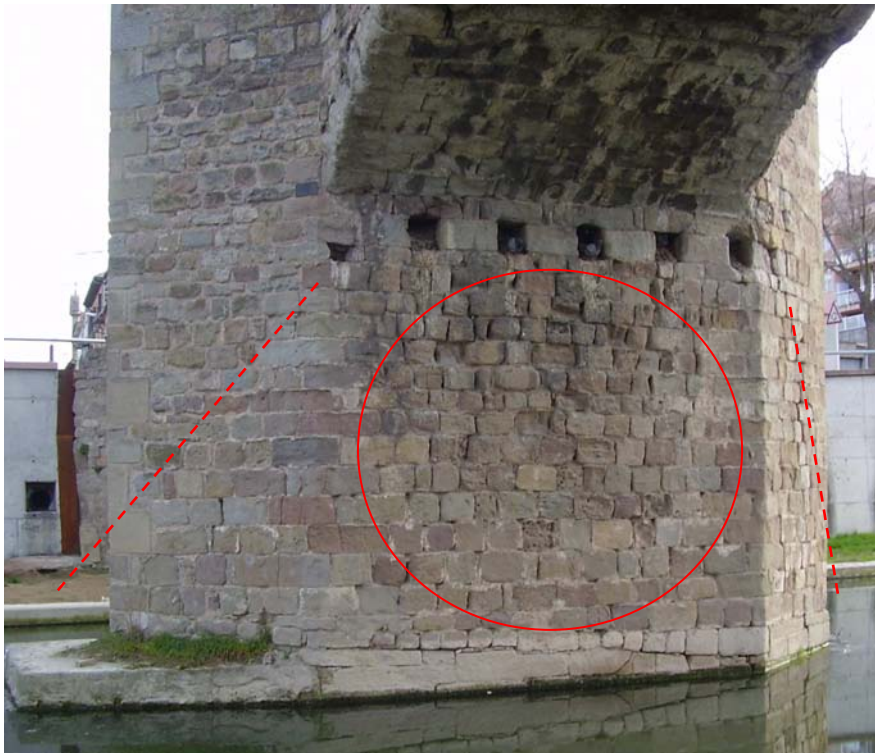
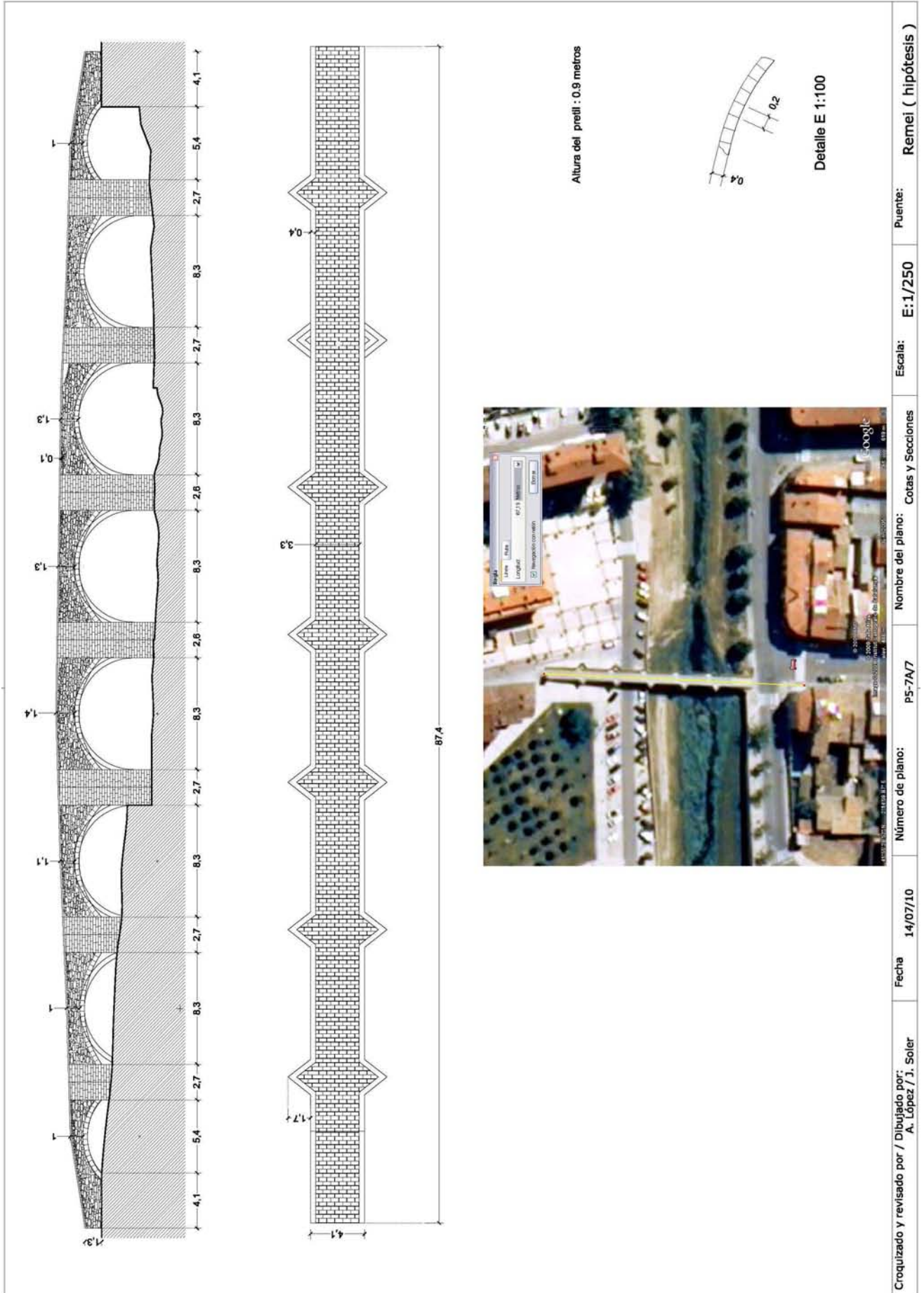


Imagen 5.13 – Zona de la pila donde se puede verificar que se ha realizado una intervención que no afectó a la parte baja de los tajamares. Por el inicio de la zona da la impresión de que el arranque de la bóveda original era bastante más bajo del actual.

En las páginas siguientes:

Dibujo 5.14 Plano P5 – 7/7 Hipótesis de las dimensiones originales del puente antes de su mutilación y eliminación del pozo que había en la orilla derecha.

Dibujo 5.14 Plano P5 – 7/7 Hipótesis de las dimensiones originales del puente antes de su mutilación y eliminación del pozo que había en la orilla derecha.



Croquisado y revisado por / Dibujado por: A. López / J. Soler	Fecha 14/07/10	Número de plano: P5-7A/7	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E:1/250	Puente: Remei (hipótesis)
--	-------------------	-----------------------------	--	--------------------	--------------------------------

Puente de Queralt

Sexto puente: pont de Queralt, de Sant Francesc o de la Calla

Sobre el Mèder afluente del Gurri, afluente del Ter a su paso por la ciudad de Vic. Es el más antiguo de los puentes de la ciudad, se construyó durante el siglo XI. Está localizado frente a la puerta de Queralt que había en las antiguas murallas de la ciudad. Está formado por cuatro arcos y tres arcones de aligeramiento. Su calzada es de doble pendiente, con una longitud de 36 metros.



Imagen 6.1 Vista general del puente

1. Localización

6	1.1	Denominación del puente	pont de Queralt
6	1.2	Cuenca del río	Ter
6	1.3	Comarca	Osona
6	1.4	Río	Mèder
6	1.5	Término municipal	Vic
6	1.6	Lugar	en el interior de la ciudad
6	1.7	Coordenadas geográficas	41° 55' 39,02" N 2° 15' 22,02" E
6	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 438434 y' 4642211
6	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar	475,3
6	1.10	Orientación	N-S

Tabla 6.1 Situación de la obra



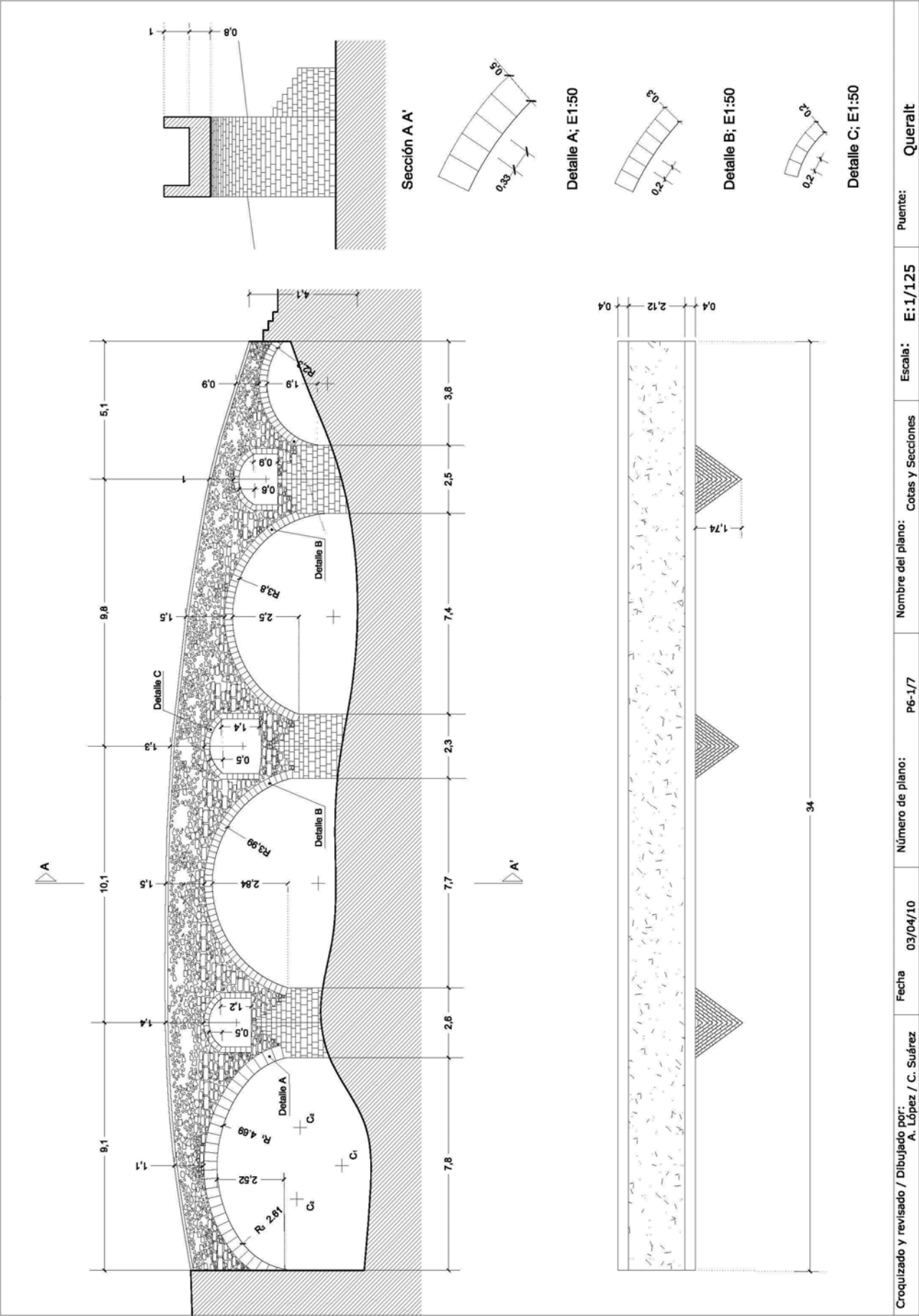
Imagen 6.2 Vista topográfica de la localización del puente

2. Características generales

6	2.1	Número de arcos		4
6	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	3,8 - 7,8
6	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	$2,52/7,8 = 1/3$
6	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		3
6	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	7,62
6	2.6	Calzada con pendientes		doble pendiente
6	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	14
6	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	2°
6	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	20,37
6	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	4°
6	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	34,37
6	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	2,92
6	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	2,12
6	2.14	Espesor de los pretiles	c_p (metros)	0,4
6	2.15	Altura de los pretiles	h_{pr} (metros)	1
6	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		piezas labradas
6	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	Encajados
6	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	encajado en las obras de urbanización
6	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		Sí

Tabla 6.2 Datos arquitectónicos

En la página siguiente: Dibujo 6.0 Plano P6 – 1/7 Dimensiones fundamentales.



Croquizado y revisado / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 03/04/10	Número de plano: P6-1/7	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E: 1/125	Puente: Queralt
---	-------------------	----------------------------	--	---------------------	--------------------

Es el puente más antiguo de los existentes en la ciudad de Vic, se construyó durante el siglo XI sobre el río Mèder, para poder acceder a la ciudad por la puerta de Queralt que se encontraba en las murallas de la ciudad. En el Plano P6 – 7/7 puede verse que la localización de esta puerta se situaba al sur de la ciudad y muy cercana al recinto de la catedral.

En el planteamiento de hipótesis de esta tesis, decimos que la estructura actual del puente fue modificada, en el plano del puente P6 – 7/7 dibujamos el puente con la forma y medidas con la que nos parece que debió construirse.

Al ser derribadas las murallas, se construyó la calle que circundiza el casco antiguo de la ciudad, para realizar estas obras, las bóvedas más cercanas a las murallas se eliminaron, acortando la longitud inicial del puente, construyéndose el muro de contención de la actual rambla del Bisbat y, desde, allí se construyó el arco de tres centros que enlaza con la estructura original (ver Plano P6 – 3/7 fotografía 1).

La estructura del puente en la actualidad está formada por una rasante de 36 metros de longitud y 3 metros de ancho, las dobles pendientes originales, se han aliviado, formando una directriz continua ligeramente circular. El pavimento formado por losas, se ha adecuado al uso peatonal protegiéndolo con dos pretiles de 0,4 metros de grueso y finalizados con una albardilla de losas que, en conjunto, tienen una altura próxima de un metro.



Imagen 6.3 *A la izquierda:* calzada vista desde el acceso al puente por el margen derecho



Imagen 6.4 *A la derecha:* vista del puente desde el muro de encauzamiento desde la orilla izquierda aguas arriba

La rasante está soportada por cuatro bóvedas. Las dos centrales de medio punto rebajadas, con luces algo mayores de 7 metros, unidas a las otras dos, una por cada lado, que enlazan con las zonas urbanizadas de ambos márgenes del río.

La bóveda que enlaza con el margen izquierdo, frente al recinto de la catedral, cubre un vano de 8 metros. Tiene una directriz trazada con tres centros, los dos de los arranques de 2,6 metros y el central de 4,6 metros.

La bóveda restante, la que enlaza con el margen derecho, es de medio punto. Su directriz está cortada, sólo se conserva un trozo correspondiente a un ángulo de desarrollo de 116° que cubre un vano de 3,8 metros.



Imagen 6.5 A la izquierda: cuarto arco y tercer arquillo



Imagen 6.6 A la derecha: bóveda del arco segundo desde aguas a bajo. La línea de la boquilla está separada de la bóveda, pudiéndose verificar que la boquilla está formada por dovelas de poco fondo, aplacadas a la bóveda verdadera.



Imagen 6.7 A la izquierda: pila y arranque de una de las bóvedas.



Imagen 6.8 A la derecha: detalle de la composición de los materiales de la bóveda.

Las boquillas de las cuatro bóvedas están formadas por dovelas de poco fondo aplacadas sobre la verdadera bóveda, que está formada por grandes cantos de río, tal como se puede observar por el intradós, de las tres de directriz circular.

Las bóvedas descansan sobre tres pilas de diferentes alturas de tal forma que, el plano circular que contiene los extremos superiores de las pilas, es equidistante del que contiene la directriz de la rasante.

Las tres pilas descansan sobre el lecho del río. Tienen gruesos sensiblemente iguales oscilando entre los 2,3 y 2,6 metros. Están finalizados en el lateral de aguas arriba por tajamares de base triangular, que se elevan rematándose con sombreretes escalonados hasta llegar a la base de los arquillos de aligeramiento (véase imagen 6.4)

Los arquillos, son de medidas desiguales pero mantienen una forma común: una bóveda circular de medio punto rebajada que descansa sobre las paredes laterales con una base que denota el desgaste y que no forma una superficie recta perpendicular a las paredes.

El puente está encajado entre las obras de las zonas urbanizadas que lo rodean, que hacen la función de estribos.

Por el margen izquierdo, el muro de contención de tierras sobre las que se trazó la vía que sustituyó la zona de las antiguas murallas (rambla del Bisbat)¹, al mismo tiempo, sirve de encauzamiento del río. Por el margen derecho la mota finaliza en altura con una de las vías de la ciudad (carrer de la Soletat)².

Tal como la describimos, es una estructura claramente mutilada, por razones de adaptación a la urbanización progresiva de las áreas cercanas y necesarias para adaptar la ciudad a su crecimiento.

Un análisis elemental de los paramentos visibles del puente: las pilas y los tajamares formados por líneas sucesivas de diferentes materiales, donde predominan los sillarejos y ripio, y, como aglomerante, mortero de cal. Las bóvedas de los arcos de medio punto, formadas por grandes cantos rodados y como aglomerante, de nuevo, mortero de cal. La zona alta, llegando a los pretilos, se forma con mampostería de cantos, sillarejos, lajas y ripio.



Imagen 6.9 *A la izquierda*: el aliviadero del azud, visto desde la orilla izquierda y aguas abajo del puente.

Imagen 6.10 *A la derecha*: el paramento del puente y el aliviadero del azud visto desde el margen derecho y aguas abajo.

Una infraestructura independiente al puente, pero muy cercana al paramento de aguas abajo, es el azud situado escasamente a algo más de un metro. El azud servía para alimentar a una instalación de aprovechamiento hidráulico situado a 1,5 Km. aguas abajo.³

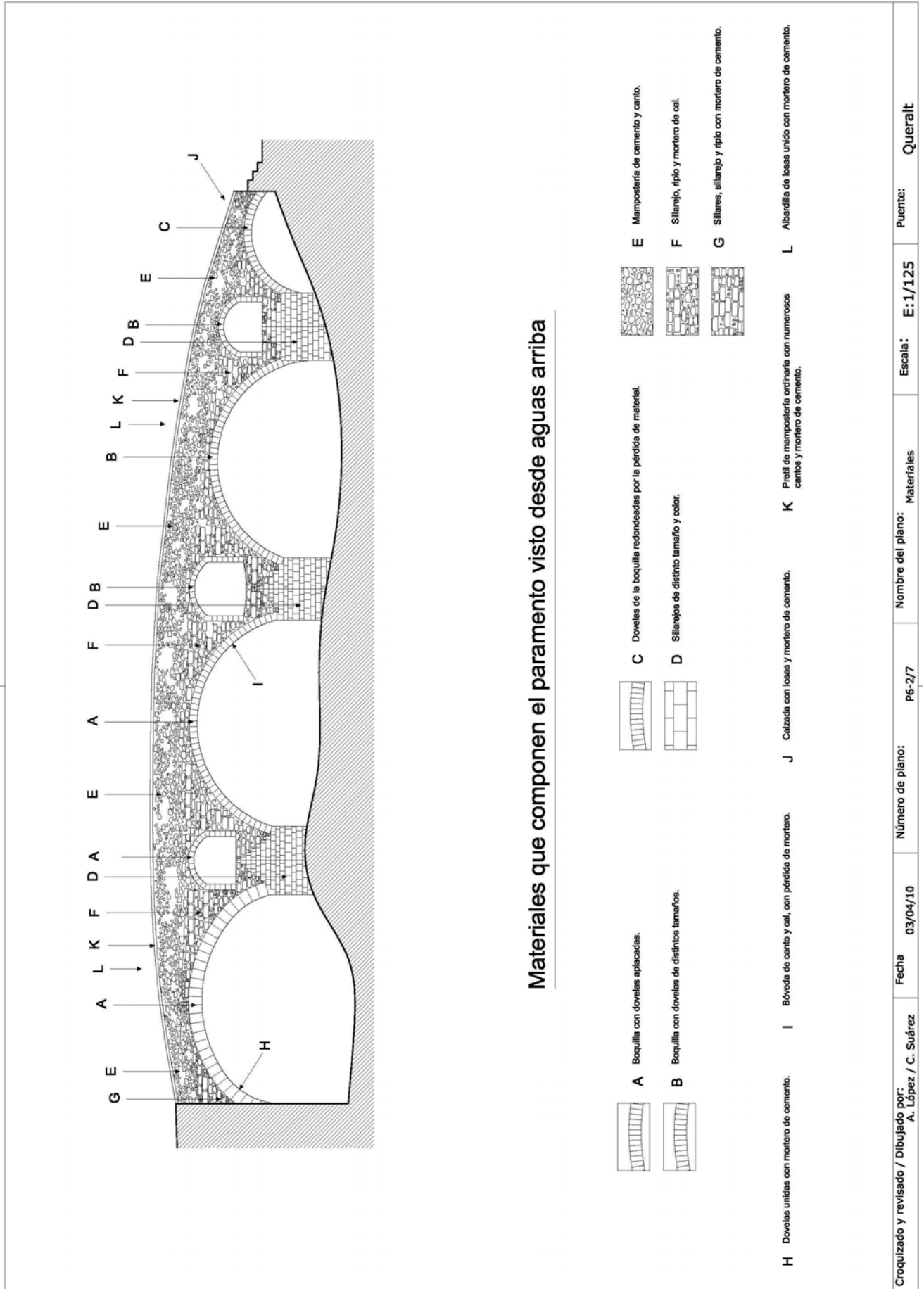
El efecto hidráulico del azud sobre la infraestructura del puente, suponemos que aporta una función beneficiosa sobre las pilas, al disminuir la velocidad y elevar el nivel de la lámina de agua para obtener la aportación de sedimentos que, sin lugar a dudas, actúa en contra del posible efecto de erosión.

En las páginas siguientes: Dibujo 6.1 Plano P6 – 2/7 Sobre la composición del paramento. Dibujo 6.2 Plano P6 – 3/7 Detalles fotográficos del puente.

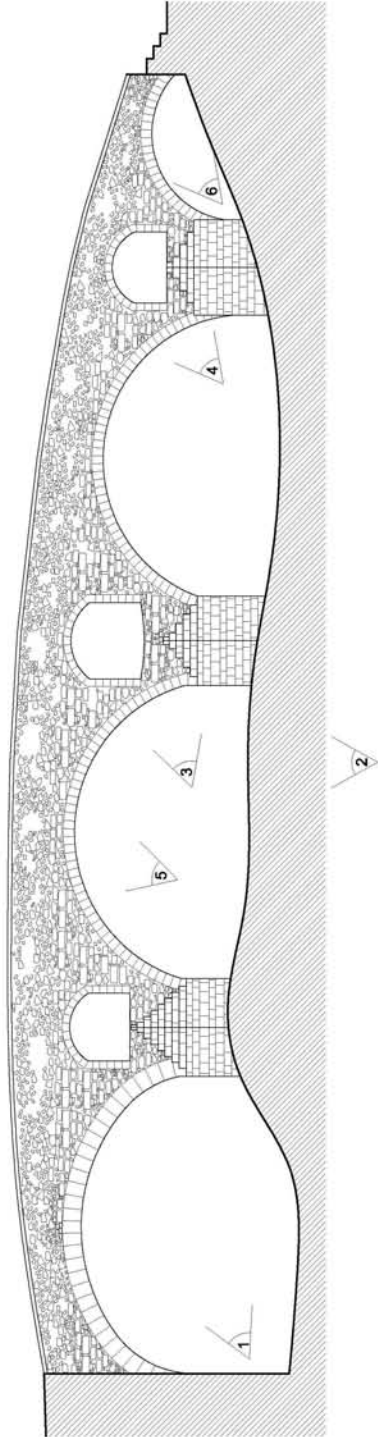
¹ TLC (rambla del Obispado)

² TLC (calle de la Soledad)

³ Eva Kaiser *Trabajo inédito sobre el puente de Queralt, Master de restauración de monumentos históricos UPC.*



Croquizado y revisado / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 03/04/10	Número de plano: P6-2/7	Nombre del plano: Materiales	Escala: E: 1/125	Puente: Queralt
---	-------------------	----------------------------	---------------------------------	---------------------	--------------------



1. Arco de tres centros desde aguas arriba



2. Vista general desde el muro de encauzamiento izquierdo y aguas arriba



3. Arranque de bóveda



4. Arquillo de alligeramiento



5. Bóveda con boquilla aplacada, vista desde aguas abajo



6. Bóveda del arco extremo orilla derecha, aguas arriba

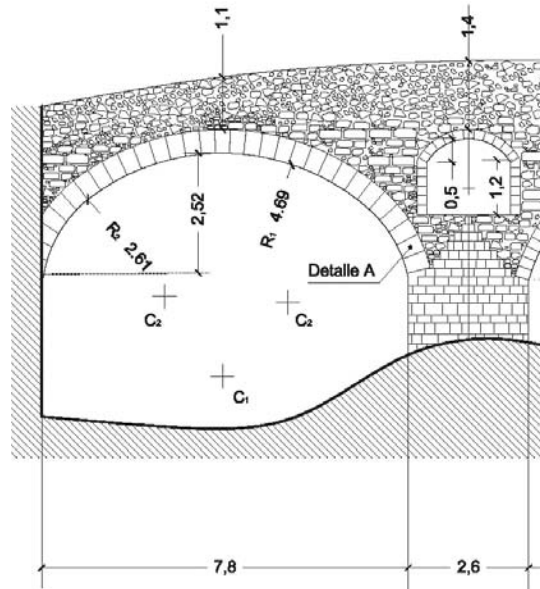
3. Geometría de la estructura

3.0. Características de los arcos

Vistos desde: aguas arriba

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1. Arco primero



Dibujo 6.3 Arco primero.

6	3.1.2	Número de roscas		1
6	3.1.3	Radio	R_1 (metros)	2,61 , 4,69 , 2,61
6	3.1.4	Luz	L_1 (metros)	7,8
6	3.1.5	Flecha	f_1 (metros)	2,52
6	3.1.6	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	63°
6	3.1.7	Directriz : flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	$2,52/7,8 = 1/3$
6	3.1.8	Ancho de pilas	B_{p1}	2,6
6	3.1.9	Altura peraltes desde el cimiento del arranque del arco	h_{p1} (metros)	3,12
6	3.1.10	Dovelas: canto	c_1 (metros)	0,55
6	3.1.11	grueso	e_1 (metros)	0,33
6	3.1.12	Cantidad de dovelas	n_1	27
6	3.1.13	Canto dovela / luz	c_1 / L_1	$0,55/7,8 = 1/14,18$
6	3.1.14	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	$2,6/7,8 = 1/3$
6	3.1.15	Estado de la bóveda	E_{b1}	Bien

Tabla 6.3. Detalles del arco primero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco carpanel de 3 centros con las tangentes verticales en los arranques, peraltado, donde se cumple que $\sigma_1 = 0,333 < 1/2$. En la clasificación de P.S. corresponde a un arco rebajado que da lugar a una bóveda de la serie E.

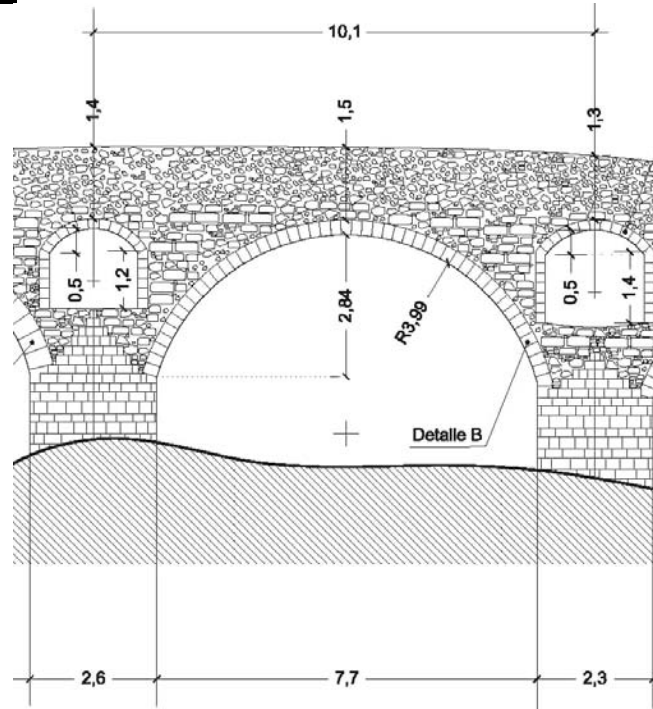
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 0,55/7,8 = 1/14,18$

Material de la bóveda 4e: fabrica de hormigón.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.2 Arco segundo



Dibujo 6.4 Arco segundo

6	3.2.1	Número de roscas		1
6	3.2.2	Radio	R_2 (metros)	3,99
6	3.2.3	Luz	L_2 (metros)	7,7
6	3.2.4	Flecha	f_2 (metros)	2,84
6	3.2.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	150°
6	3.2.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	2,84/7,7 = 1/2,71
6	3.2.7	Ancho de pilas	B_{p2}	2,6
6	3.2.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p2} (metros)	2,62
6	3.2.9	Dovelas: canto	c_2 (metros)	0,3
6	3.2.10	grueso	e_2 (metros)	0,2
6	3.2.11	Cantidad de dovelas	n_2	51
6	3.2.12	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	0,3/7,7 = 1/25,6
6	3.2.13	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	2,6/7,7 = 1/2,96
6	3.2.14	Estado de la bóveda	E_{b2}	pérdida de material

Tabla 6.4 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_2 = 0,369 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*, peraltada.

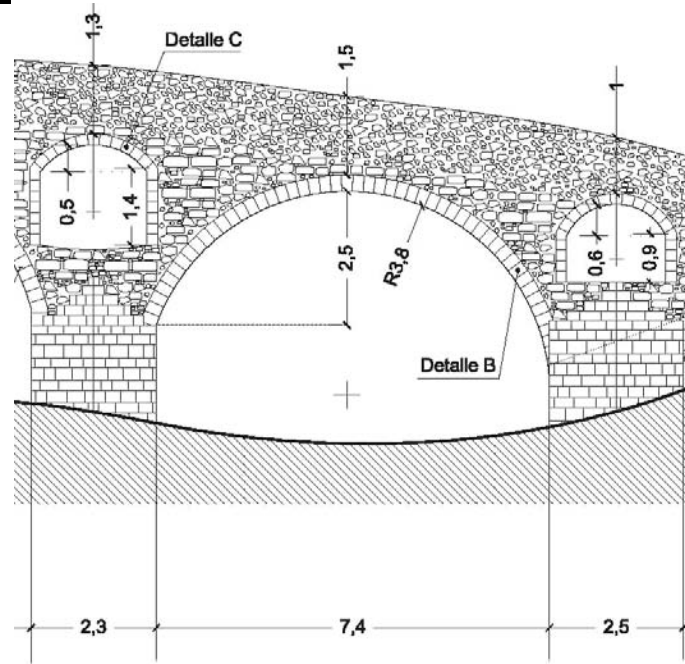
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_2 = 0,3/7,7 = 1/25,6$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.3 Arco tercero



Dibujo 6.5 Arco tercero

6	3.3.1	Número de roscas		1
6	3.3.2	Radio	R_3 (metros)	3,8
6	3.3.3	Luz	L_3 (metros)	7,4
6	3.3.4	Flecha	f_3 (metros)	2,5
6	3.3.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_3$	150°
6	3.3.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_3 = f_3 / L_3$	$2,5/7,4 = 1/2,96$
6	3.3.7	Ancho de pilas	B_{p3}	2,4
6	3.3.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p3} (metros)	2,25 y 1,62
6	3.3.9	Dovelas: canto	c_3 (metros)	0,3
6	3.3.10	grueso	e_3 (metros)	0,2
6	3.3.11	Cantidad de dovelas	n_3	49
6	3.3.12	Canto dovela / luz	c_3 / L_3	$0,3/7,4 = 1/24,6$
6	3.3.13	Relación ancho pila / luz	B_{p3} / L_3	$2,4/7,4 = 1/3$
6	3.3.14	Estado de la bóveda	E_{b3}	pérdida de material

Tabla 6.5 Detalles del arco tercero

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_3 = 0,337 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*, peraltada.

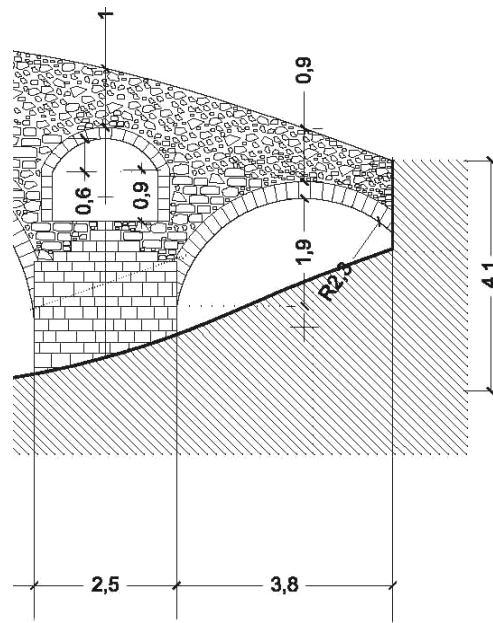
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltz del arco: Canto dovela / luz $c_3 / L_3 = 0,3/7,4 = 1/24,6$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.4 Arco cuarto



Dibujo 6.6 Arco cuarto

6	3.4.1	Número de roscas		1
6	3.4.2	Radio	R_4 (metros)	2,3
6	3.4.3	Luz	L_4 (metros)	3,8
6	3.4.4	Flecha	f_4 (metros)	1,125
6	3.4.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_4$	116°
6	3.4.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_4 = f_4 / L_4$	$1,125/3,8 = 1/3,3$
6	3.4.7	Ancho de pilas	B_{p4}	2,5
6	3.4.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p4} (metros)	0,4
6	3.4.9	Dovelas: canto	c_4 (metros)	0,3
6	3.4.10	grueso	e_4 (metros)	0,2
6	3.4.11	Cantidad de dovelas	n_4	15
6	3.4.12	Canto dovela / luz	c_4 / L_4	$0,3/3,8 = 1/12,6$
6	3.4.13	Relación ancho pila / luz	B_{p4} / L_4	$2,5/3,8 = 1/1,52$
6	3.4.14	Estado de la bóveda	E_{b4}	pérdida de material

Tabla 6.6 Detalles del arco cuarto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_4 = 0,303 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*, peraltada.

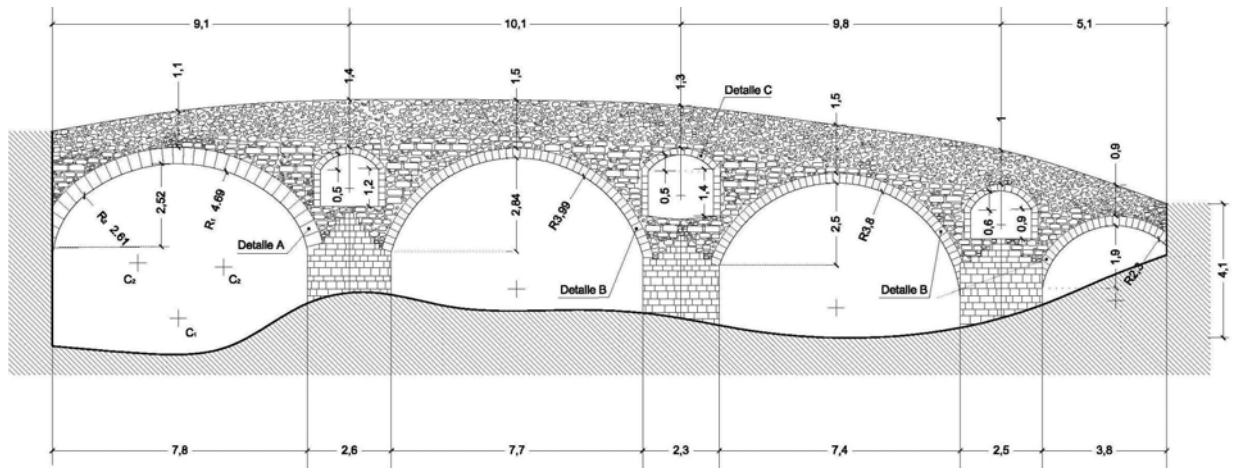
En función del diámetro, es un arco 2a (< 5 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_4 / L_4 = 0,3/3,8 = 1/12,6$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.5 Resumen de las características de los arcos



Dibujo 6.7 Alzado del puente

Arcos		Primero	Segundo	Tercero	Cuarto
Número de roscas		1	1	1	1
Radio	R_{1-4} (metros)	2,61 , 4,69 , 2,61	3,99	3,8	2,3
Luz	L_{1-4} (metros)	7,8	7,7	7,4	3,8
Flecha	f_{1-4} (metros)	2,52	2,84	2,5	1,125
Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_{1-4}$	63°	150°	150°	116°
Directriz : flecha/luz	$\sigma_{1-4} = f_{1-4} / L_{1-4}$	2,52/7,8 = 1/3	2,84/7,7 = 1/2,71	2,5/7,4 = 1/2,9	1,125/3,8 = 1/3,3
Ancho de pilas	B_{p1-4}	2,6	2,6	2,4	2,5
Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1-4} (metros)	3,12	2,62	2,25 y 1,62	0,4
Dovelas: canto	c_{1-4} (metros)	0,55	0,3	0,3	0,3
grueso	e_{1-4} (metros)	0,33	0,2	0,2	0,2
Cantidad de dovelas	n_{1-4}	27	51	49	15
Canto dovela / luz	c_{1-4} / L_{1-4}	0,5/7,8 = 1/15,6	0,3/7,7 = 1/25,6	0,3/7,4 = 1/24,6	0,3/3,8 = 1/12,6
Relación ancho pila / luz	B_{p1-4} / L_{1-4}	2,6/7,8 = 1/3	2,6/7,7 = 1/2,96	2,4/7,4 = 1/3	2,5/3,8 = 1/1,52
Estado de la bóveda	E_{b1-4}	Bien	pérdida de material	pérdida de material	pérdida de material

Tabla 6.7 Resumen de las características de los arcos

3.6. Características de los arquillos

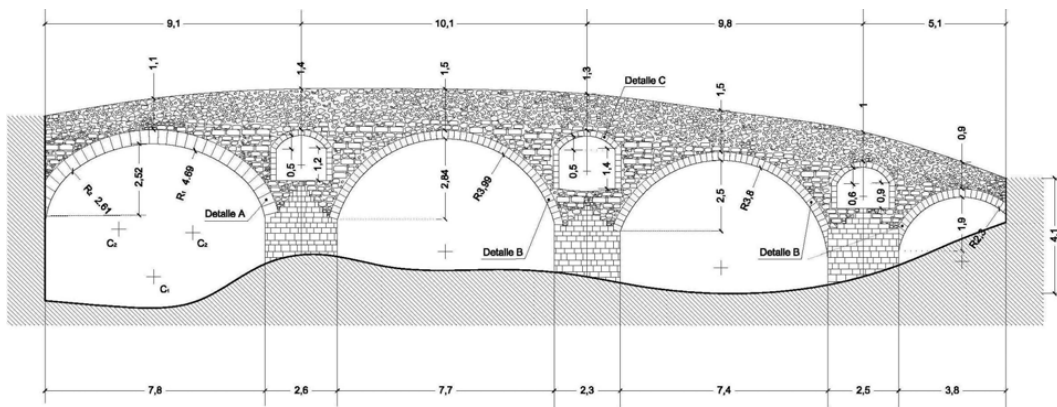
Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos

Arquillos	Primero	Segundo	Tercero
Número de roscas	1	1	1
Radio R_{1-2} (metros)	1	1	1
Luz L_{1-2} (metros)	1,75	1,87	1,45
Flecha f_{1-2} (metros)	0,5	0,5	0,6
Directriz : Flecha/luz $\sigma_{1-2} = f_{1-2} / L_{1-2}$	$0,5/1,75 = 1/3,5$	$0,5/1,87 = 1/3,7$	$0,6/1,47 = 1/2,4$
Altura peraltes h_{pa} (metros)	1,2	1,4	0,9

Tabla 6.8 Resumen de las características de los arquillos

4, 5 y 6. Características de las pilas, tajamares, estribos y terraplenes

Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos



6.8 Alzado del puente

4. Pilas	Primera	Segunda	Tercera
Dimensiones (largo x fondo)	2,6 x 2,92	2,3 x 2,92	2,5 x 2,92
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	$2,6/7,7 = 1/2,9$	$2,3/7,4 = 1/3,21$	$2,5/3,8 = 1/1,4$
Posible altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	3	3	3
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	$2,6/7,62 = 1/2,96$	-	-
Cimiento de la pila T_c	No visible	No visible	No visible
Base en la que se apoya el cimiento	No visible	No visible	No visible
Protección contra la erosión	-	-	-

Tabla 6.9 Características de las pilas

5. Tajamares	Primero	Segundo	Tercero
En la pila nº	1	2	3
Dimensiones	2,6 x 1,74	2,3 x 1,74	2,5 x 1,74
Altura desde cimiento	3	3	3
Forma de finalizar la altura	sombbrero escalonado	sombbrero escalonado	sombbrero escalonado
Dimensiones del espolón	No	No	No
Altura desde cimiento del espolón	No	No	No
Forma de finalizar la altura del espolón	No	No	No

Tabla 6.10 Características de los tajamares y espolones

6. Estribos (estimación)	Primero	Segundo
Dimensiones (largo x fondo)	encajado en urbanización	encajado en urbanización

Tabla 6.11 Características de los estribos

7. Sobre las reglas empíricas

Luz (m)	Canto (m)	Altura de pila (m)	Ancho de pila (m)
7,8	0,55	4	0
7,7	0,3	3,12	2,6
7,4	0,3	2,62	2,3
3,8	0,3	2,25	2,5
3,8	0,3	1,62	0

Tabla 6.12 Valores correspondientes al puente de Queralt.

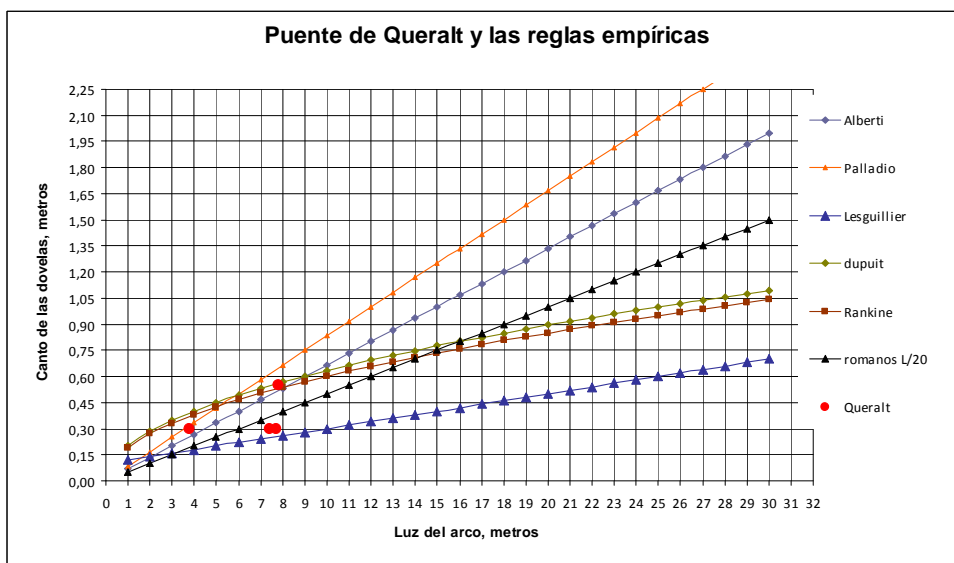


Gráfico 6.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Queralt

Se puede observar que el canto, c , de la bóveda menor se identifica con la regla desarrollada por Palladio. El resto de bóvedas son de tamaños muy similares, y los cantos de sus dovelas se aproximan bastante a la regla propuesta por Lesguillier, excepto la bóveda de 7,8 metros, en la que el canto de las dovelas se identifica con las regla de Albertí. Hay que recordar que el puente se construyó siglos antes de que aparecieran estas reglas.

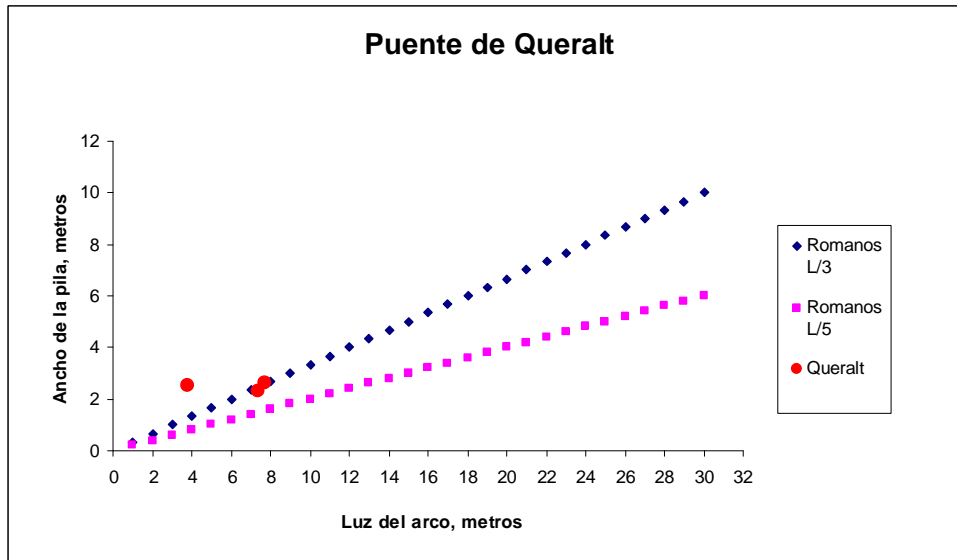


Gráfico 6.2 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Queralt

Del dibujo anterior se desprende que, a pesar de las modificaciones del refuerzo de las pilas que se efectuaron después de la gran avenida del 8 de octubre de 1863, básicamente las pilas guardan la relación 1/3 característica de las grandes construcciones de la época del Imperio Romano.

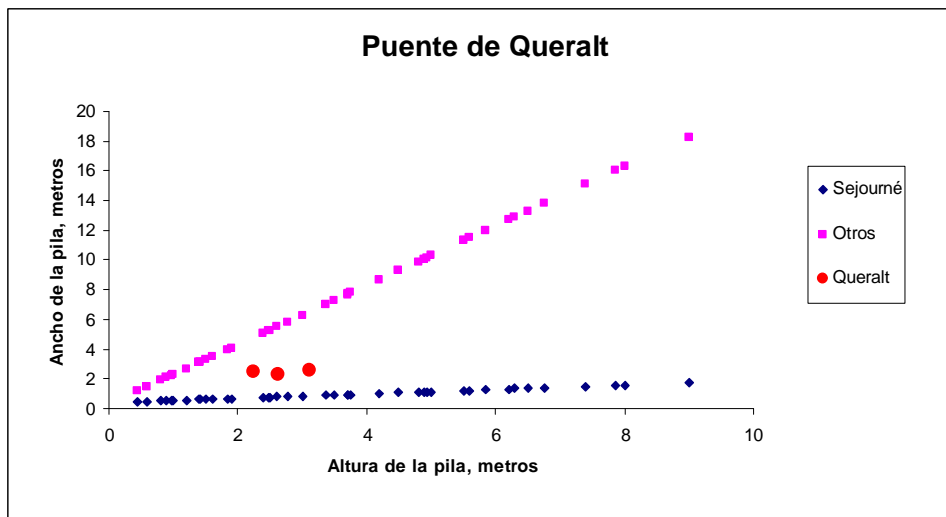


Gráfico 6.3 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Queralt.

Se puede deducir que no se encuentra una relación directa clara entre la altura de la pila y su ancho. Sí que es interesante considerar que los valores de este ratio están más cerca de los que propondrá Séjourné en el siglo XIX que otras reglas empíricas.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCs hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes y las excentricidades necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida en el interior de la boquilla de cada bóveda.

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 14,79% menores que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	216	0 y 0,3
Segunda	264	0 y 0
Tercera	220	1,15 y 1
Cuarta	330	0 y 1,2

Tabla 6.13 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	265	0,8 y 0,8
Segunda	590	0,8 y 0,8
Tercera	220	0,3 y 0,15
Cuarta	330	0,2 y 0,6

Tabla 6.14 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a ½ de la bóveda segunda.

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico:

Pila	Carga específica σ (N/mm²)
Primera	Encajado
Segunda	0,279
Tercera	0,270
Cuarta	0,252
Quinta	Encajado
Valor medio familia	0,286
Valor medio general	0,35313

Tabla 6.15 Valores de las cargas específicas que las pilas apoyan sobre los cimientos.

Si, como hemos hecho con los puentes anteriores, sustituimos la carga doble de 120 KN por la que representarían dos animales de carga, en paralelo, y cada uno de ellos con una carga total de 400 kg supondrían, si las distanciamos 2 metros, cargas puntuales de 4 KN que, para mantener el mismo recorrido de la línea de presiones, calculada para 120 KN, supondría un coeficiente de seguridad de 90.

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
En función del vano mayor: $> 5 < 10$ metros (2.b)
En función de la directriz: flecha /luz 1/2, 79
En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz 1/15,6
En función del material de la bóveda: fabrica de diversos materiales (4.d)
En función de las cargas máxima sobre el cimiento: 0,278 N/mm²
Y de los máximos empujes horizontales: 268KN
En función del tipo de cimentación: recinto de tablestacas (5.b)

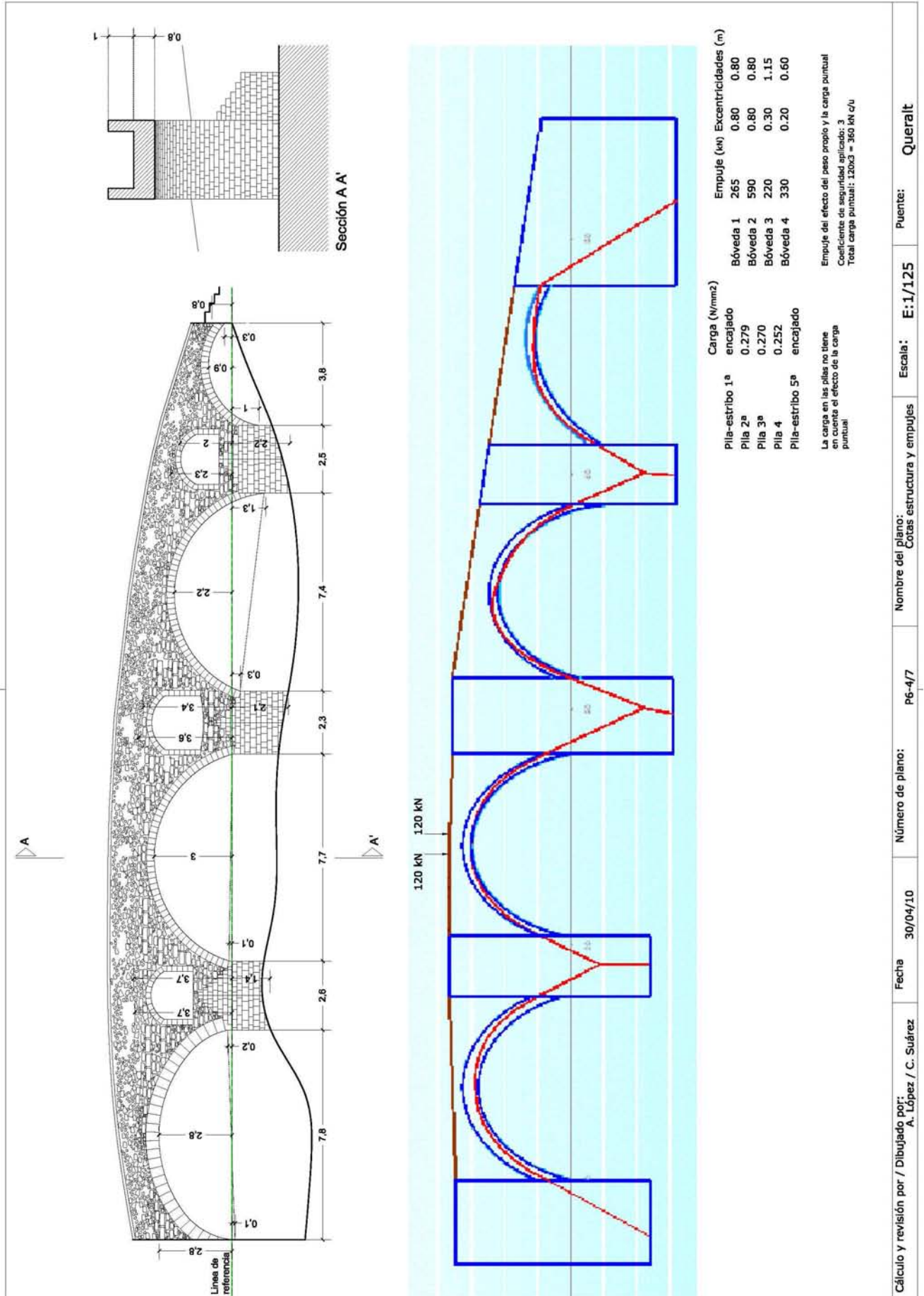
Las cuatro bóvedas: la más cercana al margen izquierdo es una bóveda de tres centros, las dos centrales son circulares poco rebajados con $\sigma \geq 0,288$. La cuarta, del mismo tipo pero cortada.

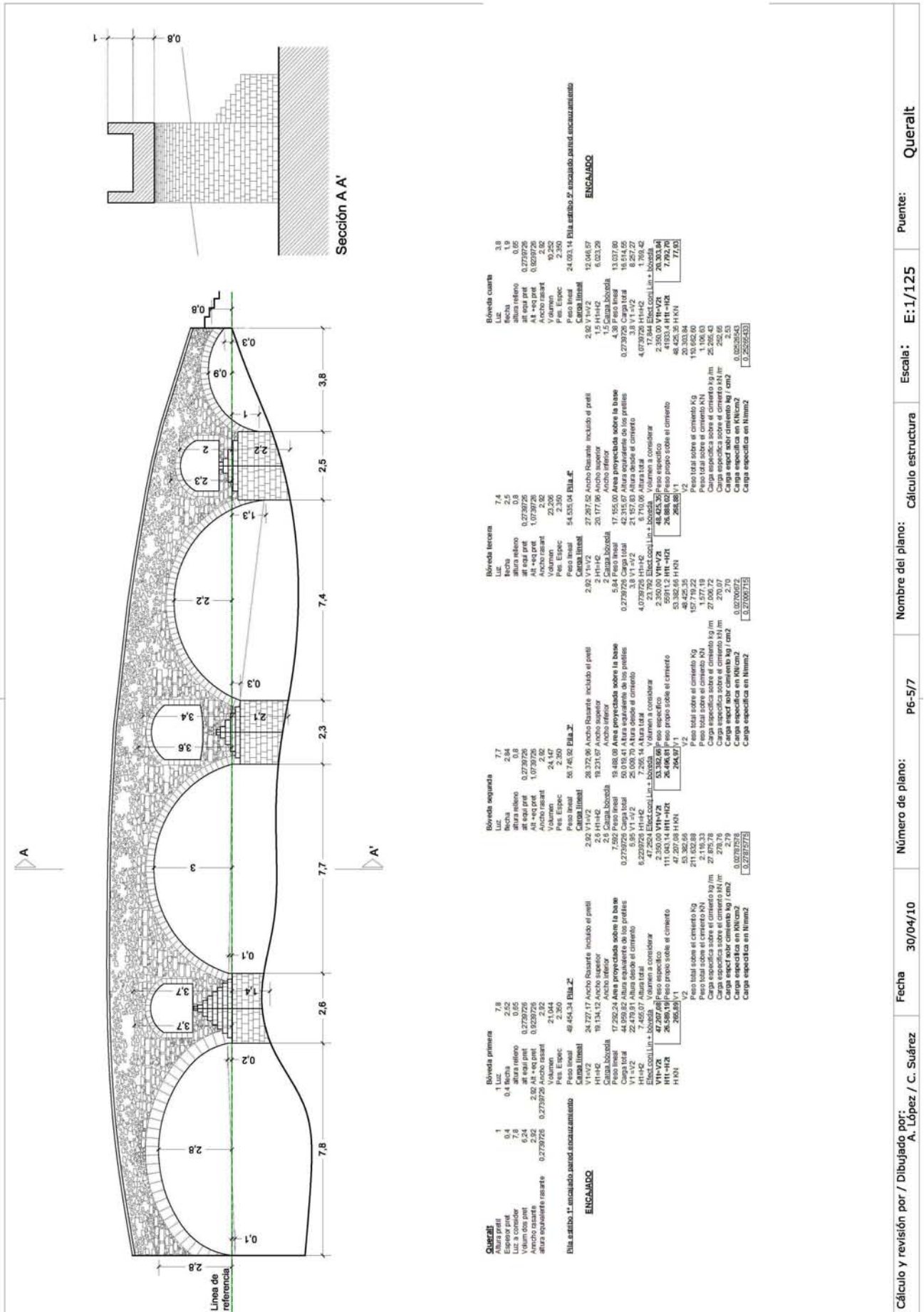
Cuadro 6.1 – Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

Dibujo 6.9 Plano P6 – 4/7 Recorrido de la línea de presiones, programa ARCs.

Dibujo 6.10 Plano P6 – 5/7 Tabla con el resumen del cálculo analítico del valor de los empujes.





Quercalt

1	1	Bóveda primera	7,8
0,4	0,4	Luz	0,52
7,4	7,4	Ancho superior	0,2739726
6,24	6,24	Alt. eq. pref.	0,9239726
2,92	2,92	Alt. + eq. pref.	2,302
0,2739726	0,2739726	Ancho rasante	2,302
		Alt. rasante	2,302
		Pes. Espec.	2,350

Pila estribo. 1.º encajado pared encaramiento

Peso total	49.454,34	Pila 2.º
H=16		
V1=V2		
24.727,17	17	Ancho Rasante incluido el pretil
19.134,12	12	Ancho superior
17.292,24	12	Área proyectada sobre la base
44.959,82	12	Área equivalente de los pretilles
22.479,91	12	Área desde el cimero
47.252,4	12	Volúmen a considerar
47.252,4	12	Elect. con Lin.+ bóveda
2.350,00	12	VH-V2
26.589,40	12	HI-H2
265,89	12	HN
111.003,14	12	HI-H2
26.496,81	12	Peso propio sobre el cimero
45.302,49	12	Peso propio sobre el pretil
211.632,89	12	Peso total sobre el cimero Kg
2.116,33	12	Peso total sobre el cimero KN
27.975,76	12	Carga específica sobre el cimero kg/m
270,40	12	Carga específica sobre el cimero KN/m
2,70	12	Carga espec sobr cimero kg / cm2
0,02706072	12	Carga específica en KNI/cm2
0,270672	12	Carga específica en t/m2

ENCAJADO

2,92	2,92	V1=V2
2,6	2,6	HI-H2
7,52	7,52	Peso total
0,2739726	0,2739726	Carga total
5,95	5,95	V1=V2
6,229	6,229	Elect. con Lin.+ bóveda
47.252,4	12	Volúmen a considerar
2.350,00	12	VH-V2
26.589,40	12	HI-H2
265,89	12	HN
111.003,14	12	HI-H2
26.496,81	12	Peso propio sobre el cimero
45.302,49	12	Peso propio sobre el pretil
211.632,89	12	Peso total sobre el cimero Kg
2.116,33	12	Peso total sobre el cimero KN
27.975,76	12	Carga específica sobre el cimero kg/m
270,40	12	Carga específica sobre el cimero KN/m
2,70	12	Carga espec sobr cimero kg / cm2
0,02706072	12	Carga específica en KNI/cm2
0,270672	12	Carga específica en t/m2

Bóveda segunda

7,7	7,7	Luz
0,4	0,4	Ancho superior
7,3	7,3	Alt. eq. pref.
6,13	6,13	Alt. + eq. pref.
1,0739726	1,0739726	Ancho rasante
2,92	2,92	Alt. rasante
2,302	2,302	Pes. Espec.

Pila estribo. 2.º encajado pared encaramiento

Peso total	50.746,92	Pila 2.º
H=16		
V1=V2		
28.372,96	17	Ancho Rasante incluido el pretil
19.271,97	17	Ancho superior
18.488,08	17	Área proyectada sobre la base
50.019,41	17	Área equivalente de los pretilles
25.009,70	17	Área desde el cimero
47.252,4	17	Volúmen a considerar
47.252,4	17	Elect. con Lin.+ bóveda
2.350,00	17	VH-V2
26.589,40	17	HI-H2
265,89	17	HN
111.003,14	17	HI-H2
26.496,81	17	Peso propio sobre el cimero
45.302,49	17	Peso propio sobre el pretil
211.632,89	17	Peso total sobre el cimero Kg
2.116,33	17	Peso total sobre el cimero KN
27.975,76	17	Carga específica sobre el cimero kg/m
270,40	17	Carga específica sobre el cimero KN/m
2,70	17	Carga espec sobr cimero kg / cm2
0,02706072	17	Carga específica en KNI/cm2
0,270672	17	Carga específica en t/m2

Bóveda tercera

7,4	7,4	Luz
0,4	0,4	Ancho superior
7,0	7,0	Alt. eq. pref.
5,84	5,84	Alt. + eq. pref.
1,0739726	1,0739726	Ancho rasante
2,92	2,92	Alt. rasante
2,350	2,350	Pes. Espec.

Pila estribo. 3.º encajado pared encaramiento

Peso total	54.035,04	Pila 2.º
H=16		
V1=V2		
27.267,52	17	Ancho Rasante incluido el pretil
20.177,06	17	Ancho superior
17.155,00	17	Área proyectada sobre la base
42.315,67	17	Área equivalente de los pretilles
21.157,83	17	Área desde el cimero
47.252,4	17	Volúmen a considerar
47.252,4	17	Elect. con Lin.+ bóveda
2.350,00	17	VH-V2
26.589,40	17	HI-H2
265,89	17	HN
111.003,14	17	HI-H2
26.496,81	17	Peso propio sobre el cimero
45.302,49	17	Peso propio sobre el pretil
211.632,89	17	Peso total sobre el cimero Kg
2.116,33	17	Peso total sobre el cimero KN
27.975,76	17	Carga específica sobre el cimero kg/m
270,40	17	Carga específica sobre el cimero KN/m
2,70	17	Carga espec sobr cimero kg / cm2
0,02706072	17	Carga específica en KNI/cm2
0,270672	17	Carga específica en t/m2

Bóveda cuarta

3,8	3,8	Luz
0,4	0,4	Ancho superior
3,4	3,4	Alt. eq. pref.
2,739726	2,739726	Alt. + eq. pref.
0,9239726	0,9239726	Ancho rasante
2,92	2,92	Alt. rasante
2,350	2,350	Pes. Espec.

Pila estribo. 4.º encajado pared encaramiento

Peso total	12.048,57	ENCAJADO
H=16		
V1=V2		
12.048,57	12	Ancho Rasante incluido el pretil
6.024,28	12	Ancho superior
4.38	12	Área proyectada sobre la base
13.037,80	12	Área equivalente de los pretilles
16.514,55	12	Área desde el cimero
8.257,27	12	Volúmen a considerar
17.644	12	Elect. con Lin.+ bóveda
20.303,84	12	VH-V2
41933,4	12	HI-H2
7.792,70	12	HN
77,93	12	HI-H2
10.662,90	12	Peso total sobre el cimero Kg
1.106,63	12	Peso total sobre el cimero KN
25.360,48	12	Carga específica sobre el cimero kg/m
250,48	12	Carga específica sobre el cimero KN/m
2,53	12	Carga espec sobr cimero kg / cm2
0,0253545	12	Carga específica en KNI/cm2
0,253545	12	Carga específica en t/m2

9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el plano P6 - 6/7 puede verse, además de los coeficientes de obturación en función del calado, una aproximación a la zona inundable.

En el plano indicado se pueden ver dos alzados del puente:

a) El superior corresponde al alzado del puente en la actualidad, alcanzando unos valores del coeficiente de obturación en función del calado, que oscilan entre el 12,92% y el 38,68%.

b) El inferior corresponde a la hipótesis del trazado original del puente cuando existían las murallas de la ciudad. Para este alzado, los valores de obturación estarían entre el 24,21% y 48,31%.

La pendiente actual del río en el tramo donde se localiza el puente es del 0,863%. Se puede considerar una zona de erosión.

Paralelo al puente y aguas abajo se encuentra el azud que, en años anteriores, se diseñó como aprovechamiento hidráulico para el molino situado a 1,5 km aguas abajo. En la actualidad este azud realiza una función como elemento de fijación de sedimentos bajo el puente.

El puente se sitúa en un tramo del río aguas abajo del puente del Remei, con el eje de su calzada perpendicular al eje del tramo del río donde se sitúa.

Datos relativos a la hidráulica del puente⁴

Cuenca Km²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m³/seg	Caudal punta T:500 m³/seg
81,24	63	0,414	155	202	266,8	483,6

Tabla 6.16 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente

⁴ Cálculos procedimiento "Máximas lluvias diarias en la España peninsular" del M. Fomento 2001

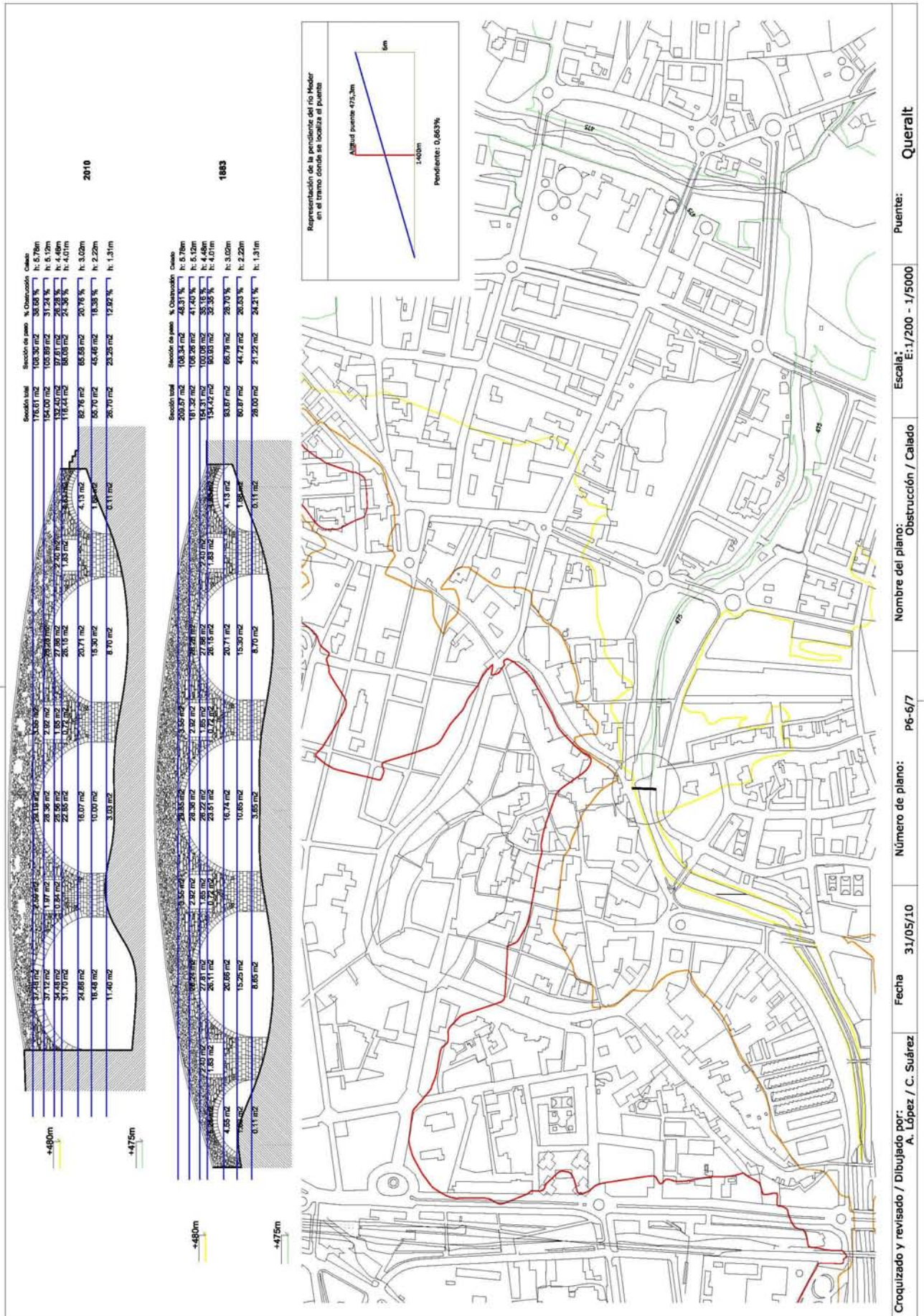
Considerando que la velocidad de la lamina de aguas se mantendrá a la misma velocidad de forma independiente al caudal (1,6 m/s)

1 Período retorno (años)	2 Caudal punta (m ³ /seg)	3 Velocidad agua (m/s)	4 Superficie equivalente total (m ²) (2/3=4)	5 Sección de paso del puente (m ²)	6 Sección suplementaria (m ²) (4-5=6)	7 Longitud del puente (m)	8 Altura equivalente agua (m) (6/7=8)
100	266,8	1,6	166,5	108,3	58,2	36	1,61
500	483,6	1,6	302,25	108,3	193,95	36	5,38

Tabla 6.17 Determinación del calado correspondiente a caudales punta para T=100 y T=500.

Para T=100, el calado es de 5,78 + 1,61 metros. Para T=500, es de 5,78 + 5,38 metros. En ambos casos el agua desbordaría el muro de contención y la mota. Si la velocidad del agua estimada es superior a la considerada, los efectos de la inundación, lógicamente, serían sensiblemente menores.

En la página siguiente: Dibujo 6.11 Plano P6 – 5/7 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.



Croquizado y revisado / Dibujado por: A. López / C. Suárez Fecha: 31/05/10 Número de plano: P6-6/7 Nombre del plano: Obstrucción / Calado Escala: E:1/200 - 1/5000 Puente: Queralt

10. Hechos históricos asociados con el puente

Puente de Queralt, de Sant Francesc o de la Calla

Conecta la calle de Sant Francesc con la rambla del Bisbat, y es el puente por el cual se entraba a Vic por el camino real de Barcelona a Puigcerdà, sobrepuesto a la primitiva vía romana de Ausa. También es llamado puente de las Tenerías, por su proximidad a este antiguo barrio de curtidores. Atraviesa el río Mèder y su origen se remonta a la época románica.

Su historia ha sido indagada por A. Pladevall, que nos la resume así: “se construyó avanzado el **XI** y se encontraba situado frente al antiguo portal de Queralt de las murallas de Vic. Sabemos que se restauró en 1472 al final de la guerra con Juan II, en 1769 se le rehizo una parte de la barandilla y en 1863, después del aguacero, fue necesario consolidar sus pilastras.”

“Poco después de 1840, con motivo de hacerse la carretera de ronda que rodea las murallas, se tapó y suprimió su arcada más próxima a la ciudad y finalmente hizo falta hacerle una arcada nueva después de la voladura parcial que tuvo lugar en 1939 al final de la Guerra Civil. A pesar de estas reformas y reconstrucciones, el puente conserva los rasgos medievales característicos de la época y tiene, como marco arquitectónico de fondo, incomparable, la catedral de Vic.

El puente que vemos hoy está construido con sillarejos de piedra colocados en hileras horizontales y la rasante dibuja dos ligeras pendientes hacia los estribos.

Consta de cuatro arcos de medio punto y de luces desiguales, con los tímpanos perforados por arquillos de desagüe, redondos. Los pilares tienen tajamares de perfiles triangulares y escalonados en el coronamiento, que llegan hasta la altura de los arquillos. Los antepechos están rehechos con mampostería común y bloques de piedra, igual que el pavimento y las escaleras de acceso que también son de bloques.

En los extremos, los antepechos se abren de manera divergente para facilitar el acceso, aguantados por trompas. El puente fue restaurado hace pocos años y convertido en paso exclusivo para peatones, por lo cual se construyeron rampas de madera para permitir el paso a todo el mundo.

A poca distancia aguas abajo del puente de Queralt, en 2005 se instaló una pasarela peatonal, de acero y vidrio, la estructura de la cual se resuelve con una gran arco parabólico. Popularmente se le conoce también como puente de las Tenerías, y fue proyectado dos años antes por el ingeniero Manel Pol Mas Joan.⁵



Imagen 6.11 *A la izquierda:* vista del puente desde el muro de encausamiento del lado izquierdo.

Imagen 6.12 *A la derecha:* puente a principios del siglo XX.

⁵ TLC *Ponts provincia de Barcelona*. Diputació de Barcelona y Archivo municipal de Manlleu.



Imagen 6.13 *A la izquierda:* el puente con una pasarela en sustitución del arco uno volado durante 1939 visto desde el aliviadero del azud.

Imagen 6.14 *A la derecha:* el puente y al fondo la catedral en la década de los años 50 del siglo XX visto desde el margen derecho y aguas abajo. En primer plano se puede distinguir el azud y la caída de agua por su aliviadero.



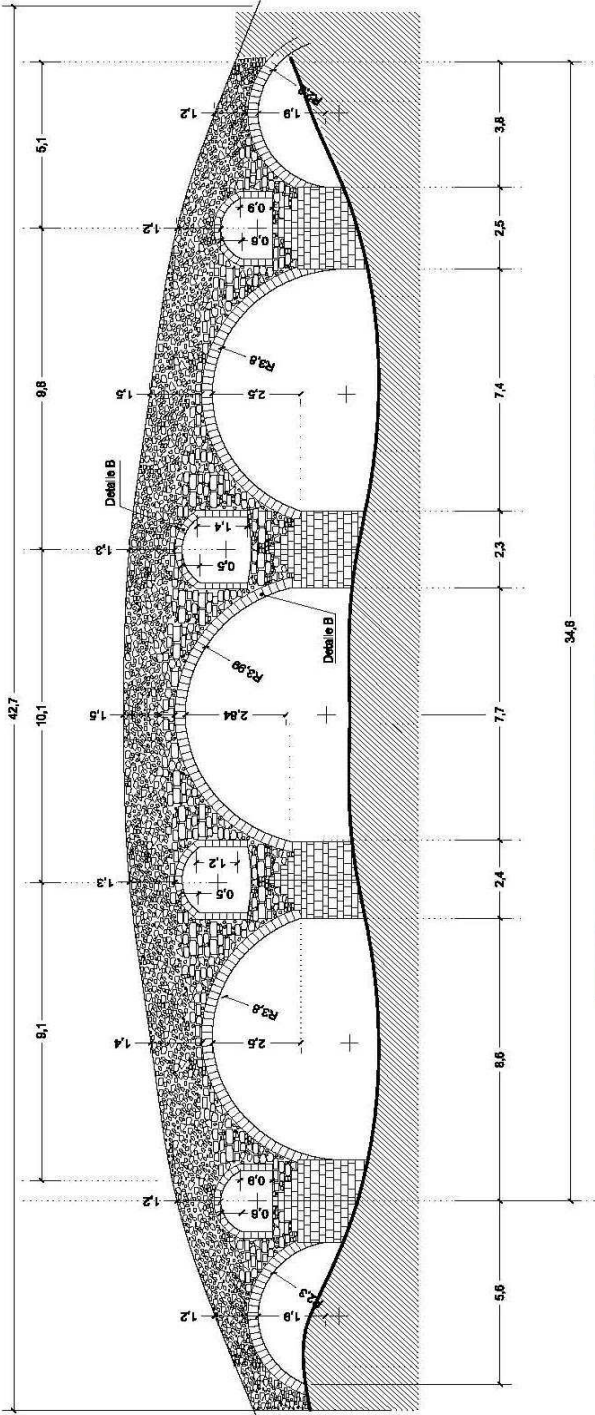
Imagen 6.15 *A la izquierda:* riada 1962 vista desde el margen derecho y aguas arriba.

Imagen 6.16 *A la derecha:* riada de 1962 desde el cauce del río aguas arriba.

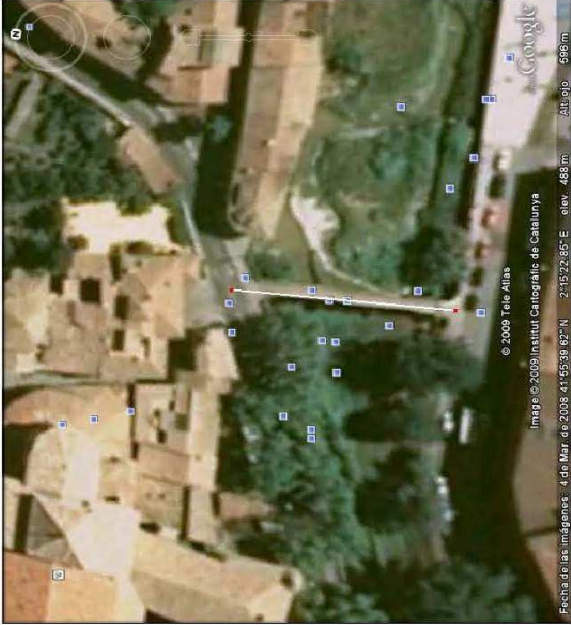
11. Hipótesis sobre las dimensiones originales del puente

En el Plano P6 – 3/7 se puede ver una representación en alzado del puente, en la época en la que existían las murallas de la ciudad, poco después de 1840. Por necesidades urbanísticas se remodelaron los dos arcos del margen izquierdo.

En la página siguiente: Dibujo 6.12 Hipótesis de las dimensiones originales del puente antes de su mutilación al eliminar las murallas de la ciudad.



Alzado



Croquizado y revisado por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 09/12/09	Número de plano: 1 de 3	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E:1/200	Puente: Queralt (Hipotesis)
---	-------------------	----------------------------	--	--------------------	----------------------------------

Puente del Bruguer

Séptimo puente: pont del Bruguer.

Sobre el río Gurri, afluente del Ter. Emplazado en el límite municipal de Vic y Folgueroles. Está formado por cinco arcos principales y cuatro arquillos de aligeramiento. Calzada con doble pendiente y una longitud de 80 metros. Su construcción se inició en 1348. Está declarado como monumento histórico artístico.



Imagen 7.1 Vista general del puente desde la orilla izquierda aguas arriba.

1. Localización

7	1.1	Denominación del puente	Pont de Bruguer
7	1.2	Cuenca del río	Ter
7	1.3	Comarca	Osona
7	1.4	Río	Gurri
7	1.5	Término municipal	Vic
7	1.6	Lugar	Calldetenes
7	1.7	Coordenadas geográficas	41° 56' 20,87" N 2° 16' 53,68" E
7	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 440103 y' 4643494
7	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar	460,4
7	1.10	Orientación	60° N-E

Tabla 7.1 Situación de la obra.

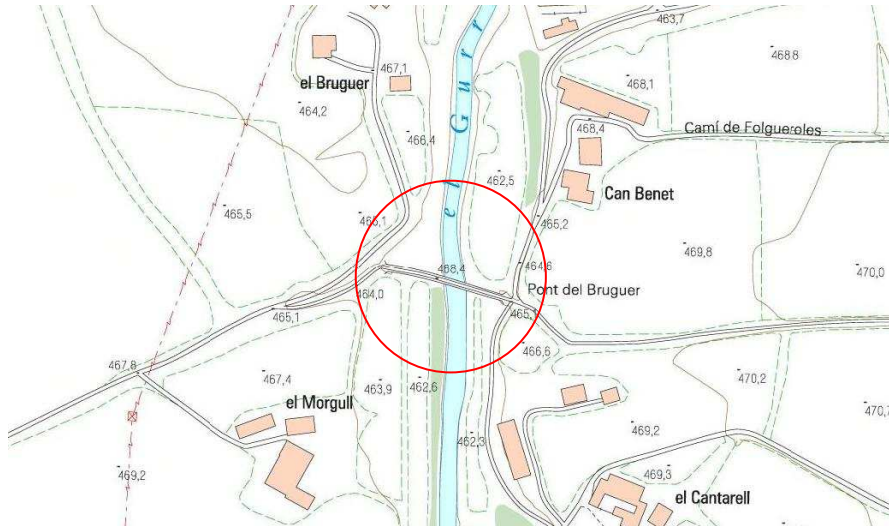


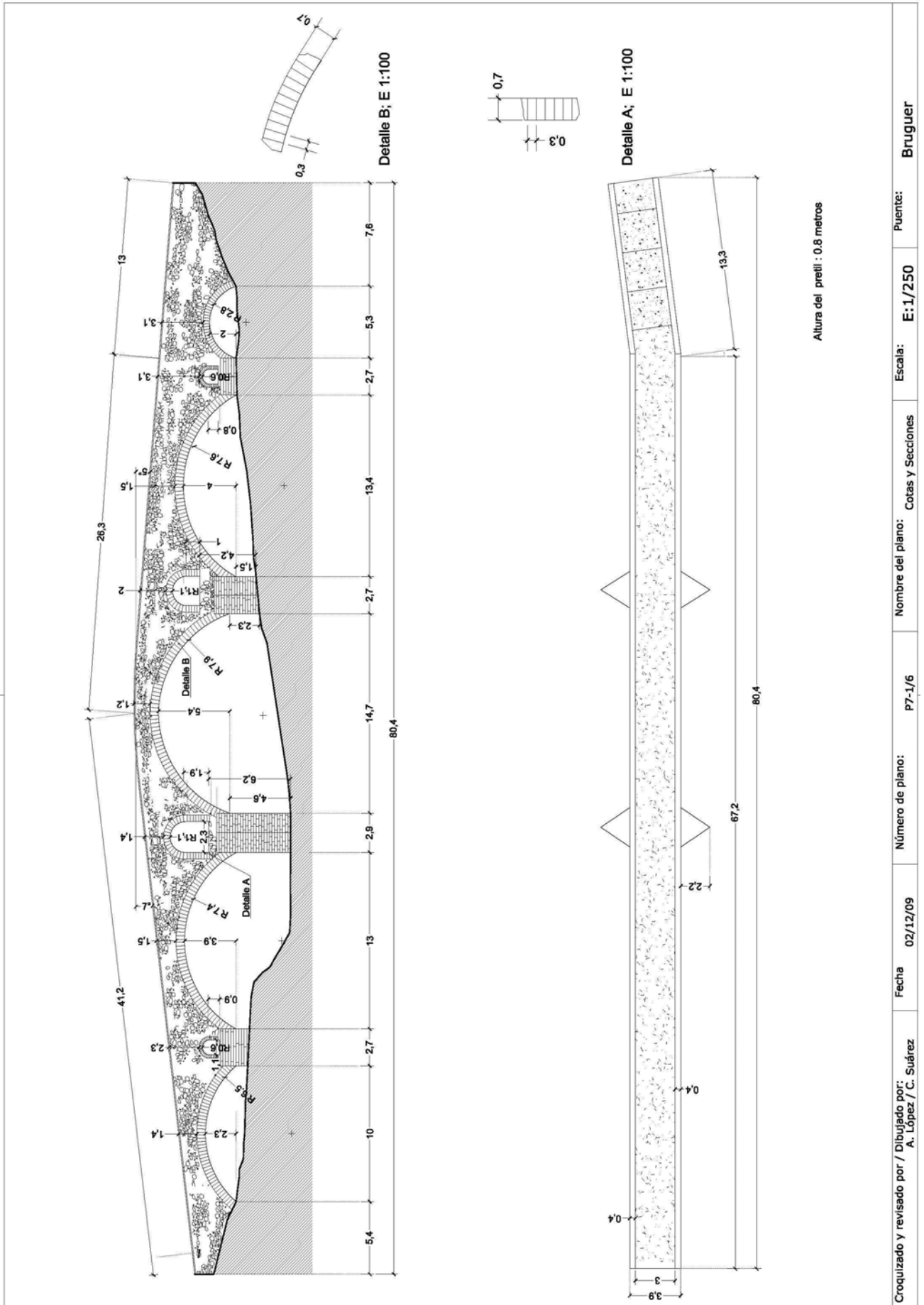
Imagen 7.2 Vista topográfica de la localización del puente.

2. Características generales

7	2.1	Número de arcos		5
7	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	3,5 - 14,7
7	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	$5,4/14,7 = 1/2,72$
7	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		4
7	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	9,72
7	2.6	Calzada con pendientes		doble pendiente
7	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	40
7	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	7°
7	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	38
7	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	5°
7	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	81,1
7	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	3,9
7	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	3
7	2.14	Espesor de los pretils	c_p (metros)	0,45
7	2.15	Altura de los pretils	h_{pr} (metros)	0,8
7	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		labrado ordinario
7	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	2,5 y 2,5
7	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	6
7	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		No

Tabla 7.2 Datos arquitectónicos.

En la página siguiente: Dibujo 7.0 Dimensiones fundamentales



Croquizado y revisado por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 02/12/09	Número de plano: P7-1/6	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E: 1/250	Puente: Bruguer
---	-------------------	----------------------------	--	---------------------	--------------------

El puente del Bruguer sobre el río Gurri afluente del Ter al que confluye antes del embalse de Sau.

Es uno de los puentes más característicos de la comarca de Osona, su nombre proviene de su cercanía con mas Brugué.¹

Su rasante en doble pendiente, con ángulos de 5° y 7°, tiene una proyección en planta ligeramente arqueada, con una longitud de algo más de 80 metros y con una anchura total de casi 4 metros. Está soportada por cinco bóvedas que cubren vanos de diferente longitud comprendidos entre los cinco y los quince metros.

Las cinco bóvedas están formadas por arcos de medio punto rebajados, no superando ninguno de ellos un ángulo de desarrollo entre los arranque superior a los 140°. Descansan sobre cuatro pilas, de las que sólo dos se encuentran en el cauce normal del río.



Imagen 7.3 A la izquierda: vista del puente desde el margen derecho y aguas abajo.

Imagen 7.4 A la derecha: boquilla del segundo arco

Las boquillas de las bóvedas presentan un valor del canto que puede no coincidir con las que forman las bóvedas. En una buena parte de ellas se observa el desgaste por erosión que ha hecho perder los vértices de las esquinas redondeándolos.

En las caras del intradós se observan zonas erosionadas y también con exfoliaciones importantes. Hay zonas en las que en operaciones de mantenimiento se han empleado morteros de cemento, que contrastan con las zonas más antiguas que emplearon morteros de cal.

Las pilas están construidas con sillares y con buena traba, las tensiones y el tipo de mantenimiento a las que se someten dejan ver pérdidas del mortero.

Todas tienen una anchura de 2,7 metros, valor que solo supera la pila segunda con 2,9 metros.

La pila segunda, contada desde el margen derecho, es la de mayor grosor, se sitúa sobre el eje del cauce de forma que aún con el mínimo caudal permanece bajo el nivel del agua. En estas condiciones puede verse la zona de asiento sobre la cota superior de su cimiento. La altura desde el cimiento al arranque es de 4,6 metros.

¹ TLC finca de Bruguer



Imagen 7.5 A la izquierda: pila con espolón, entre la bóveda dos y tres.



Imagen 7.6 A la derecha: pila con tajamar, entre las bóvedas dos y tres. Detalle del alojamiento de los puntales de la cimbra.

La cota superior de los arranque de las cinco bóvedas está situada sobre un mismo plano horizontal. Por el desnivel de las motas no es posible medir la altura real del resto de las pilas, en los planos indicamos la medida de las zonas visibles, aunque para los cálculos de la estructura hemos considerado valores mayores.



Imagen 7.7 Arcos cuarto y quinto y arquillos dos y tres.

Las pilas están terminadas en los laterales por tajamares y espolones de dimensiones iguales, son de base triangular que se elevan hasta superar el plano del arranque de los arcos y finalizan de forma plana. Las dimensiones de los pertenecientes a las pilas segunda y tercera son semejantes, los de las pilas extremas, que sólo con grandes avenidas permanecerán en contacto con el flujo de la corriente, son de menor tamaño.

Sobre el eje vertical de las pilas y, una vez finalizado la altura de tajamar, se localizan los elementos secundarios de la estructura: los cuatro arquillos de aligeramiento. Son de diferentes medidas, pero guardando la relación de su forma. La parte superior es siempre en forma de bóveda de medio punto, que descansa sobre los muros laterales, con una base horizontal, dejando un espacio entre ella y el plano superior al que llegan los tajamares.



Imagen 7.8 A la izquierda: detalle de la boquilla y de la formación del paramento de los tímpanos



Imagen 7.9 A la derecha: vista de la rasante des de la clave hacia el margen derecho.

Los paramentos de ambas caras son semejantes. Están formados por grandes cantos alineados sobre el plano de la cara externa y en contacto con el extradós visible que forma las boquillas de arcos y arquillos.

Los pretilos de protección de los transeúntes, de 0,8 metros de altura y 0,4 metros de grosor, están coronados con la albardilla, que se realiza con piedra trabajada a la medida del grueso del pretil.

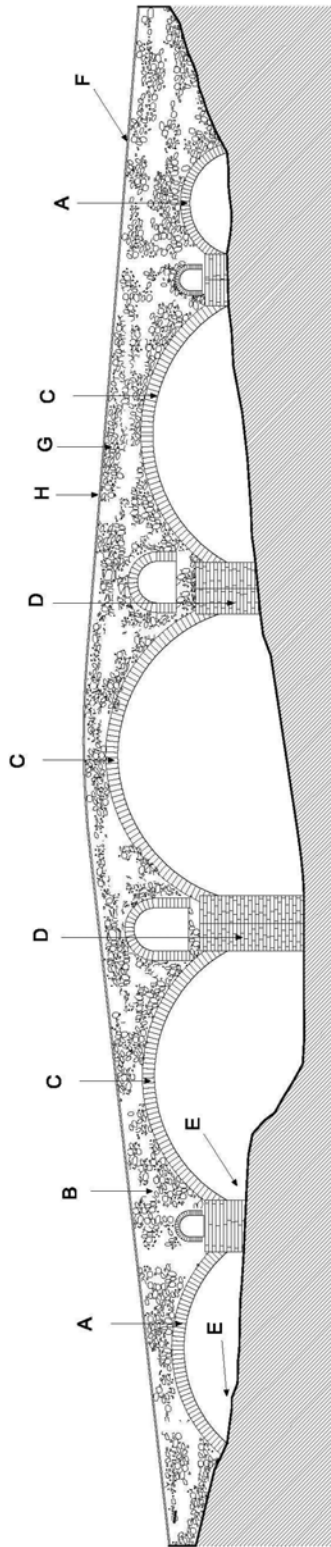
La calzada está rematada, también, como los paramentos, por la superficie que forman cantos alineados sobre una base de mortero y tierra apisonada.

Los terraplenes que ocultan a los estribos tienen una longitud entre los cinco y los ocho metros. Están adaptados al perfil de las motas que sirven de encauzamiento del río en esta zona.

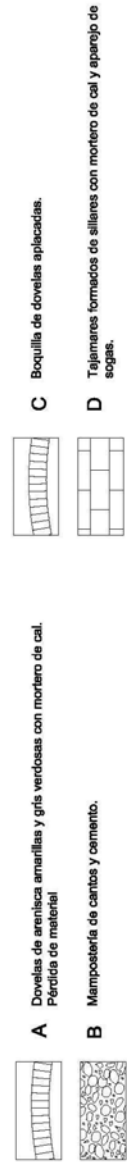
En las páginas siguientes:

Dibujo 7.1 Plano P7 – 2/6 Sobre la composición del paramento.

Dibujo 7.2 Plano P7 – 3/6 Detalles fotográficos.



Materiales que componen el paramento visto desde aguas abajo



E Aranque de los arcos sobre sillares de piedras areniscas. F Cabzada de cantos con mortero de cal. G Presti de cantos, mampostería, ripio y mortero de cemento. H Alberdilla de lijas labradas unidos con mortero de cemento.

1. Segundo arco, orilla derecha desde aguas abajo

2. Vista general desde aguas abajo

3. Tajamares, arquillos y arco principal

4. Arranque del segundo arco

5. Bóveda

6. Tajamar y arco principal, desde orilla derecha y aguas arriba

Fotografías por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 02/12/09	Número de plano: P7-3/6	Nombre del plano: Detalles fotográficos	Escala: E:1/250	Puente: Bruguer
---	-------------------	----------------------------	--	--------------------	--------------------

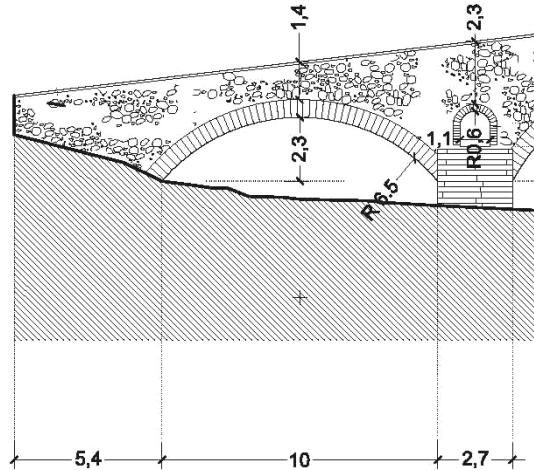
3. Geometría de la estructura

3.0 Características de los arcos

Vistos desde: aguas abajo

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1 Arco primero



Dibujo 7.3 Arco primero.

7	3.1.2	Número de roscas		1
7	3.1.3	Radio	R_1 (metros)	6,5
7	3.1.4	Luz	L_1 (metros)	10
7	3.1.5	Flecha	f_1 (metros)	2,3
7	3.1.6	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	123°
7	3.1.7	Directriz : flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	$2,3/10 = 1/4,3$
7	3.1.8	Ancho de pilas	B_{p1}	2,7
7	3.1.9	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1} (metros)	3,75
7	3.1.10	Dovelas: canto	c_1 (metros)	0,65
7	3.1.11	grueso	e_1 (metros)	0,26
7	3.1.12	Cantidad de dovelas	n_1	55
7	3.1.13	Canto dovela / luz	c_1 / L_1	$0,65/10 = 1/15,2$
7	3.1.14	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	$2,7/10 = 1/3,7$
7	3.1.15	Estado de la bóveda	E_{b1}	pérdida de material

Tabla 7.3. Detalles del arco primero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $0,288 > \sigma_1 = 0,2325 > 0,143$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco bastante rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A**.

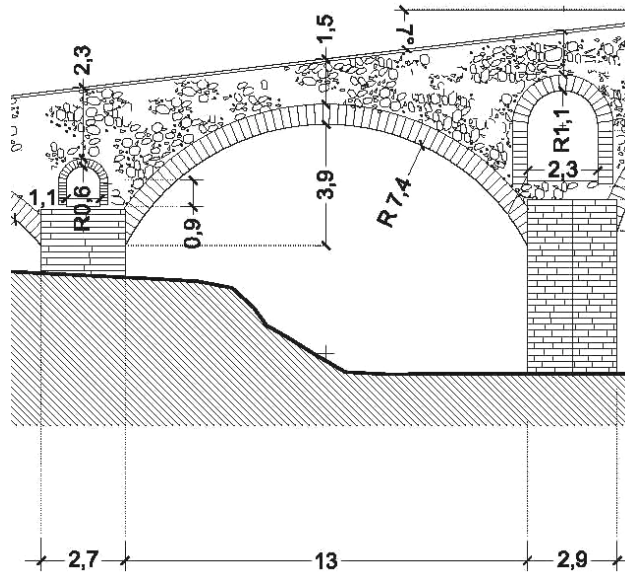
En función del diámetro, es un arco 2c (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 0,65/10 = 1/15,2$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.2 Arco segundo



Dibujo 7.4 Arco segundo.

7	3.2.1	Número de roscas		1
7	3.2.2	Radio	R_2 (metros)	7,4
7	3.2.3	Luz	L_2 (metros)	13
7	3.2.4	Flecha	f_2 (metros)	3,9
7	3.2.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	126,8°
7	3.2.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	3,9/13 = 1/3,3
7	3.2.7	Ancho de pilas	B_{p2}	3
7	3.2.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p2} (metros)	5
7	3.2.9	Dovelas: canto	c_2 (metros)	0,65
7	3.2.10	grueso	e_2 (metros)	0,26
7	3.2.11	Cantidad de dovelas	n_2	63
7	3.2.12	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	0,65/13 = 1/19,7
7	3.2.13	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	3/13 = 1/4,3
7	3.2.14	Estado de la bóveda	E_{b2}	pérdida de material

Tabla 7.4 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco peraltado, con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_2 = 0,303 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*.

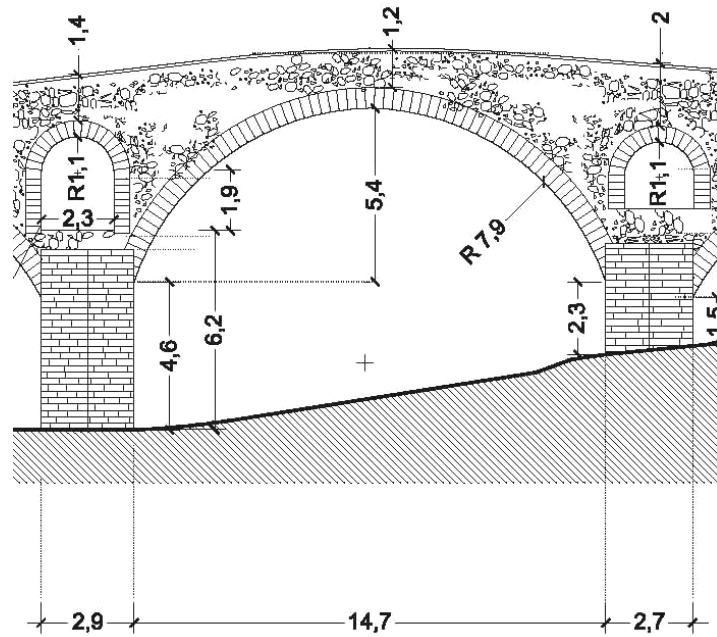
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_2 = 0,65/13 = 1/19,7$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.3 Arco tercero



Dibujo 7.5 Arco tercero.

7	3.3.1	Número de roscas		1
7	3.3.2	Radio	R_3 (metros)	7,9
7	3.3.3	Luz	L_3 (metros)	14,7
7	3.3.4	Flecha	f_3 (metros)	5,4
7	3.3.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_3$	$139,8^\circ$
7	3.3.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_3 = f_3 / L_3$	$5,4/14,7 = 1/2,7$
7	3.3.7	Ancho de pilas	B_{p3}	2,7
7	3.3.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p3} (metros)	5
7	3.3.9	Dovelas: canto	c_3 (metros)	0,65
7	3.3.10	grueso	e_3 (metros)	0,26
7	3.3.11	Cantidad de dovelas	n_3	75
7	3.3.12	Canto dovela / luz	c_3 / L_3	$0,65/14,7 = 1/22,3$
7	3.3.13	Relación ancho pila / luz	B_{p3} / L_3	$2,7/14,7 = 1/5,4$
7	3.3.14	Estado de la bóveda	E_{b3}	pérdida de material

Tabla 7.5 Detalles del arco tercero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_3 = 0,370 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*.

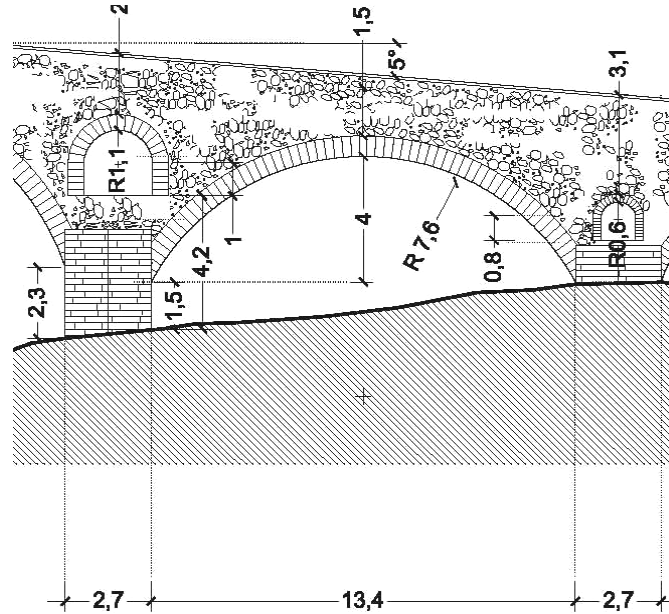
En función del diámetro, es un arco $2c$ (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_3 / L_3 = 0,65/14,7 = 1/22,3$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.4 Arco cuarto



Dibujo 7.6 Arco cuarto.

7	3.4.1	Número de roscas		1
7	3.4.2	Radio	R_4 (metros)	7,6
7	3.4.3	Luz	L_4 (metros)	13,4
7	3.4.4	Flecha	f_4 (metros)	4
7	3.4.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_4$	122°
7	3.4.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_4 = f_4 / L_4$	4/13,4 = 1/3,3
7	3.4.7	Ancho de pilas	B_{p4}	2,7
7	3.4.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p4} (metros)	4
7	3.4.9	Dovelas: canto	c_4 (metros)	0,65
7	3.4.10	grueso	e_4 (metros)	0,26
7	3.4.11	Cantidad de dovelas	n_4	63
7	3.4.12	Canto dovela / luz	c_4 / L_4	0,65/13,4 = 1/20,4
7	3.4.13	Relación ancho pila / luz	B_{p4} / L_4	2,4/13,4 = 1/5,58
7	3.4.14	Estado de la bóveda	E_{b4}	pérdida de material

Tabla 7.6 Detalles del arco cuarto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco peraltado, con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_4 = 0,303 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*.

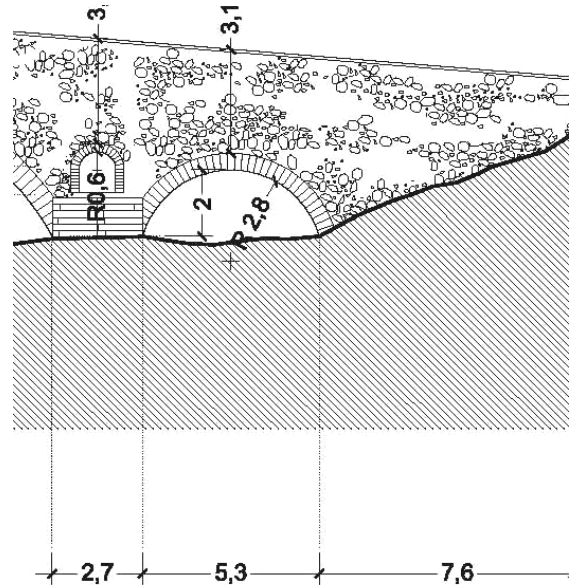
En función del diámetro, es un arco 2c (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltéz del arco: Canto dovela / luz $c_4 / L_4 = 0,65/13,4 = 1/20,4$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.5 Arco quinto



Dibujo 7.7 Arco quinto.

7	3.5.1	Número de roscas		1
7	3.5.2	Radio	R_5 (metros)	2,8
7	3.5.3	Luz	L_5 (metros)	5,3
7	3.5.4	Flecha	f_5 (metros)	2
7	3.5.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_5$	137°
7	3.5.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_5 = f_5 / L_5$	$2/5,3 = 1/2,6$
7	3.5.7	Ancho de pilas	B_{p5}	2,7
7	3.5.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p5} (metros)	3,7
7	3.5.9	Dovelas: canto	c_5 (metros)	0,65
7	3.5.10	grueso	e_5 (metros)	0,26
7	3.5.11	Cantidad de dovelas	n_5	25
7	3.5.12	Canto dovela / luz	c_5 / L_5	$0,65/5,3 = 1/8$
7	3.5.13	Relación ancho pila / luz	B_{p5} / L_5	$2,7/5,3 = 1/1,96$
7	3.5.14	Estado de la bóveda	E_{b5}	pérdida de material

Tabla 7.7 Detalles del arco quinto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco peraltado, con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_5 = 0,3846 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*.

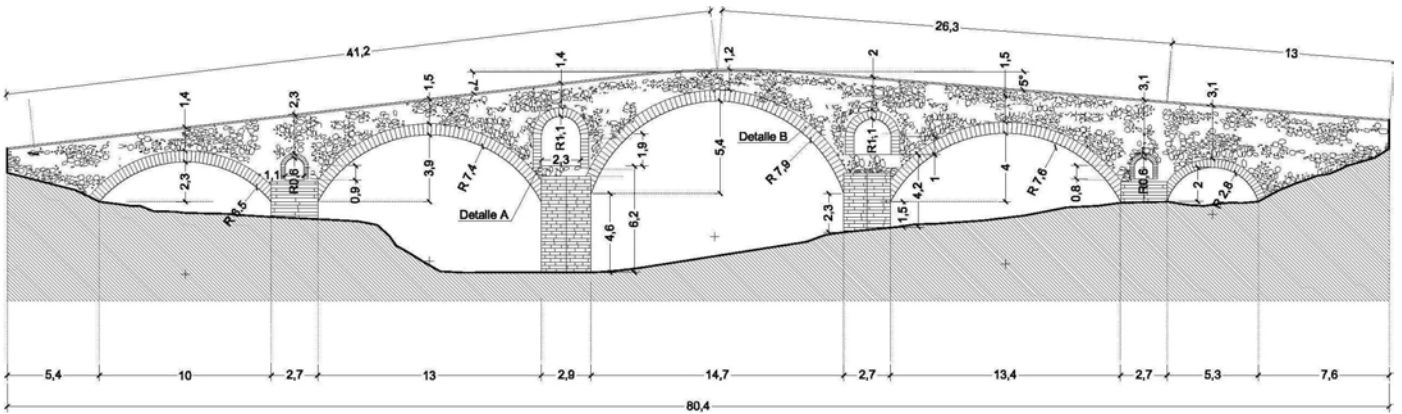
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_5 / L_5 = 0,65/5,3 = 1/8$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.6 Resumen de las características de los arcos



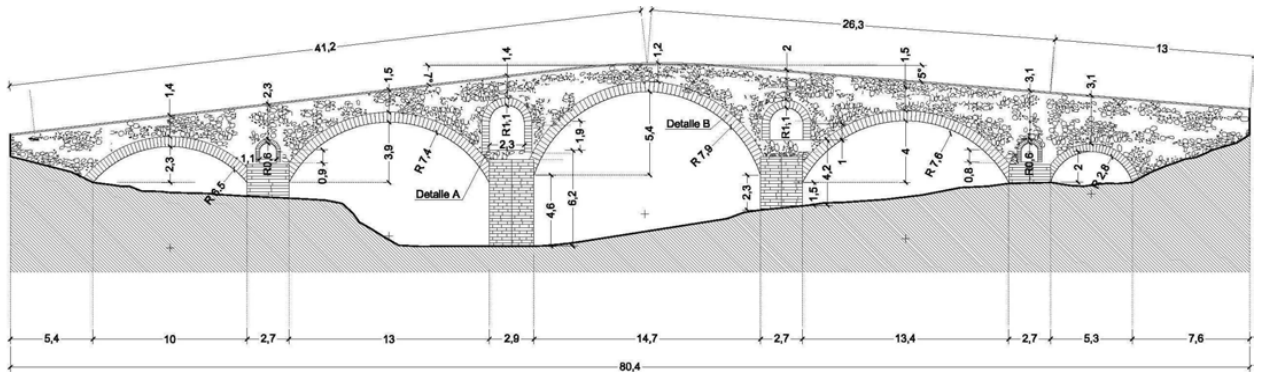
Dibujo 7.8 Alzado del puente.

<u>Arcos</u>	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Número de roscas	1	1	1	1	1
Radio R_{1-5} (metros)	6,5	7,4	7,9	7,6	2,8
Luz L_{1-5} (metros)	10	13	14,7	13,4	5,3
Flecha f_{1-5} (metros)	2,3	3,9	5,4	4	2
Ángulo de longitud de arco $2\alpha_{1-5}$	123°	126,8°	139,8°	122°	137°
Directriz : flecha/luz $\sigma_{1-5} = f_{1-5} / L_{1-5}$	2,3/10 = 1/4,3	3,9/13 = 1/3,3	5,4/14,7 = 1/2,7	4/13,4 = 1/3,3	2/5,3 = 1/2,6
Ancho de pilas B_{p1-5}	2,7	3	2,7	2,7	2,7
Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p1-5} (metros)	1	4,6	2,3	0	0
Dovelas: canto c_{1-5} (metros)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
grueso e_{1-5} (metros)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Cantidad de dovelas n_{1-5}	55	63	75	63	25
Canto dovela / luz c_{1-5} / L_{1-5}	0,65/10 = 1/15,2	0,65/13 = 1/19	0,65/14,7 = 1/22,3	0,65/13,4 = 1/20,4	0,65/5,3 = 1/8
Relación ancho pila / luz B_{p1-5} / L_{1-5}	2,7/10 = 1/3,7	3/13 = 1/4,3	2,7/14,7 = 1/5,4	2,4/13,4 = 1/5,58	2,7/5,3 = 1/1,96
Estado de la bóveda E_{b1-5}	pérdida de material	pérdida de material	pérdida de material	pérdida de material	pérdida de material

Tabla 7.8 Resumen de las características de los arcos.

4, 5 y 6. Características de las pilas, tajamares, estribos y terraplenes

Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos



Dibujo 7.9 Alzado del puente.

4. Pilas	Estribo 1º	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Estribo 2º
Dimensiones (largo x fondo)	2,5 x 3,9	2,7 x 3,9	2,9 x 3,9	2,7 x 3,9	2,7 x 3,9	2,5 x 3,9
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	$2,5/10 = 1/4$	$2,7/13 = 1/4,81$	$2,9/14,7 = 1/5,06$	$2,7/13,4 = 1/4,96$	$2,7/5,3 = 1/1,96$	$2,5/5,3 = 1/2,12$
Altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	-	-	4,6	2,3	-	-
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	-	-	$2,9/11,85 = 1/4,08$	-	-	-
Cimiento de la pila T_c	Posible tablestacas	Posible tablestacas	Posible tablestacas	Posible tablestacas	Posible tablestacas	Posible tablestacas
Base en la que se apoya el cimiento	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible
Protección contra la erosión	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible

Tabla 7.9 Características de las pilas.

5. Tajamares	Primero	Segundo
En la pila nº	2	3
Dimensiones	2,9 x 2,2	2,7 x 2,2
Altura desde cimiento	6,6	4,25
Forma de finalizar la altura	plano	plano
Dimensiones del espolón	igual que el tajamar	igual que tajamar
Altura desde cimiento del espolón	igual que el tajamar	igual que tajamar
Forma de finalizar la altura del espolón	igual que el tajamar	igual que tajamar

Tabla 7.10 Características de los tajamares y espolones.

6. Estribos (estimación)	Primero	Segundo
Dimensiones (largo x fondo)	2,5 x 3,7	2,5 x 3,7
Largo de estribo / luz del arco	$2,5/10 = 1/4$	$2,5/5,3 = 1/2,12$
Largo de estribo / luz mayor	$2,5/14,7 = 1/5,8$	$2,5/14,7 = 1/5,8$
Longitud del terraplén	5,4	7,8
Orientación del terraplén	eje del puente	10° en el sentido de aguas arriba respecto al eje del puente
Aleta de mantenimiento del terraplén	No	No

Tabla 7.11 Características de los estribos.

7. Sobre las reglas empíricas

Luz	Canto	Altura de pila	Ancho de pila
10	0,65	0	2,5
13	0,65	1	2,7
14,7	0,65	4,6	2,9
13,4	0,65	2,3	2,7
5,3	0,65	0	2,7
5,3	0,65	0	2,5

Tabla 7.12 Valores correspondientes al puente de Bruguer.

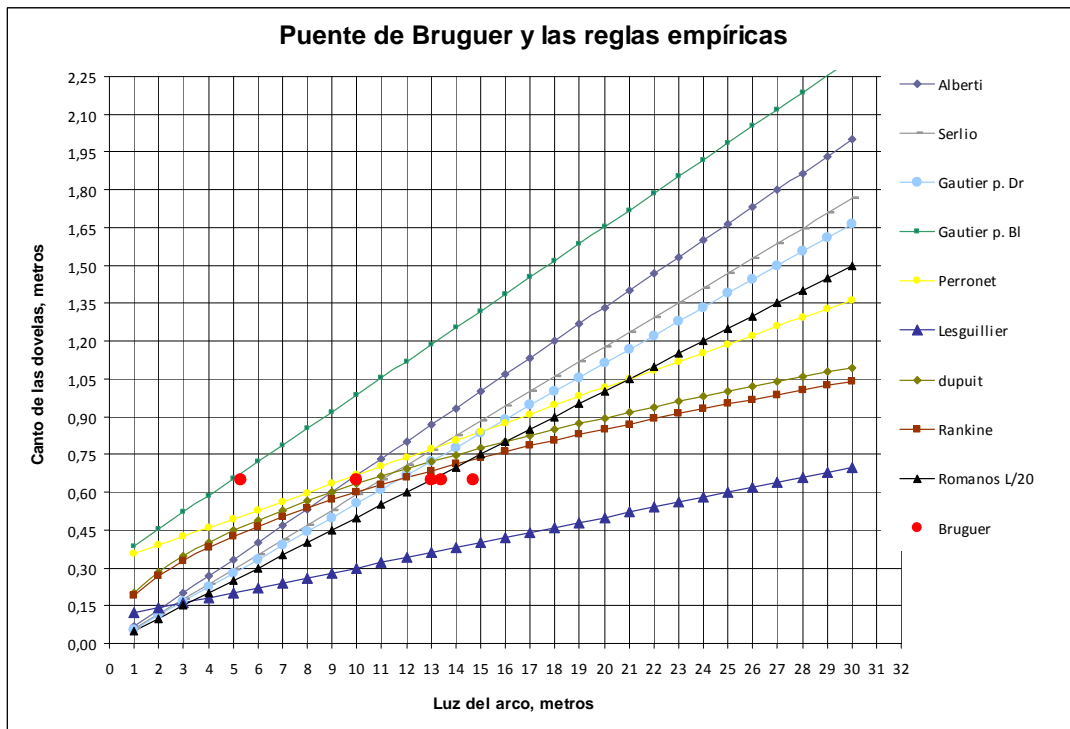


Gráfico 7.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Bruguer.

Se puede observar que el canto, *c*, de las dovelas de la bóveda menor se identifica con la regla desarrollada por Gautier para piedra blanda. Una segunda bóveda, de 10 metros de luz, contiene dovelas con el canto próximo a las reglas propuestas por Albertí. Los cantos de las dovelas de las tres bóvedas restantes quedan muy cerca de la regla utilizada en la época del Imperio Romano.

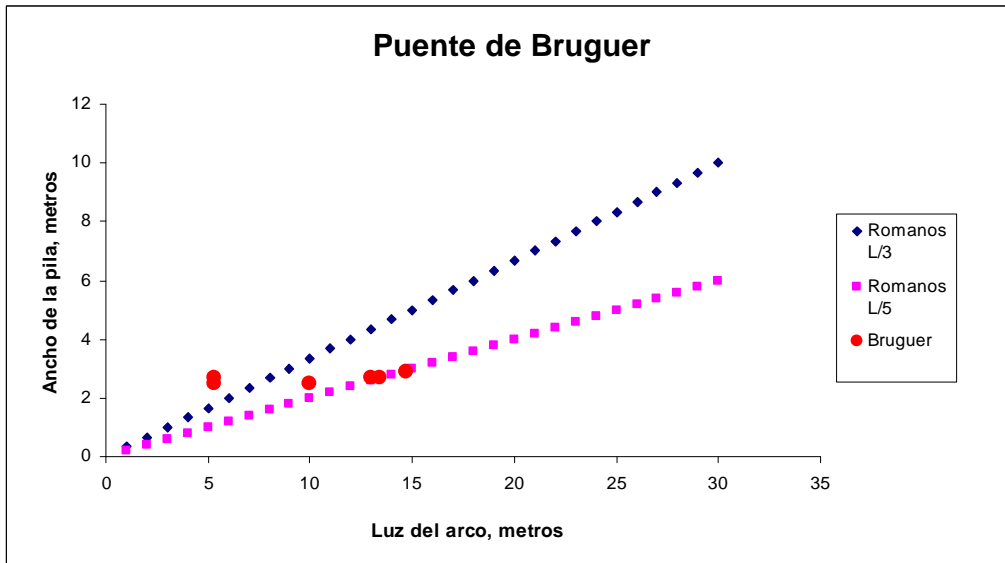


Gráfico 7.2 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Bruguer.

Por la observación del gráfico se deduce que el ancho de la pila respecto de la luz, mantiene dos relaciones, ambas procedentes del diseño que se efectuaba en las épocas romanas.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCS hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes y las excentricidades necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida en el interior de la boquilla de cada bóveda.

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 3,42% menores que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	670	0,4 y 0,3
Segunda	933	0,9 y 0,5
Tercera	800	0,8 y 0,7
Cuarta	1.121	0,4 y 0,5

Tabla 7.13 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	670	0,4 y 0,3
Segunda	933	0,9 y 0,5
Tercera	1.440	1,5 y 1,3
Cuarta	1.121	0,4 y 0,5

Tabla 7.14 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a $\frac{1}{2}$ de la bóveda tercera.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	800	0,7y 0,5
Segunda	1400	1,2 y 0,6
Tercera	950	1,5 y 1,3
Cuarta	1.171	0,7 y 0,9

Tabla 7.15 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a $\frac{1}{4}$ la bóveda segunda

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico:

Pila	Carga específica σ (N/mm ²)
Primera	0,132
Segunda	0,354
Tercera	0,478
Cuarta	0,5
Quinta	0,371
Valor medio familia	0,286
Valor medio general	0,35313

Tabla 7.16 Valores de las cargas específicas que las pilas apoyan sobre los cimientos

Como en los puentes anteriores, calculamos el coeficiente de seguridad que, posiblemente, correspondería a su función original. Para ello sustituimos la carga doble de 120 KN por otra formada por tres animales de carga, en paralelo, y cada uno de ellos con una carga total de 400 kg., con una distancia entre las patas de 2 metros. Esto supone cargas puntuales de 6 KN que, para mantener el mismo recorrido de la línea de presiones, calculada para 120 KN, nos da un coeficiente de seguridad de 60.

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
En función del vano mayor: $> 10 < 15$ metros (2.c)
En función de la directriz: flecha /luz 1/2,8
En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz 1/22,3
En función del material de la bóveda: sillería de piedra (4.a)
En función de las cargas máxima sobre el cimiento: $0,5 \text{ N/mm}^2$
Y de los máximos empujes horizontales: 1.121KN
En función del tipo de cimentación: recinto de tablestacas (5.d)

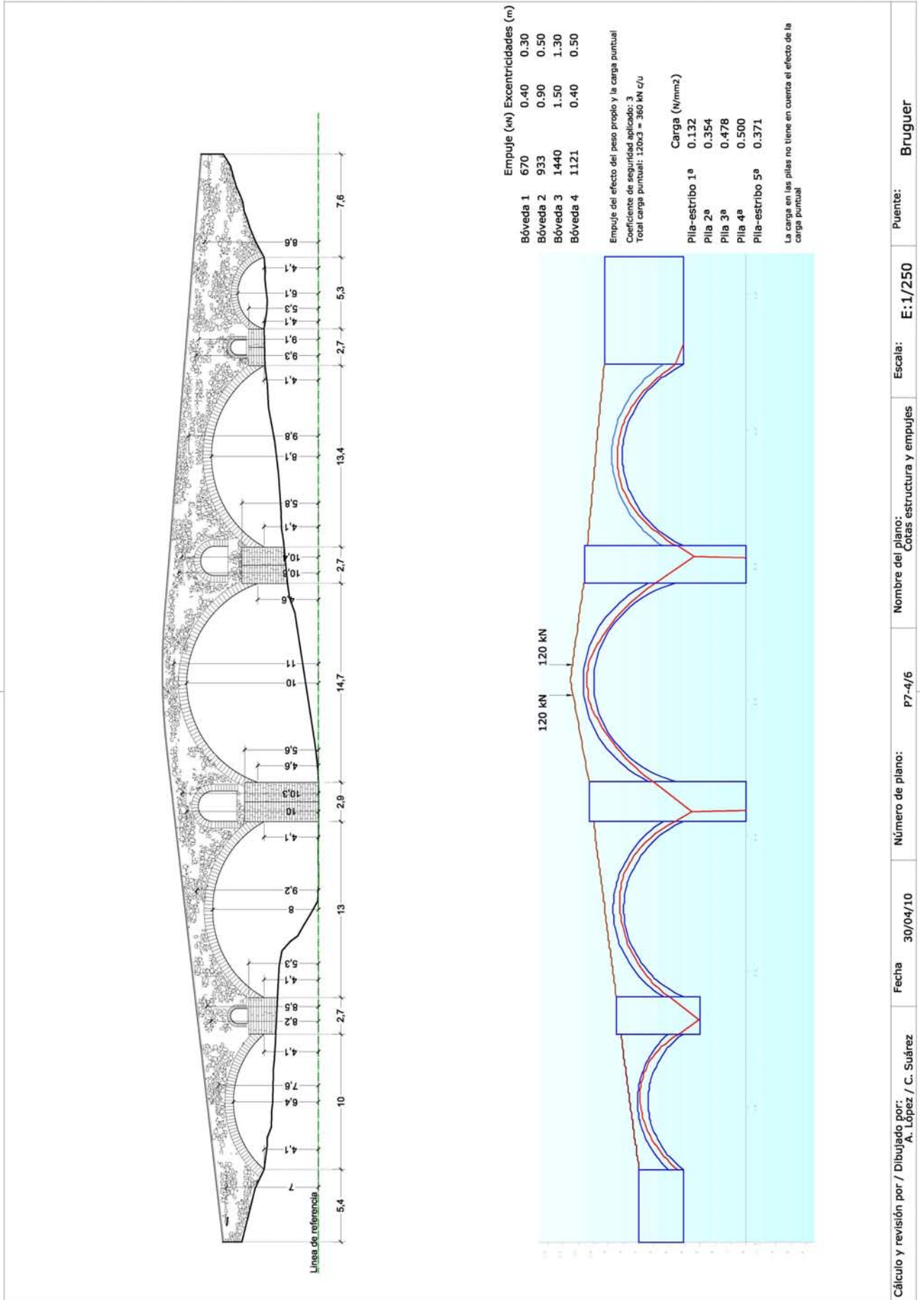
Las cinco bóvedas: la primera es medio punto bastante rebajada A** y las restantes son de medio punto poco rebajadas A*.

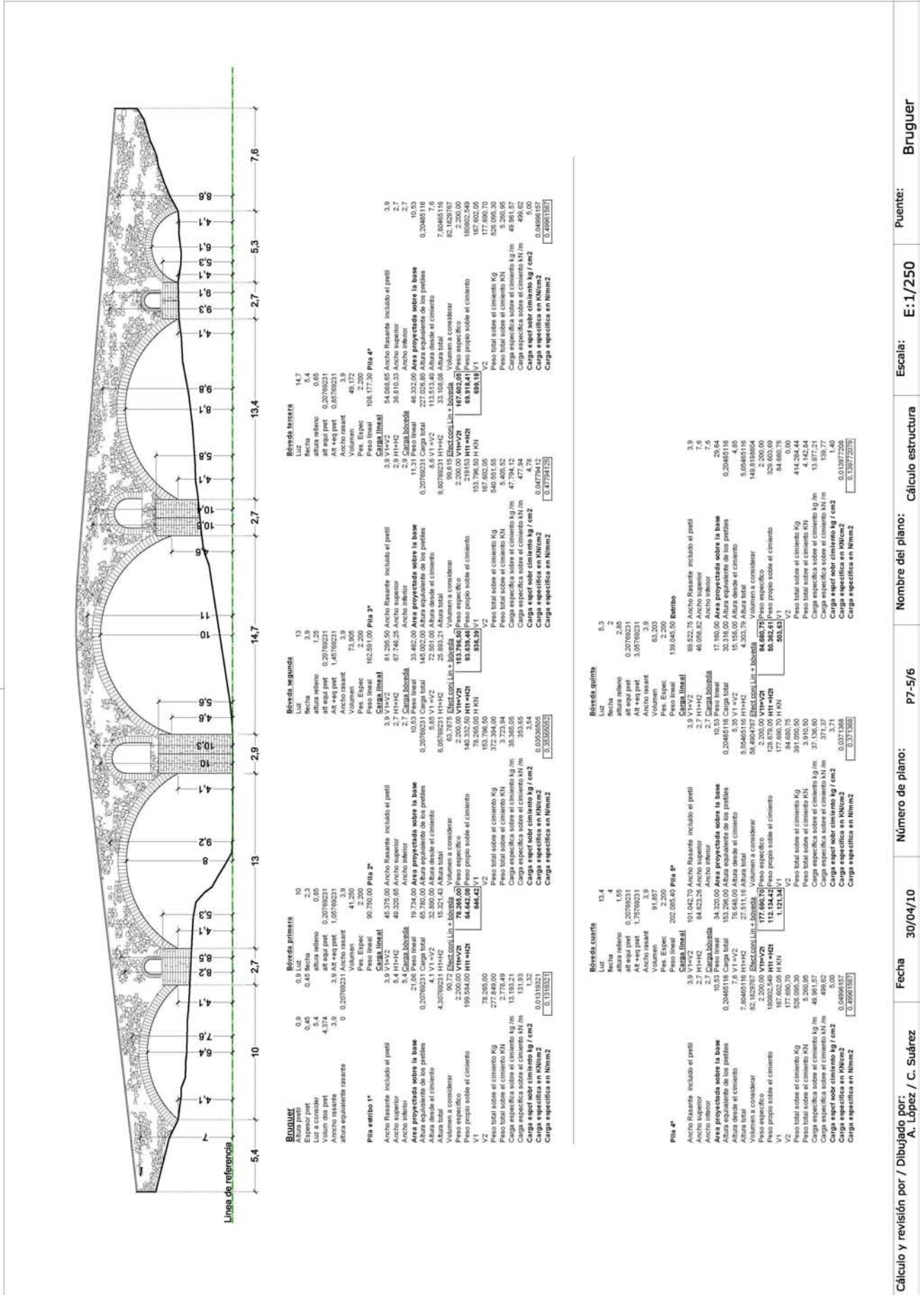
Cuadro 7.1 – Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

Dibujo 7.10 Plano P7 – 4/6 Recorrido de línea de presiones, programa ARCs.

Dibujo 7.11 Plano P7 – 5/6 Tabla con el resumen del cálculo analítico del valor de los empujes.





Bóveda primera

Luz	10
altura	7,6
altura silleno	0,45
alt equl pret	0,20769231
Alt +eq pret	1,05769231
Ancho insart	91,807
Pes. Espec	2,200

Pila estribo 1ª

Carga lineal	90,750,00
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	54,088,65
Carga específica sobre el cimiento M/m	36,810,33
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,46981957
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda segunda

Luz	13
altura	11,1
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	73,905
Ancho insart	73,905
Pes. Espec	2,200

Pila 2ª

Carga lineal	81,295,50
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	81,295,50
Carga específica sobre el cimiento M/m	67,746,25
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,86871412
Carga específica en N/mm2	0,86871412

Bóveda tercera

Luz	13,4
altura	14,7
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	49,172
Ancho insart	49,172
Pes. Espec	2,200

Pila 3ª

Carga lineal	104,777,30
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	54,088,65
Carga específica sobre el cimiento M/m	36,810,33
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,46981957
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda cuarta

Luz	13,4
altura	14,7
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	49,172
Ancho insart	49,172
Pes. Espec	2,200

Pila 4ª

Carga lineal	202,085,40
Peso lineal	202,085,40
Peso total sobre el cimiento KN	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento M/m	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	4,7734
Carga específica en N/mm2	0,30269231

Bóveda quinta

Luz	5,3
altura	7,6
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	3,05769231
Alt +eq pret	63,200
Ancho insart	63,200
Pes. Espec	2,200

Pila 5ª

Carga lineal	138,044,50
Peso lineal	138,044,50
Peso total sobre el cimiento KN	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento M/m	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	7,0465116
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda cuarta

Luz	13,4
altura	14,7
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	49,172
Ancho insart	49,172
Pes. Espec	2,200

Pila 4ª

Carga lineal	202,085,40
Peso lineal	202,085,40
Peso total sobre el cimiento KN	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento M/m	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	4,7734
Carga específica en N/mm2	0,30269231

Bóveda quinta

Luz	5,3
altura	7,6
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	3,05769231
Alt +eq pret	63,200
Ancho insart	63,200
Pes. Espec	2,200

Pila 5ª

Carga lineal	138,044,50
Peso lineal	138,044,50
Peso total sobre el cimiento KN	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento M/m	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	7,0465116
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda primera

Luz	10
altura	7,6
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	0,20769231
Alt +eq pret	1,05769231
Ancho insart	91,807
Pes. Espec	2,200

Pila estribo 1ª

Carga lineal	90,750,00
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	54,088,65
Carga específica sobre el cimiento M/m	36,810,33
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,46981957
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda segunda

Luz	13
altura	11,1
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	73,905
Ancho insart	73,905
Pes. Espec	2,200

Pila 2ª

Carga lineal	81,295,50
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	81,295,50
Carga específica sobre el cimiento M/m	67,746,25
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,86871412
Carga específica en N/mm2	0,86871412

Bóveda tercera

Luz	13,4
altura	14,7
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	49,172
Ancho insart	49,172
Pes. Espec	2,200

Pila 3ª

Carga lineal	104,777,30
Peso lineal	104,777,30
Peso total sobre el cimiento KN	54,088,65
Carga específica sobre el cimiento M/m	36,810,33
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	0,46981957
Carga específica en N/mm2	0,46981957

Bóveda cuarta

Luz	13,4
altura	14,7
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	1,45769231
Alt +eq pret	49,172
Ancho insart	49,172
Pes. Espec	2,200

Pila 4ª

Carga lineal	202,085,40
Peso lineal	202,085,40
Peso total sobre el cimiento KN	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento M/m	372,394,00
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	4,7734
Carga específica en N/mm2	0,30269231

Bóveda quinta

Luz	5,3
altura	7,6
altura silleno	0,20769231
alt equl pret	3,05769231
Alt +eq pret	63,200
Ancho insart	63,200
Pes. Espec	2,200

Pila 5ª

Carga lineal	138,044,50
Peso lineal	138,044,50
Peso total sobre el cimiento KN	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento M/m	540,951,50
Carga específica sobre el cimiento kg / cm2	7,0465116
Carga específica en N/mm2	0,46981957

9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el plano P7 – 6/6 puede verse una aproximación a la zona inundable para diferentes valores de calado y también, para cada uno de ellos, el coeficiente de obturación que oscila entre el 15,09% y el 51,79%.

La pendiente del río en el tramo donde se localiza el puente es del 0,428%.

La proyección de la planta del puente forma un ángulo de 78° con el eje del río.

Datos relativos a la hidráulica del puente²

Cuenca Km ²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m ³ /seg	Caudal punta T:500 m ³ /seg
179,51	63	0,414	155	202	539,5	1058,6

Tabla 7.17 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente .

Considerando que la velocidad de la lamina de aguas se mantendrá a la misma velocidad de forma independiente al caudal (1,6 m/s)

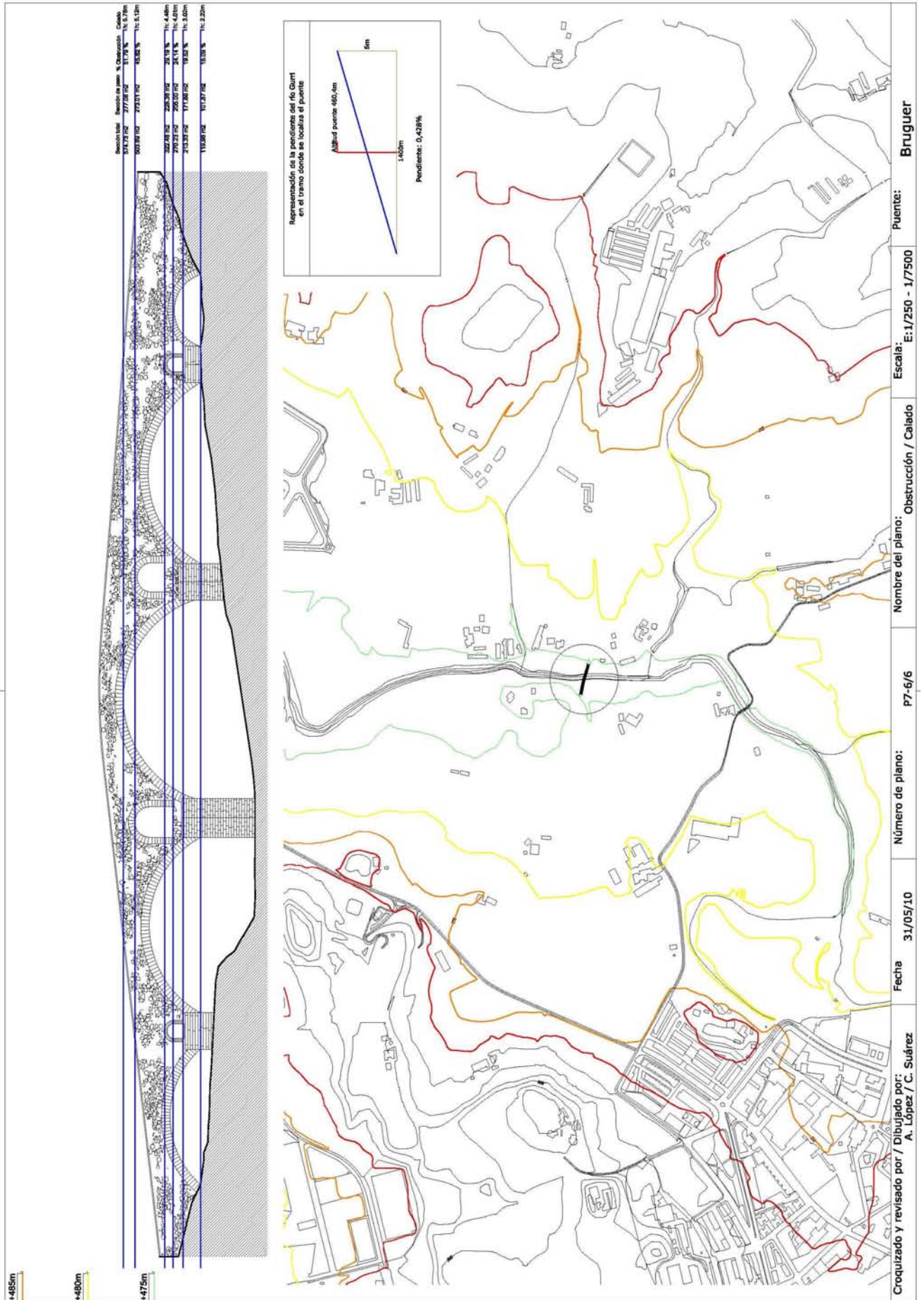
1 Período retorno (años)	2 Caudal punta (m ³ /seg)	3 Velocidad agua (m/s)	4 Superficie equivalente total (m ²) (2/3=4)	5 Sección de paso del puente (m ²)	6 Sección suplementaria (m ²) (4-5=6)	7 Longitud del puente (m)	8 Altura equivalente agua (m) (6/7=8)
100	539,5	1,6	337	277	60	80,4	0,74
500	1058	1,6	661	277	284	80,4	3,53

Tabla 7.18 Determinación del calado correspondiente a caudales punta para T=100 y T=500.

Ambos causarán desborde del río. En el caso de T=500, el puente podría llegar a quedar sumergido.

En la página siguiente: Dibujo 7.12 Plano P7 – 6/6 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.

² Cálculos procedimiento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” del M. Fomento 2001.



10. Hechos históricos asociados con el puente

“El puente de Bruguer, situado sobre el río Gurri, lindando entre Vic i Folgueroles, recibió ese nombre, ya secular, del cercano mas Bruguer. Hoy día solamente se utiliza para el paso de peatones pero, en su día, era utilizado para el paso de animales e incluso para carruajes ligeros. Algunos metros más arriba, atravesando el Cantarell, hay, actualmente, un puente nuevo, metálico, habilitado para el paso de cualquier tipo de vehículos.

Antiguamente era un lugar pintoresco y concurrido, ya que, cerca de allí, había una fuente y espesas arboledas. Ahora, a causa de la contaminación del río, por las curtidurías y aguas residuales de Vic, el lugar parece abandonado. El puente está a unos 25 minutos de la ciudad.

Las noticias históricas que nos llegaron son escasas. Sabemos que se inició su construcción el año 1348 y que, al poco tiempo, la obra se paralizó por obra y gracia de la peste, que asoló todo el occidente cristiano, también la Plana de Vic, a partir de julio y agosto del mismo año. La reconstrucción no se emprendió hasta pasados muchos años; finalmente, se inauguró en 1434. Desde entonces no se han hecho obras, de especial importancia, de restauración o consolidación, sólo pequeñas reparaciones, como la de las barandas, en 1819, como consta en los acuerdos municipales de Vic.

El puente de Bruguer era el puente que utilizaban los habitantes de Folgueroles, del levante de la Plana de Vic i de las Pre-Guilleries, para llegar a Vic, también fue el camino que tomaba Verdaguer para llegar a la ciudad. El puente de Bruguer da paso a los lugares “verdagerianos”, como la capilla de Sant Jordi y la fuente del Desmai.

La construcción de carreteras nuevas, con el consecuente abandono de los caminos viejos, son la causa del olvido progresivo del puente, que hace necesarias intervenciones para restaurar el pavimento, barandas y los muros laterales. La declaración de monumento histórico-artístico nacional, de la cual ha sido objeto, recientemente, el puente de Bruguer, permitirá y facilitará la restauración de todos los desperfectos que, a lo largo de los años, se han ido produciendo. Cabe esperar, entonces, que el puente de Bruguer pueda ser restaurado y conservado, con toda su belleza original, que permanece casi intacta, por el hecho de no haber sufrido modificaciones considerables a lo largo del tiempo.”³

“Se encuentra sobre el río Gurri, al límite de los términos municipales de Vic y Folgueroles, al camino viejo que iba hacia las Guilleries, en medio de un paraje de cultivos y de árboles de ribera. Solo se utiliza como paso de peatones y ciclistas, que circulan sobre una calzada empedrada y restaurada recientemente, en la parte correspondiente a Vic. Este tramo presenta un pavimento de adoquines, modulado por franjas transversales de piedras en resalte, y el resto, sin restaurar, de piedras y lozas. El puente se construyó en un tiempo dilatado, entre 1348 y 1434, a causa de la interrupción que supuso la epidemia de peste declarada poco después de iniciar las obras.

La única noticia de la época moderna que nos ha llegado es la que proporciona Francisco de Zamora en su *Diario de los viajes hechos en Cataluña*, el día 16 de agosto de 1787, cuando explica que pasó por el puente del Bruguer camino del castillo de Savassona y que era una buena obra.

Los antepechos y el pasamano se reforzaron en 1819, y en 1984, la Generalitat de Cataluña hizo una consolidación general del puente, un año después que fuese declarado monumento histórico – artístico.

Los tajamares son obra de sillería de buena factura, como las dovelas de los arcos, mientras que el resto está hecho con mampostería común de piedras y guijarros y el intradós de las bóvedas, con piedras alargadas sujetadas con mortero de cal. La directriz del puente no es totalmente recta, sino que al tramo de poniente hace un pequeño giro para adaptarse al trazado del camino.”⁴

³ Traducción del original en catalán. *El pont de Bruguer*. Antoni Pladevall. Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.

⁴ Traducción literal del libro de Pladevall



Imagen 7.10 A la derecha: vista desde aguas abajo a principios del siglo XX⁵



Imagen 7.11 A la derecha: vista desde aguas abajo a principios del siglo XX⁶

Imagen 7.12 A la izquierda: vista desde aguas arriba a principios del siglo XX⁷

⁵ Arxiu Comarcal de Osona

⁶ Arxiu Comarcal de Osona

⁷ Arxiu Comarcal de Osona

Puente de Malafogassa

Octavo puente: pont de Malafogassa.

Sobre la riera Major afluente del río Ter. En el término municipal de Vilanova de Sau. Unía el antiguo camino de Sant Hilari a Girona por Sant Andreu de Bancells. Está formado por un arco principal y otro secundario, ambos de medio punto. La calzada, tiene un tramo paralelo a la línea del agua y otro con pendiente, con una longitud total de 43 metros.



Imagen 8.1 Vista general del puente.

1. Localización

8	1.1	Denominación del puente	Malafogassa
8	1.2	Cuenca del río	Ter
8	1.3	Comarca	Osona
8	1.4	Río	Riera Major
8	1.5	Término municipal	Vilanova de Sau
8	1.6	Lugar	Malafogassa
8	1.7	Coordenadas geográficas	41° 56' 9,29" N 2° 24' 42,79" E
8	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 451348 y' 4643056
8	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar	442
8	1.10	Orientación	N-S

Tabla 8.1 Situación de la obra.



Imagen 8.2 Vista topográfica de la localización del puente.

2. Características generales

8	2.1	Número de arcos		2
8	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	11,3 - 18,9
8	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	$7,53/18,9 = 1/2,5$
8	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		No
8	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	11,44
8	2.6	Calzada con pendientes		simple pendiente
8	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	19,2
8	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	7°
8	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	24,1
8	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	0
8	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	43
8	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	2,76
8	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	2,16
8	2.14	Espesor de los pretils	c_p (metros)	0,3
8	2.15	Altura de los pretils	h_{pr} (metros)	0,64
8	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		mampuestos
8	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	2,85 y 4,7
8	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	4,7
8	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		No

Tabla 8.2 Datos arquitectónicos.

En la página siguiente: Dibujo 8.0 Plano P8 – 1/6 Medidas fundamentales.

Se trata de un puente de formas armoniosas, trazado sobre las cristalinas aguas de la riera Major afluente del Ter, que recoge las aguas de la cara oeste de las Guilleries.

Aguas abajo hay un azud, que permite mantener una cota de aguas mínima bajo el puente, lo cual realza su belleza y complementa la armonía del conjunto a su alrededor.

Su rasante tiene una longitud de 43 metros y una proyección en planta de 2,85 metros de ancho total. La calzada está formada por dos tramos, uno de ellos de 19 metros, con pendiente y el otro de 24 metros a nivel con la horizontal.



Imagen 8.3 A la izquierda: entrada al puente por el margen izquierdo.
Imagen 8.4 A la derecha: puente desde el acceso orilla izquierda

La entrada al puente por el margen izquierdo da a la calzada de mayor longitud. Al final de este tramo y formando un ángulo en descenso de 7° , comienza el otro tramo, el de menor longitud, que llega hasta el margen derecho del río.

La rasante está soportada por dos bóvedas circulares. La de mayor diámetro, de casi 19 metros y 7,5 de flecha, está rebajada y tiene un ángulo de desarrollo de 153° . Los arranques se elevan sobre unos peraltes dos metros de altura respecto a la línea de agua.

Las dovelas de su boquilla son de 0,53 metros de canto por 0,26 metros de grueso.

La bóveda menor, de casi 11,5 metros de luz, es de medio punto, cubre la zona del margen derecho, que es inundable. El terreno, en este margen, tiene un desnivel que hace que el arco tenga peralte solo en la zona de cota menor, la más cercana al río.

Las dovelas de la boquilla tienen un canto de 0,4 y un ancho de 0,2 metros, no están bien labradas. Da la impresión de ser piedras con los cantos redondeados.

Las boquillas de las dos bóvedas están formadas por dovelas de forma y tamaño regular. En cambio, la zona abovedada del intradós, aunque tiene una capa de mortero para homogenizar su superficie, se puede observar que el perfil de las piezas es diferente al de las empleadas para formar la boquilla, denotando una gran variedad de formas y tamaños.

Sobre el cauce se sitúa la pila central de 2,5 metros de grueso. Por la parte de aguas arriba, cuenta con un tajamar de base triangular coincidente con el grueso del pilar. El tajamar se eleva desde la cota posible del cimiento 4,26 metros, finalizando en un sombrero escalonado.



Imagen 8.5 A la izquierda: pila central desde aguas abajo y detalle del espolón.
Imagen 8.6 A la derecha: pila estribo margen izquierdo visto desde aguas abajo.

El paramento está mayoritariamente formado por hiladas de sillarejos con un mínimo de labrado, de medidas irregulares, con una traba que tampoco sigue una ley uniforme, y en las que se cuentan bastantes piezas de ripio y de lajas. El paramento da la impresión de ser de piedra seca, ya que no se observan juntas con ningún tipo de aglomerante.

La calzada cuenta con pretilos de 0,66 metros de altura y un grueso de 0,3 y 0,219 metros.

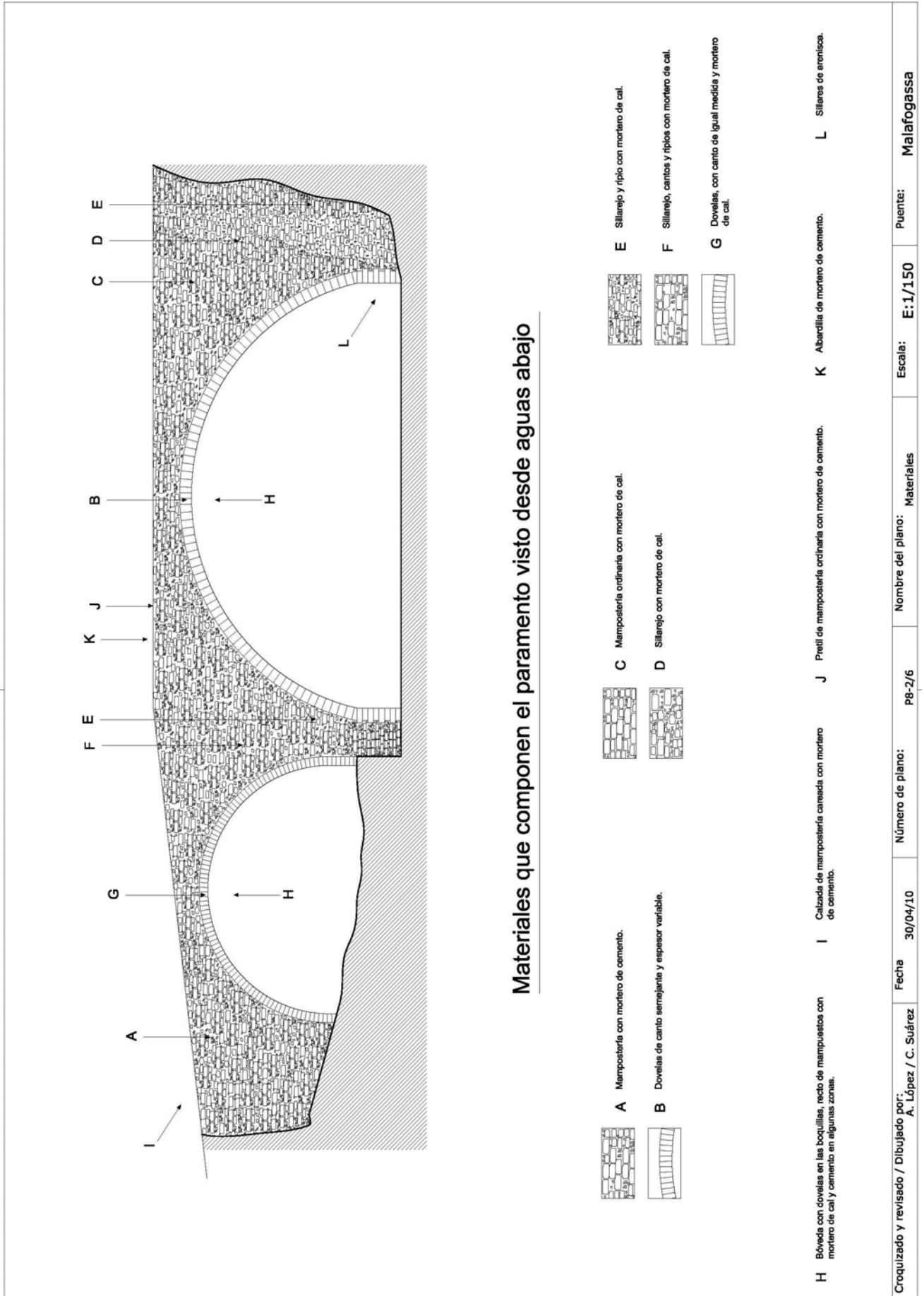


Imagen 8.7 Paramento de la zona entre bóvedas visto desde aguas abajo

En las páginas siguientes:

Dibujo 8.1 Plano P8 – 2/6 Sobre la composición del paramento.

Dibujo 8.2 Plano P8 – 3/6 Detalles fotográficos.



1. Paramento y arcos desde la orilla izquierda

2. Vista general desde aguas abajo

3. Calzada desde la orilla izquierda

4. Arranque y bóveda de la orilla izquierda

5. Paramento entre los arcos desde la orilla derecha

6. Espolón orilla derecha aguas abajo

Fotografías por / Dibujado por: A. López / C. Suárez

Fecha 30/04/10

Número de plano: P8-3/6

Nombre del plano: Detalles fotográficos

Escala: E:1/150

Puente: Malafogassa

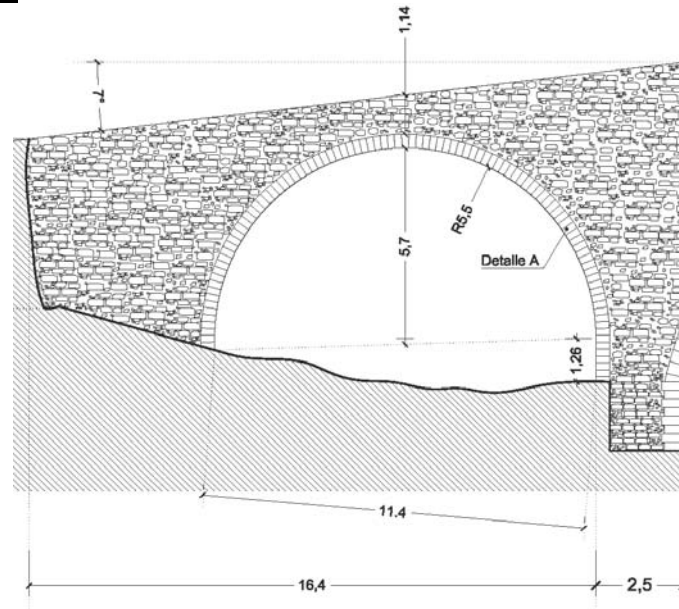
3. Geometría de la estructura

3.0 Características de los arcos

Vistos desde aguas abajo

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1 Arco primero



Dibujo 8.4 Arco primero.

8	3.1.1	Número de roscas		1
8	3.1.2	Radio	R_1 (metros)	5,5
8	3.1.3	Luz	L_1 (metros)	11,4
8	3.1.4	Flecha	f_2 (metros)	5,5
8	3.1.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	180°
8	3.1.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	5,5/11,4 = 1/2
8	3.1.7	Ancho de pilas	B_{p1}	2,5
8	3.1.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1} (metros)	3,26
8	3.1.9	Dovelas: canto	c_1 (metros)	0,4
8	3.1.10	grueso	e_1 (metros)	0,2
8	3.1.11	Cantidad de dovelas	n_1	83
8	3.1.12	Canto dovela / Luz	c_1 / L_1	0,4/11,4 = 1/28,2
8	3.1.13	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	2,5/11,3 = 1/4,5
8	3.1.14	Estado de la bóveda	E_{b1}	Bien

Tabla 8.4 Detalles del arco primero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco, con las tangentes verticales en los arranques, donde se cumple que $\sigma_1 = 1/2$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco de medio punto completo y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie C.

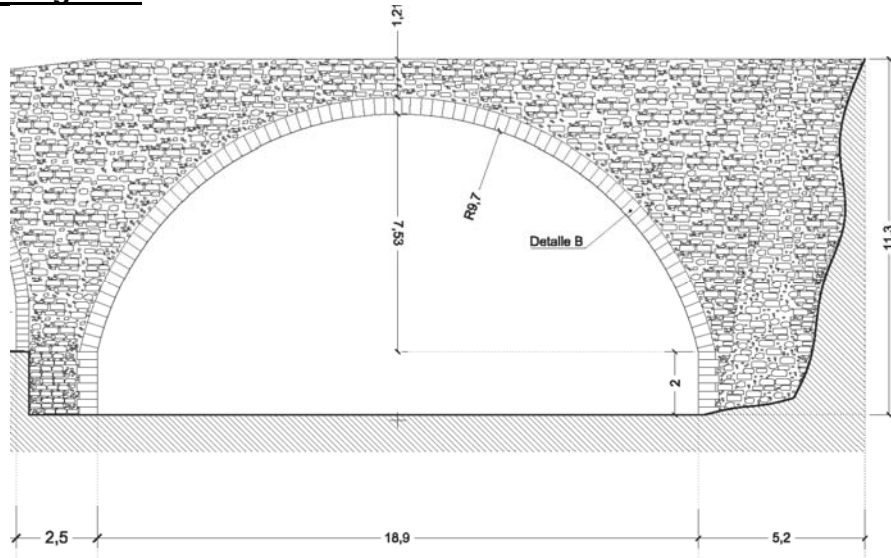
En función del diámetro, es un arco $2d$ (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 0,4/11,4 = 1/28,2$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.1 Arco segundo



Dibujo 8.3 Arco segundo.

8	3.2.2	Número de roscas		1
8	3.2.3	Radio	R_2 (metros)	9,7
8	3.2.4	Luz	L_2 (metros)	18,9
8	3.2.5	Flecha	f_2 (metros)	7,53
8	3.2.6	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	153°
8	3.2.7	Directriz : flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	7,53/18,9 = 1/2,5
8	3.2.8	Ancho de pilas	B_{p2}	2,5
8	3.2.9	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p2} (metros)	2
8	3.2.10	Dovelas: canto	c_2 (metros)	0,53
8	3.2.11	grueso	e_2 (metros)	0,26
8	3.2.12	Cantidad de dovelas	n_2	99
8	3.2.13	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	0,53/18,9 = 1/35,6
8	3.2.14	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	2,5/18,9 = 1/7,56
8	3.2.15	Estado de la bóveda	E_{b2}	Bien

Tabla 8.3 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco peraltado, con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_2 = 0,3984 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

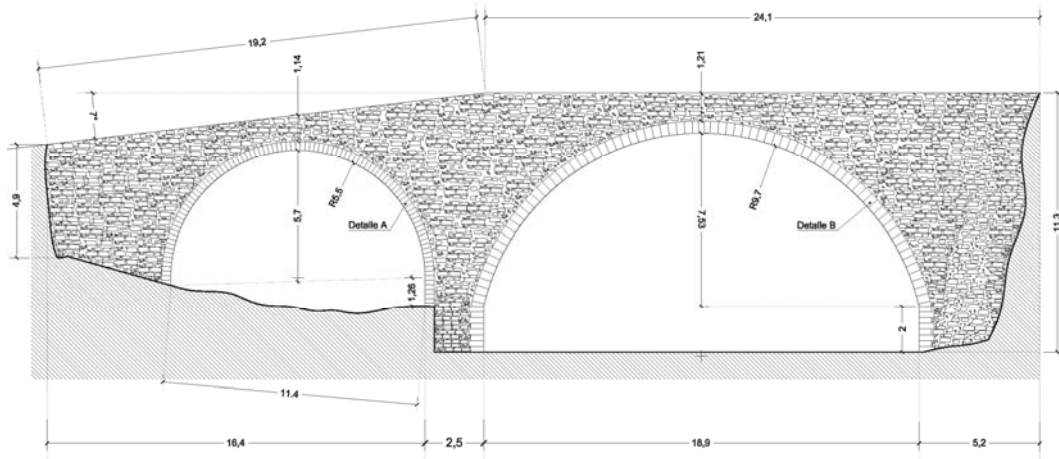
En función del diámetro, es un arco 2e (> 15 metros, < 20 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_{12} = 0,53/18,9 = 1/35,6$.

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Posible cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.3 Resumen de las características de los arcos



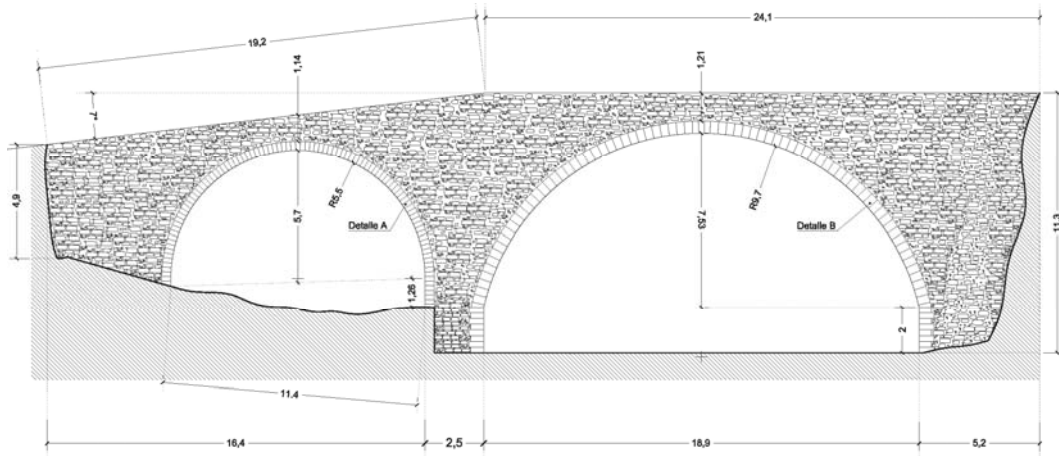
Dibujo 8.5 Alzado del puente.

Arcos		Primero	Segundo
Número de roscas		1	1
Radio	R_{1-2} (metros)	5,5	9,7
Luz	L_{1-2} (metros)	11,3	18,9
Flecha	f_{1-2} (metros)	5,5	7,53
Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_{1-2}$	180°	153°
Directriz : flecha/luz	$\sigma_{1-2} = f_{1-2} / L_{1-2}$	$5,5/11,3 = 1/2$	$7,53/18,9 = 1/2,5$
Ancho de pilas	B_{p1-2}	2,5	2,5
Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1-2} (metros)	3,26	2
Dovelas: canto	c_{1-2} (metros)	0,4	0,53
grosor	e_{1-2} (metros)	0,2	0,26
Cantidad de dovelas	n_{1-2}	83	99
Canto dovela / Luz	c_{1-2} / L_{1-2}	$0,4/11,3 = 1/28,2$	$0,53/18,9 = 1/35,6$
Relación ancho pila / luz	B_{p1-2} / L_{1-2}	$2,5/11,3 = 1/4,5$	$2,5/18,9 = 1/7,56$
Estado de la bóveda	E_{b1-2}	Bien	Bien

Tabla 8.5 Resumen de las características de los arcos.

4, 5 y 6. Características de las pilas, tajamares, estribos y terraplenes

Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos:



Dibujo 8.6 Alzado del puente.

4. Pilas	Central
Dimensiones (largo x fondo)	2,5 x 2,85
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	$2,5/18,9 = 1/7,5$
Altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	3
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	$2,5/11,44 = 1/4,57$
Cimiento de la pila T_c	No
Base en la que se apoya el cimiento	No
Protección contra la erosión	No

Tabla 8.6 Características de las pilas.

5. Tajamares	Primero
En la pila n ^o	1
Dimensiones	2,5 x 1
Altura desde cimiento	4,26
Forma de finalizar la altura	sombbrero escalonado
Dimensiones del espolón	solo visible el lateral que toca al agua 2,5 x 1
Altura desde cimiento del espolón	3
Forma de finalizar la altura del espolón	se confunde con el terreno, parece un muro de encauzamiento

Tabla 8.7 Características de los tajamares.

6. Estribos (estimación)	Primero	Segundo
Dimensiones (largo x fondo)	Encajado (2,85 x 3,2)	Encajado (4,7 x 3,2)

Tabla 8.8 Características de los estribos.

7. Sobre las reglas empíricas

Luz	Canto	Altura de pila	Ancho de pila
11,4	0,53	0	2,85
18,9	0,4	2	2,5
18,9	0,4	2	4,7

Tabla 8.9 Valores correspondientes al puente de Malafogassa.

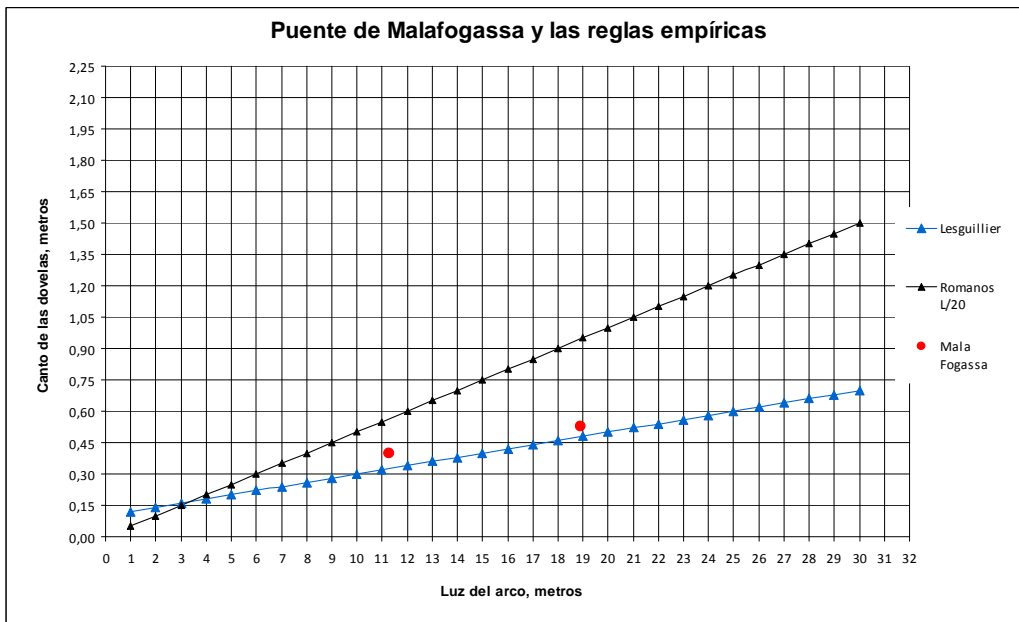


Gráfico 8.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Malafogassa

Se puede observar que el canto, c , de las dovelas de ambas bóvedas no se identifica claramente con ninguna regla, no obstante si que están cerca de las exigencias de la regla desarrollada por Lesguillier.

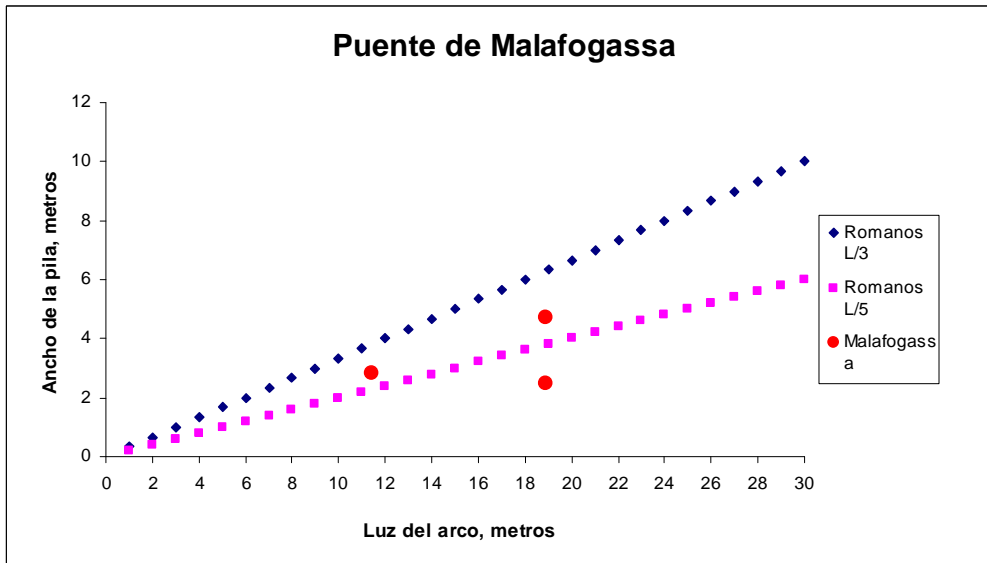


Gráfico 8.2 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Malafogassa

Los valores que corresponden al ancho de la pila en función de la luz no coinciden exactamente con ninguna regla, pero si que están muy cerca de los que se pueden alcanzar con la aplicación de la regla que utilizaban los romanos en los últimos tiempos del Imperio.

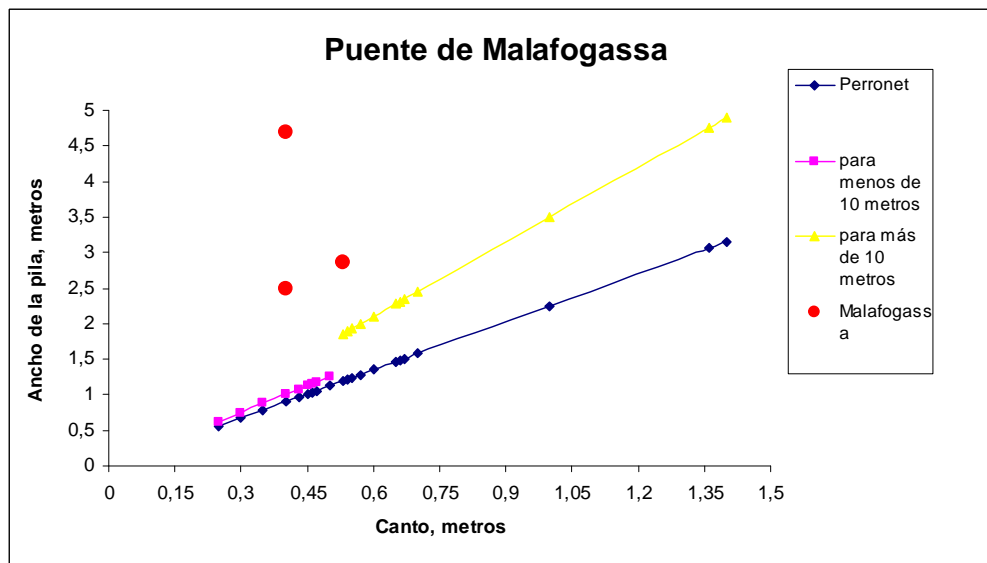


Gráfico 8.3 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Malafogassa

No se encuentra ninguna relación que permita deducir la relación entre el ancho de la pila en función del canto de las dovelas.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCS hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes y las excentricidades necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida en el interior de la boquilla de cada bóveda.

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 2,15% menores que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Mayor	910	1,4 y 1
Menor	350	2,2 y 1,2

Tabla 8.10 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Mayor	925	1,4 y 1
Menor	350	2,3 y 1,2

Tabla 8.11 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de carga de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a ½ de la bóveda principal.

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico:

Pila	Carga específica σ (N/mm ²)
Primera	0,225
Segunda	0,564
Tercera	0,405
Valor medio familia	0,398
Valor medio general	0.35313

Tabla 8.12 Valores de las cargas específicas que las pilas apoyan sobre los cimientos.

Como con los puentes anteriores, creemos interesante calcular el coeficiente de seguridad concebido al construir el puente. Para ello colocamos tres animales de carga, en paralelo, cada uno con una carga total de 400 kg., distanciados 2 metros. Esto supone cargas puntuales de 6 KN que, para mantener el mismo recorrido de la línea de presiones, calculada para 120 KN, supondría un coeficiente de seguridad de 60.

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
En función del vano mayor: $> 15 < 20$ metros (2.d)
En función de la directriz: flecha /luz $1/2 - 1/2,5$
En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz $1/35,6$
En función del material de la bóveda: diversos materiales (4.d)
En función de las cargas máxima sobre el cimiento: $0,564 \text{ N/mm}^2$
Y de los máximos empujes horizontales: 925 KN
En función del tipo de cimentación: posible recinto de tablestacas relleno de hormigón(5.d)

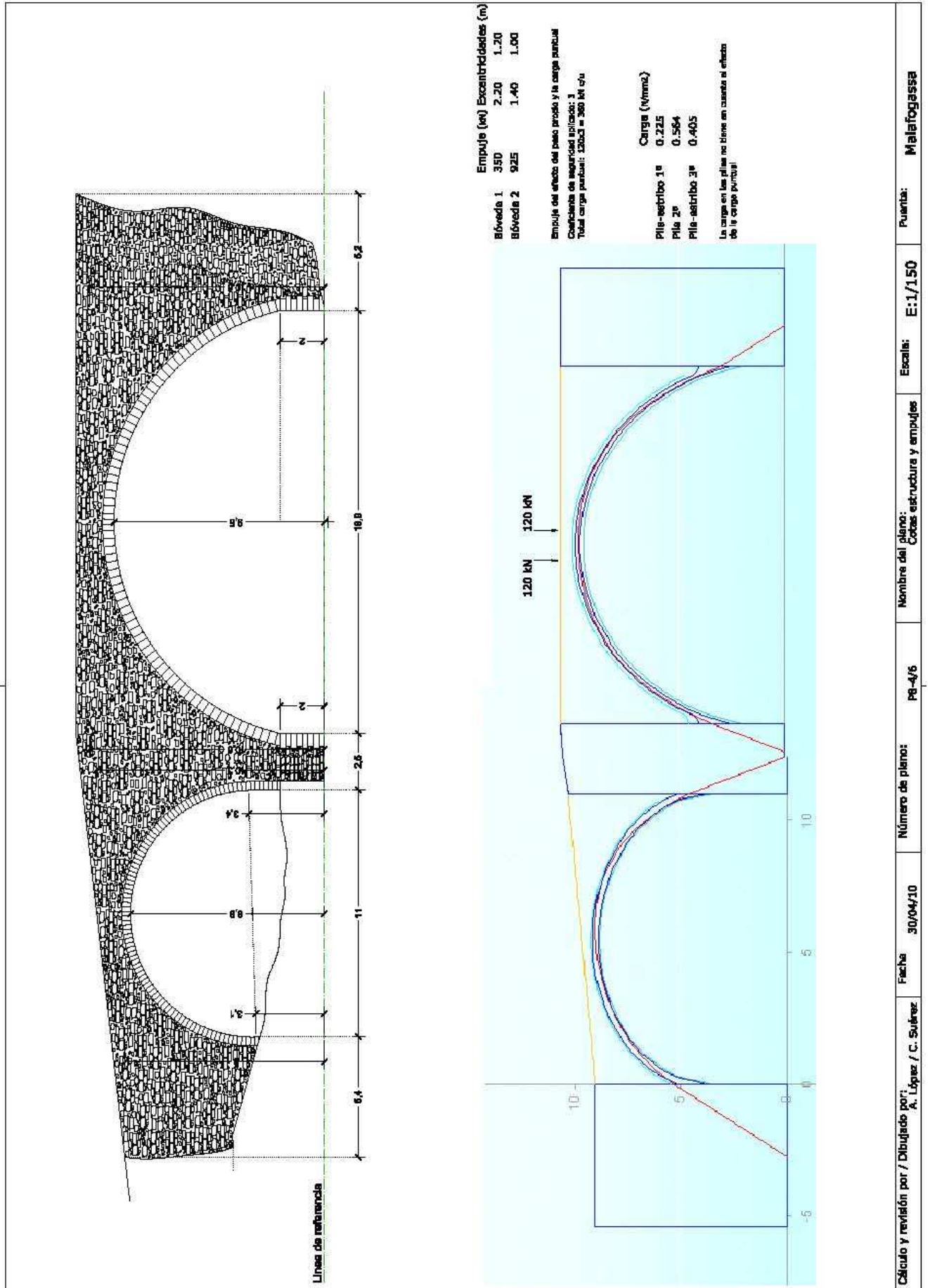
Las dos bóvedas: la principal es de medio punto completo C, la secundaria es de medio punto poco recortado A*.

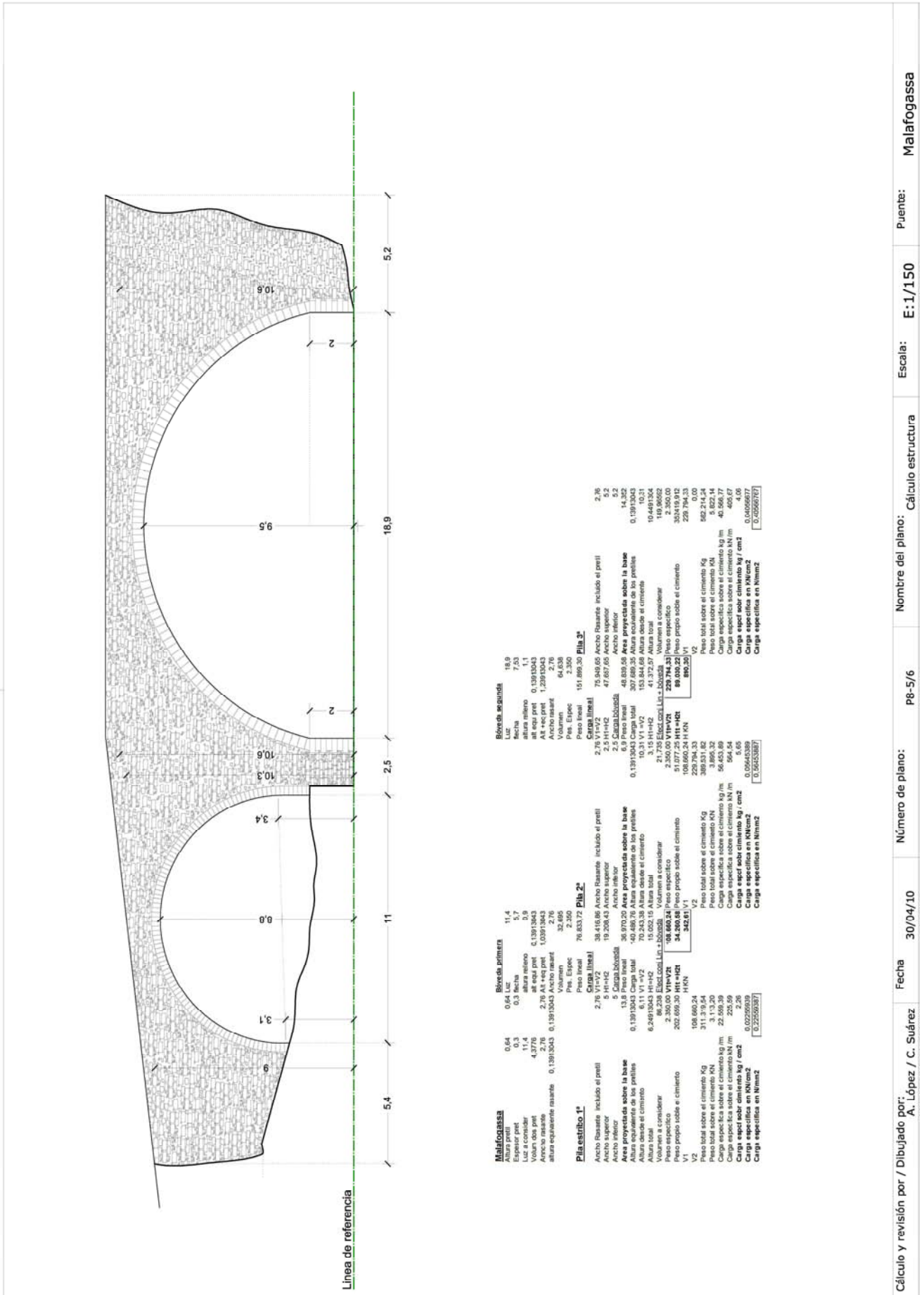
Cuadro 8.1 – Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

Dibujo 8.7 Plano P8 – 4/6 Recorrido de la línea de presiones, programa ARCs.

Dibujo 8.8 Plano P8 5/6 Tabla con el resumen del cálculo analítico del valor de los empujes.





9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el Plano P8 – 6/6 puede verse una aproximación a la zona inundable para diferentes valores de calado, y también, para cada uno de ellos, el coeficiente de obturación que oscila entre el 20,96% y el 38,92%.

La pendiente del río en el tramo donde se localiza el puente es del 1,071%, que corresponde a una zona de erosión.

La riera es perenne y tiene un azud aguas abajo. La proyección de la planta forma un ángulo de 99° respecto al eje del río en esta zona.

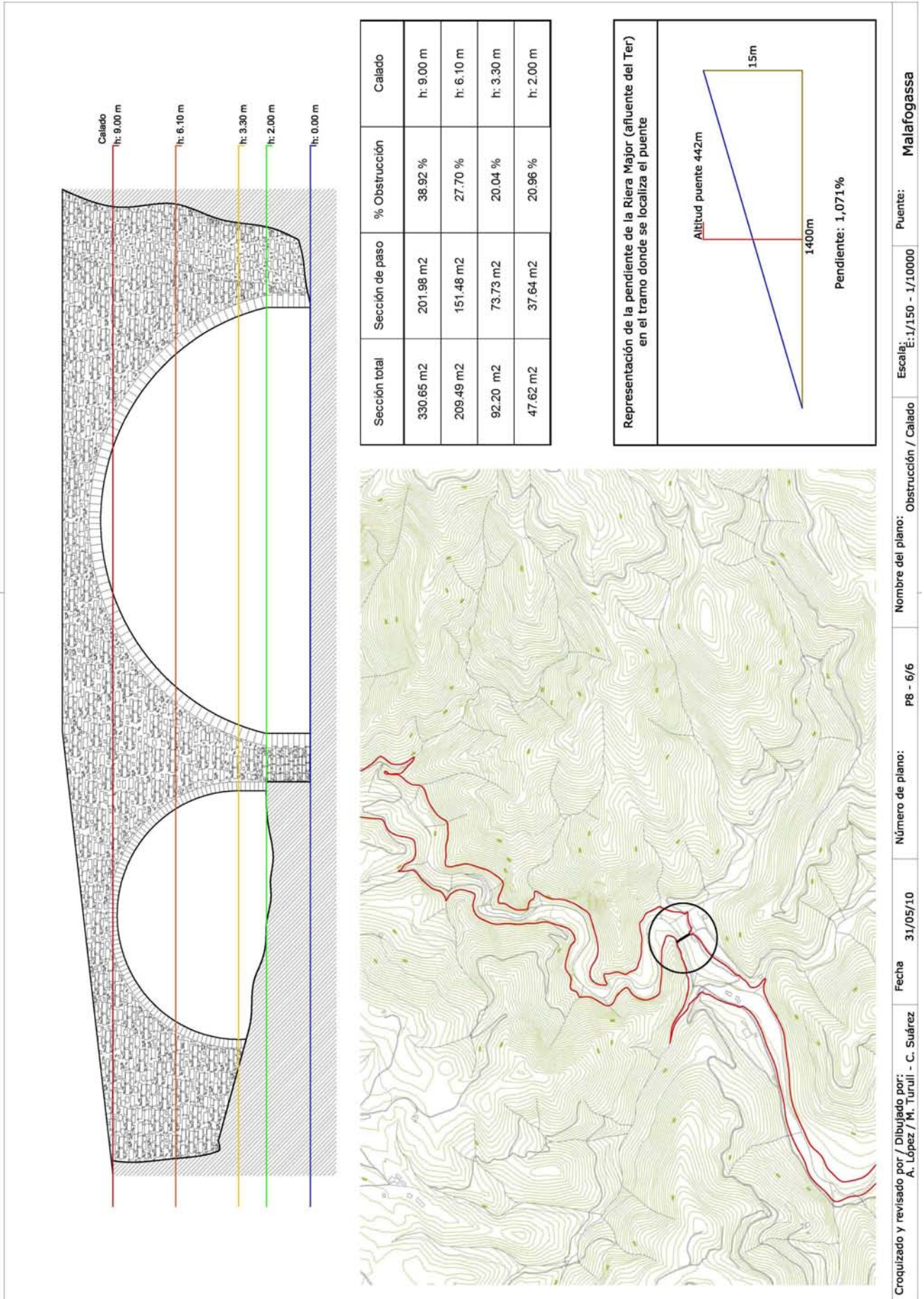
Datos relativos a la hidráulica del puente

Cuenca Km²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m³/seg	Caudal punta T:500 m³/seg
124	76	0,422	189	249	-	-

Tabla 8.13 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente

Al no disponer de estaciones de medición de la pluviometría el Servei Territorial d'Obres Públiques en Girona no dispone de datos fiables para indicar los caudales punta para ningún período de retorno. Por esta razón, la zona inundable dibujada se basa en las referencias que hemos obtenido de las personas que habitan las cercanías del puente.

En la página siguiente: Dibujo 8.9 Plano P8 – 6/6 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.



Croquizado y revisado por / Dibujado por: A. López / M. Turull - C. Suárez

Fecha: 31/05/10

Número de plano: P8 - 6/6

Nombre del plano: Obstrucción / Calado

Escala: E:1/150 - 1/10000

Puente: Malafogassa

10. Hechos históricos asociados al puente

Puente de Malafogassa, en Vilanova de Sau.

Se encuentra en el antiguo camino real que iba hacia Sant Hilari Sacalm por Sant Andreu de Bancells y que unía les Guilleries con el valle de Sau, sobre la riera Major. El nombre le viene del molino y la masía de Malafogassa, situados en el extremo oriental del puente.

Éste no es el primero que se construyó en el lugar ya que, según explica el historiador Pladevall, debía haber uno anterior que probablemente fue destruido por los terremotos de 1425-1427. La fábrica que ha llegado a nuestros días data de hacia el 1498, hecha por un maestro de casas de Castanyadell Pere Folgueres, y pagada por los vecinos de Vilanova de Sau, Bancells, Querós i Castanyadell.

Es un puente gótico, hecho de sillares regulares dispuestos en hileras horizontales. Tiene dos arcos de medio punto adovelados y de luz desigual y las rasantes son ligeramente inclinadas hacia la clave del arco mayor, sin llegar a formar un lomo de asno. Los pilares no tienen tajamares y los antepechos están rehechos con mampostería común. El pavimento, restaurado, es un empedrado de lozas.¹

Al finalizar la construcción, el puente mostró algunos defectos y anomalías, sobre todo los muros cedieron dando señales de abrirse, por eso el alcalde del término de Sau y los obreros encargados por los parroquianos para la construcción llamaron a dos maestros de casas de Vic, Miquel Plantalamor y Brossa, para que dieran su opinión.

Los maestros dieron su veredicto ante notario, y el 8 de enero de 1498, indicando las anomalías y la manera de corregirlas; según ellos, era necesario empapar toda la obra de cal gorda, trabar entre ellas las dos paredes paralelas del puente con adoquines o piedras largas y hacer desagües a cada lado para evacuar el agua de las lluvias.²

El puente debió ser reforzado, puesto que se mantiene todavía firme en la actualidad, sin tener señales de reconstrucciones tardías. Un documento del año 1502 habla del "pont vey apellat de Malla fogassa", el apelativo de viejo dado al puente a la distancia de cuatro años del documento anterior parece suponer la existencia de dos puentes, el nuevo y el viejo. En todo caso, sea nuevo o sea viejo el puente que nos llega hasta hoy día, tiene una antigüedad de cuatrocientos años como mínimo.

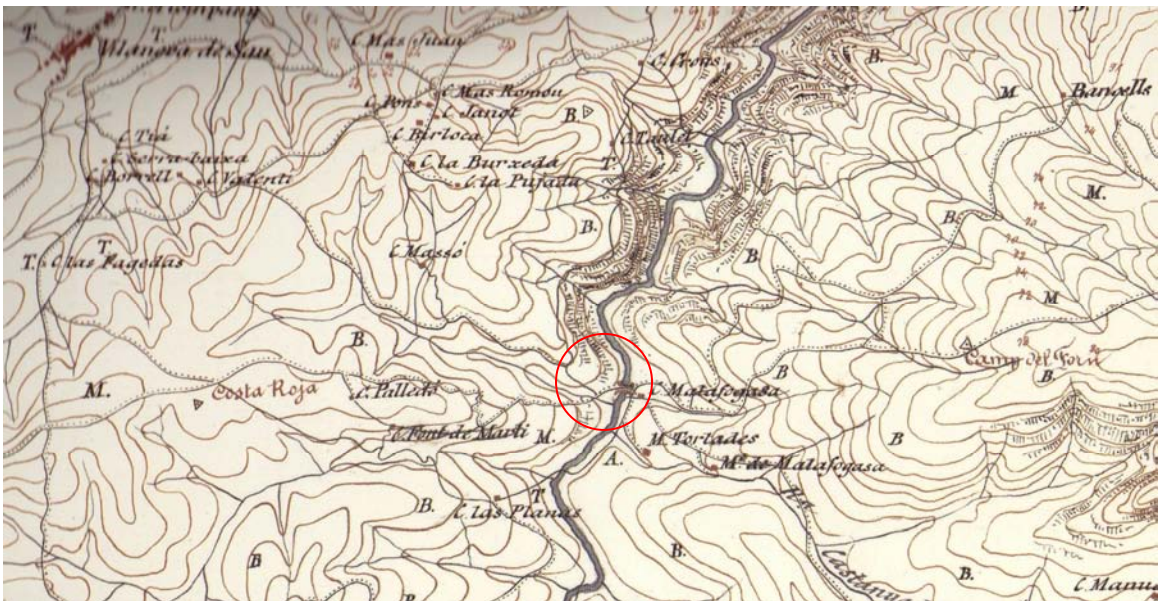


Imagen 8.8 Plano topográfico de 1890 donde figura el puente de Malafogassa como enclave estratégico de caminos en les Guilleries.³

¹ TLC *Ponts provincia de Barcelona*. Diputació de Barcelona y Archivo municipal de Manlleu.

² Testificación copiada dos veces al mismo pliego citado en la nota anterior.

³ *Mapa del Montseny, les Guilleries i el Collsacabra* de Juli Serra, 1890.

Puente de la Bisbal

Noveno puente: pont Vell de la Bisbal.

Sobre el río Daró afluente del Ter. Localizado en el interior de la ciudad de la Bisbal. Formado por dos arcos principales. Calzada central en ligera doble pendiente y una longitud total de 30 metros.



Imagen 9.1 Vista general desde aguas abajo.

1. Localización

9	1.1	Denominación del puente	Pont Vell
9	1.2	Cuenca del río	Daró
9	1.3	Comarca	Baix Empordà
9	1.4	Río	Daró
9	1.5	Término municipal	La Bisbal
9	1.6	Lugar	en el interior de la ciudad
9	1.7	Coordenadas geográficas	41° 57' 37,08" N 3° 02' 13,4" E
9	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 503168 y'4645563
9	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar	31
9	1.10	Orientación	N-S

Tabla 9.1 Situación de la obra.



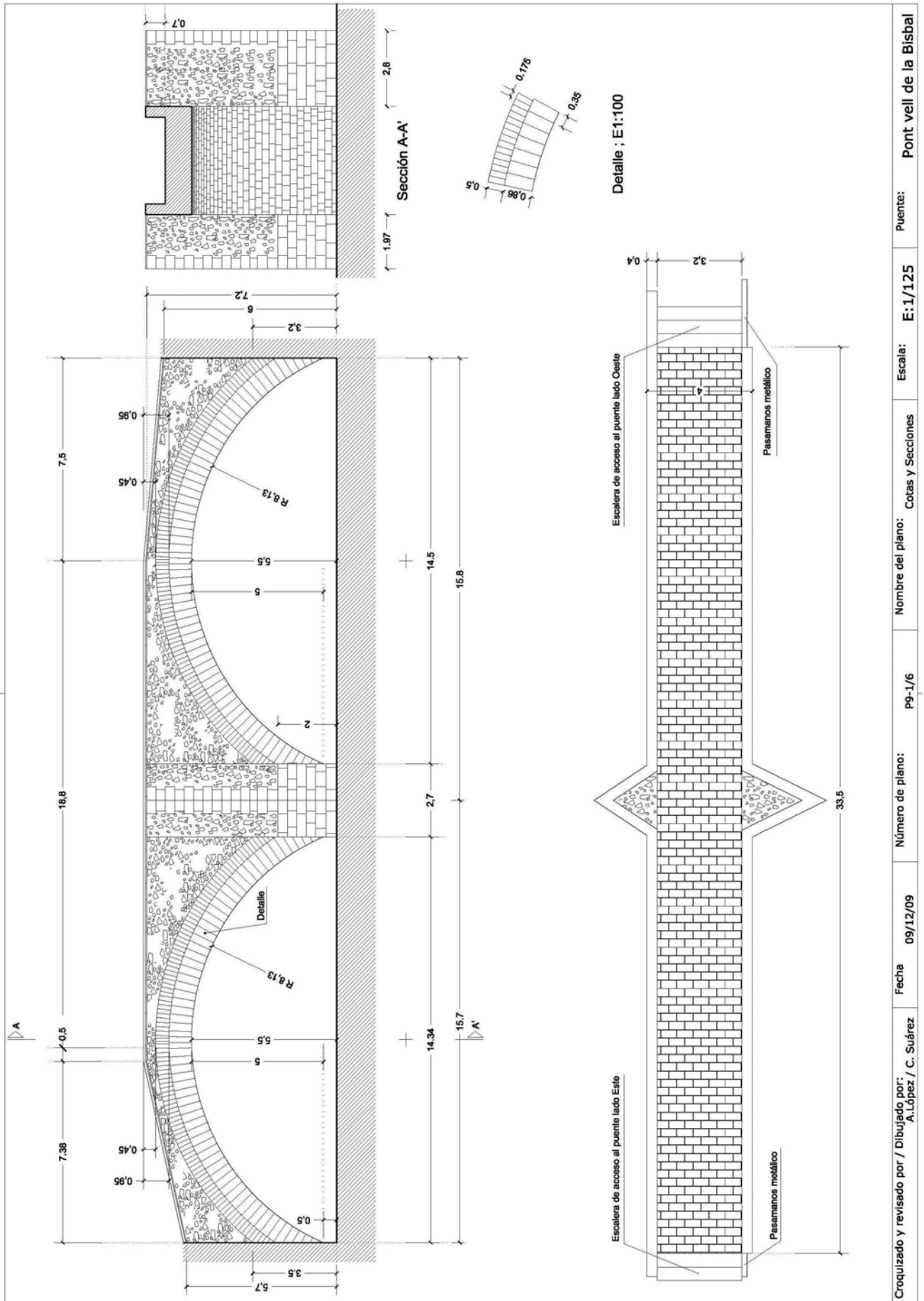
Imagen 9.2 Vista topográfica de la localización del puente.

2. Características generales

9	2.1	Número de arcos		2
9	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	14,3 y 14,5
9	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	$5/14,5 = 1/2,9$
9	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		No
9	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	6,86
9	2.6	Calzada con pendientes		doble pendiente
9	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	15,61
9	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	1°
9	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	15,65
9	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	1°
9	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	31,54
9	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	4
9	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	3,2
9	2.14	Espesor de los pretils	c_p (metros)	0,4
9	2.15	Altura de los pretils	h_{pr} (metros)	0,9
9	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		Piezas con un labrado superficial 0,9 x 0,4 x 0,85
9	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	3,75 y 3,75 encajados
9	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	lateral 60m
9	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		encauzamiento aguas abajo

Tabla 9.2 Datos arquitectónicos

En la página siguiente: Dibujo 9.0 Plano P9 – 1/6 Medidas fundamentales.



Croquizado y revisado por / Dibujado por: A.López / C. Suárez	Fecha 09/12/09	Número de plano: pg-1/6	Nombre del plano: Cotas y Secciones	Escala: E:1/125	Puente: Pont vell de la Bisbal
--	-------------------	----------------------------	--	--------------------	-----------------------------------

El puente está sobre el río Daró a su paso por la población de la Bisbal, en la zona del recinto antiguo de la ciudad, su orientación coincide con el acceso a la antigua puerta principal de la ciudad. Su construcción se realizó para tener un acceso seguro a la ciudad viniendo desde Girona. Las citas más antiguas localizadas referentes a este puente son del año 1600, no obstante, se da a entender que, desde antiguo, existía otro acceso muy cerca o en el mismo lugar. Acceso que por su poca estabilidad era arrastrado por las avenidas periódicas del río.

La estructura actual presenta un puente mutilado por ambos márgenes, como resultado de las diferentes urbanizaciones de la zona donde se enclava.

Por las fotografías se puede saber que era un puente de doble pendiente con una entrada porticada en la zona central que servía para controlar el acceso a la ciudad. Las referencias dan a entender que esta entrada porticada se eliminó durante las guerras carlistas.



Imagen 9.3 Límites de la ciudad medieval y de la situación del puente.



Imagen 9.4 Vista del puente desde el lecho del río aguas abajo.

Los dos terraplenes de acceso, posiblemente de perfil semicircular, fueron sustituidos por escaleras, con lo que se acortó, de forma apreciable, la longitud original de su estructura.

El puente está encajado entre las elevaciones del terreno a las que se añadieron aletas perpendiculares al eje del puente. Estas aletas, vistas desde el cauce del río, tienen forma triangular, de manera que, el lado mayor de este triángulo, en el punto más alejado del puente, tiene su altura menor, que se eleva progresivamente hasta alcanzar la albardilla de coronación de los pretiles.

Las aletas cubren el doble objetivo de encauzamiento de esta zona del río y también como muros de contención de las tierras que hacen de terraplenes, paralelos al eje del río.

Para aliviar las dobles pendientes, se redujo el espesor del relleno, logrando una calzada con la doble pendiente prácticamente eliminada.

La longitud del puente entre las aletas es de 33,5 metros. La rasante es soportada por dos bóvedas circulares rebajadas, cada una de las cuales cubre una luz de casi 15 metros, con una flecha de 5 metros.

Las boquillas de las bóvedas están formadas por dos roscas. La rosca que limita el intradós está formada por dovelas con canto de 0,86 y un grueso de 0,35 metros. La segunda rosca que descansa sobre la anterior, esta formada por dovelas de 0,5 de canto y 0,175 de grueso.



Imagen 9.5 A la izquierda: detalle de las dos roscas que forman las bóvedas.



Imagen 9.6 A la derecha: detalle del arranque de las dos bóvedas desde la pila central, visto desde el margen derecho y aguas abajo.

Los arranques de las bóvedas lo hacen desde los lados opuestos de una misma pila central de 2,7 metros de ancho, que está situada en el centro del cauce del río.

Los arranques de los arcos de ambas bóvedas, tanto los que arrancan de la pila como desde los estribos, están en un mismo plano y este es paralelo y elevado 0,5 metros sobre la línea de agua.

La pila tiene en sus laterales tajamar y espolón, ambos de base triangular, que se eleva hasta alcanzar la cota de la albardilla de los pretiles, formando balconcillos con la calzada. Balconcillos que actualmente están cegados en todo su volumen interno.

Las dimensiones del tajamar y espolón son diferentes. Aunque ambos arrancan de la base común de la pila, el tajamar se separa del plano del paramento de aguas arriba 1,9 metros, en cambio el espolón lo hace del plano del paramento de aguas abajo 2,8 metros.

Ambos elementos de la estructura arrancan desde su base, hasta una altura de unos dos metros con hiladas de sillares, después continúan ganando altura hasta alcanzar la albardilla de coronación de los pretiles, empleando sillares sólo en la zona esquinada del cortaaguas y el resto del paramento está formado por mampostería ordinaria.

La calzada de 3,2 metros de ancha cuenta con un pavimento de piezas cerámicas típicas de la zona. Está protegida por los pretiles de 0,9 metros de altura y 0,4 de grosor, y están contruidos con mampostería ordinaria, coronados por un pasamanos de redondo metálico.



Imagen 9.7 A la izquierda: detalle de la escollera bajo la planta del puente vista desde el margen izquierdo y aguas abajo.

Imagen 9.8 A la derecha: escolleras laterales y central.

En la proyección en planta de la estructura del puente, sobre el lecho del río hay una capa de escollera formada por piezas que posiblemente provienen del azud que existía aguas abajo del puente, y otras añadidas con las que se ha creado, unidas con mortero, una plataforma para evitar la erosión producida por las aguas.

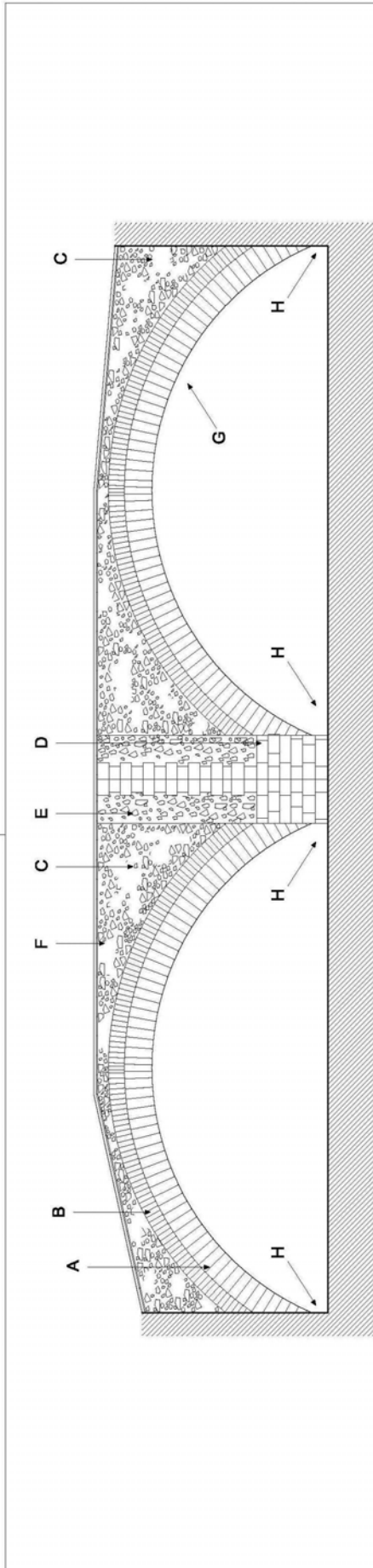
Esta escollera continua hacia aguas abajo, construida de la siguiente forma:

- a) Dos zonas de 60 metros de longitud y 5 de ancho, que están unidas a las aletas de encauzamiento paralelas al eje del río y contruidas con hormigón ciclópeo.
- b) El 50 % del espacio comprendido entre estas dos zonas se ha rellenado de grandes piedras sobre las cuales, en algunas zonas, se ha vertido hormigón.

En las páginas siguientes:

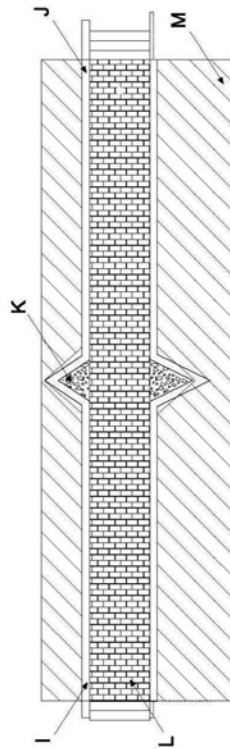
Dibujo 9.1 Plano P9 – 2/6 Sobre la composición del paramento.

Dibujo 9.2 Plano P9 – 1/6 Detalles fotográficos.



Materiales que componen el paramento visto desde aguas abajo

- A Primera rosca. Dovelas de arenisca con mortero de cal.
- B Segunda rosca. Dovelas de lajas de arenisca y piedra dura con mortero de cal.
- C Lajas y mampuestos con mortero de cemento.
- D Sillares de arenisca en aparejo de sogas.
- E Sillarejo con ripio y mortero de cal.
- F Mampostería de cal y canto.



Detalle de la planta del puente para destacar la escollera E: 1/250

- G Bóveda de piedra arenisca con mortero de cal y cemento segun zonas.
- H Sillares de arenisca. 4 hiladas horizontales con aparejo seudoisodómico.
- I Perfiles de mampostería con mortero de cemento.
- J Albardilla de lajas con mortero de cemento.
- K Balconcillo relleno de mampostería.
- L Cañizada de losas de terrazo.
- M Escollera de protección contra la erosión de los amarques y los pilares del puente.

Croquizado y revisado por / Dibujado por: A. López / C. Suárez	Fecha 02/12/09	Número de plano: P9-2/6	Nombre del plano: Materiales	Escala: E:1/125	Puente: Pont vell de la Bisbal
---	-------------------	----------------------------	---------------------------------	--------------------	-----------------------------------

1. Arranque de la bóveda en la orilla derecha

2. Vista general desde aguas abajo

3. Arranque del arco desde la orilla izquierda

4. Baicencillo del tajamar relleno de mampostería

5. Bóveda

6. Escollera de protección contra la erosión de pilas i arranques de los arcos

Fotografías por / Dibujado por: A. López / C. Suárez

Fecha 02/12/09

Número de plano: p9-3/6

Nombre del plano: Detalles fotográficos

Escala: E:1/125

Puente: Pont vell de la Bisbal

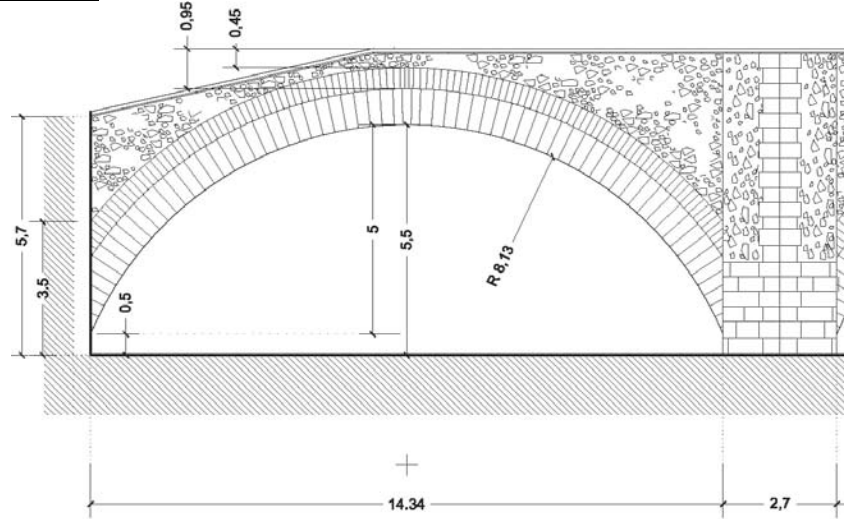
3. Geometría de la Estructura

3.0 Características de los arcos

Vistos desde aguas abajo

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1 Arco primero



Dibujo 9.3 Arco primero.

9	3.1.2	Número de roscas		2
9	3.1.3	Radio	R_1 (metros)	8,13
9	3.1.4	Luz	L_1 (metros)	14,3
9	3.1.5	Flecha	f_1 (metros)	5
9	3.1.6	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	131°
9	3.1.7	Directriz : Flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	$5/14,34 = 1/2,86$
9	3.1.8	Ancho de pilas	B_{p1}	2,7
9	3.1.9	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p1} (metros)	0,5
9	3.1.10	Dovelas: canto	c_1 (metros)	1,36
9	3.1.11	Grueso	e_1 (metros)	0,36
9	3.1.12	Cantidad de dovelas	n_1	71
9	3.1.13	Canto dovela / luz	c_1 / L_1	$1,36/14,34 = 1/10,54$
9	3.1.14	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	$2,7/14,34 = 1/5,3$
9	3.1.15	Estado de la bóveda	E_{b1}	Bien

Tabla 9.3 Detalles del arco primero

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_1 = 0,44 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

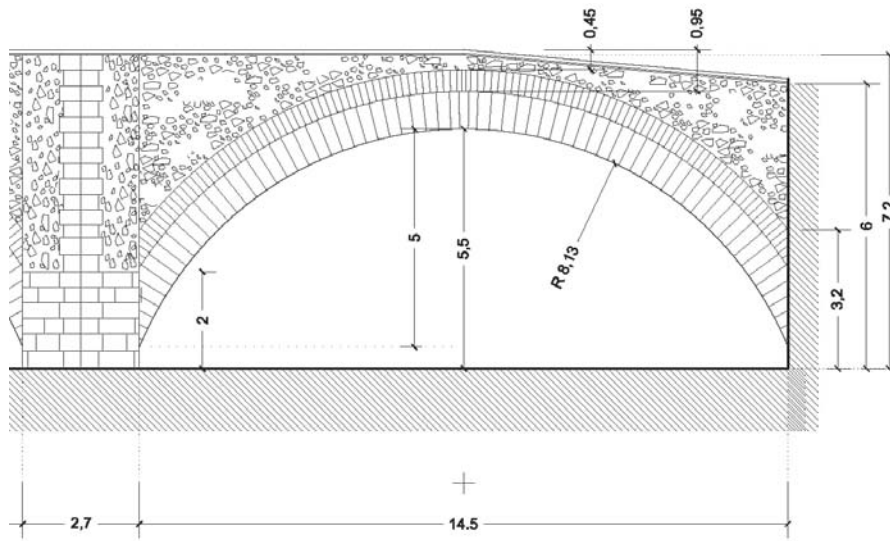
En función del diámetro, es un arco $2c$ (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 1,36/14,34 = 1/10,54$.

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5b: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.2 Arco segundo



Dibujo 9.4 Arco segundo

9	3.2.1	Número de roscas		2
9	3.2.2	Radio	R_2 (metros)	8,13
9	3.2.3	Luz	L_2 (metros)	14,5
9	3.2.4	Flecha	f_2 (metros)	5
9	3.2.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	131°
9	3.2.6	Directriz : Flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	$5/14,5 = 1/2,9$
9	3.2.7	Ancho de pilas	B_{p2}	2,7
9	3.2.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco	h_{p2} (metros)	0,5
9	3.2.9	Dovelas: canto	c_2 (metros)	1,36
9	3.2.10	grueso	e_2 (metros)	0,36
9	3.2.11	Cantidad de dovelas	n_2	71
9	3.2.12	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	$1,36/14,5 = 1/10,6$
9	3.2.13	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	$2,7/14,5 = 1/5,3$
9	3.2.14	Estado de la bóveda	E_{b2}	Bien

Tabla 9.4 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_1 = 0,44 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

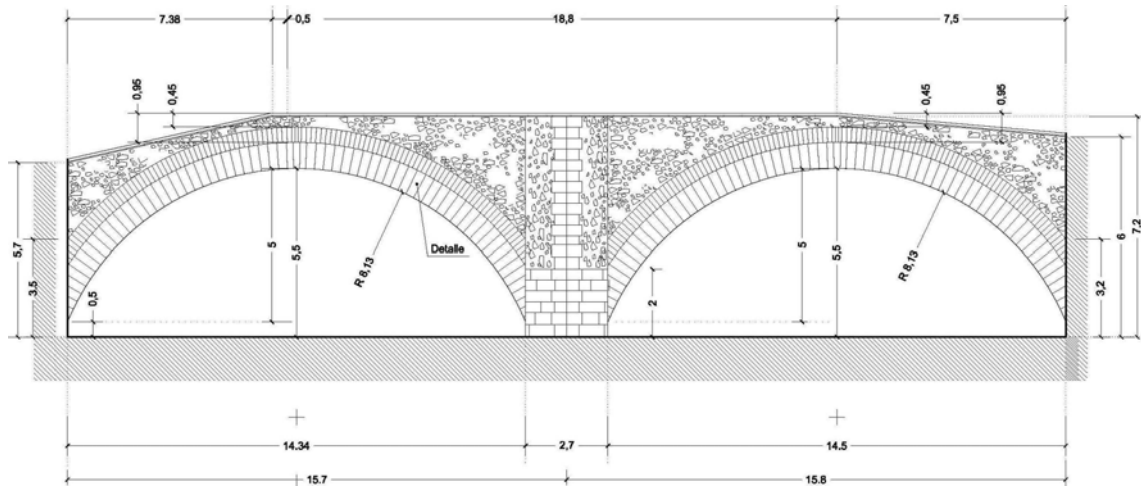
En función del diámetro, es un arco $2c$ (> 10 metros, < 15 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_2 = 1,36/14,5 = 1/10,6$

Material de la bóveda 4a: sillería de piedra.

Posible cimentación 5b: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.3 Resumen de las características de los arcos



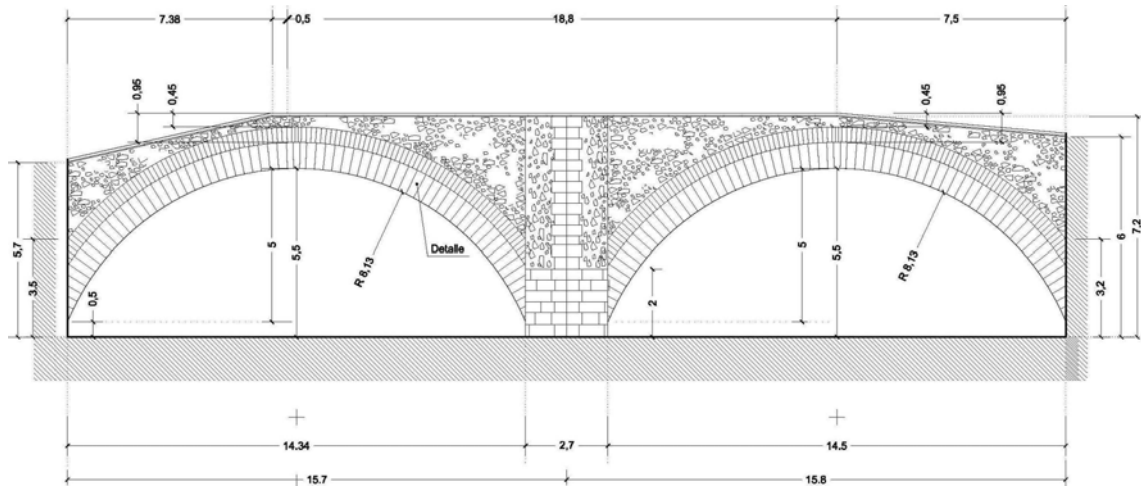
Dibujo 9.5 Alzado del puente visto desde aguas abajo

Arcos		Primero	Segundo
Número de roscas		2	2
Radio	R_{1-2} (metros)	8,13	8,13
Luz	L_{1-2} (metros)	14,3	14,5
Flecha	f_{1-2} (metros)	5	5
Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_{1-2}$	131°	131°
Directriz : Flecha/luz	$\sigma_{1-2} = f_{1-2} / L_{1-2}$	$5/14,34 = 1/2,86$	$5/14,5 = 1/2,9$
Ancho de pilas	B_{p1-2}	2,7	2,7
Altura peraltes desde el cimientto al arranque del arco	h_{p1-2} (metros)	0,5	0,5
Dovelas: canto	c_{1-2} (metros)	1,36	1,36
grueso	e_{1-2} (metros)	0,36	0,36
Cantidad de dovelas	n_{1-2}	71	71
Canto dovela / luz	c_{1-2} / L_{1-2}	$1,36/14,34 = 1/10,54$	$1,36/14,5 = 1/10,6$
Relación ancho pila / luz	B_{p1-2} / L_{1-2}	$2,7/14,34 = 1/5,3$	$2,7/14,5 = 1/5,3$
Estado de la bóveda	E_{b1-2}	Bien	Bien

Tabla 9.5 Resumen de características de los arcos

4, 5 y 6. Características de las Pilas, Tajamares, Estribos y Terraplenes

Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos



Dibujo 9.6 Alzado del puente.

4. Pilas	Central
Dimensiones (largo x fondo)	2,7 x 1,97
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	2,7/14,5 = 1/5,3
Altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	0,5
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	2,7/6,86 = 1/2,5
Cimiento de la pila T_c	no visible
Base en la que se apoya el cimiento	no visible
Protección contra la erosión	escollera bajo el puente y laterales aguas abajo

Tabla 9.6 Características de las pilas.

5. Tajamar y espolón	Centrales
En la pila nº	1
Dimensiones	2,7 x 1,97
Altura desde cimiento	7,86
Forma de finalizar la altura	balconcillo actualmente relleno de mampostería
Dimensiones del espolón	2,7 x 2,8
Altura desde cimiento del espolón	7,86
Forma de finalizar la altura del espolón	balconcillo actualmente relleno de mampostería

Tabla 9.7 Características de tajamares y espolones.

6. Estribos (estimación)	Primero	Segundo
Dimensiones (largo x fondo)	3,75 x 4	3,75 x 4
Largo de estribo / luz del arco	$3,75/14,31 = 1/3,81$	$3,75/14,5 = 1/3,86$
Longitud del terraplén	60m	60m
Orientación del terraplén	aguas abajo y paralelo al río	aguas abajo y paralelo al río
Aleta de mantenimiento del terraplén	sí, aguas abajo	sí, aguas abajo

Tabla 9.8 Características de los estribos.

7. Sobre las reglas empíricas

Luz	Canto	Altura de pila	Ancho de pila
14,34	1,36	0,5	3,75
14,5	1,36	0,5	2,7
14,5	1,36	0,5	3,75

Tabla 9. Valores correspondientes al puente de la Bisbal.

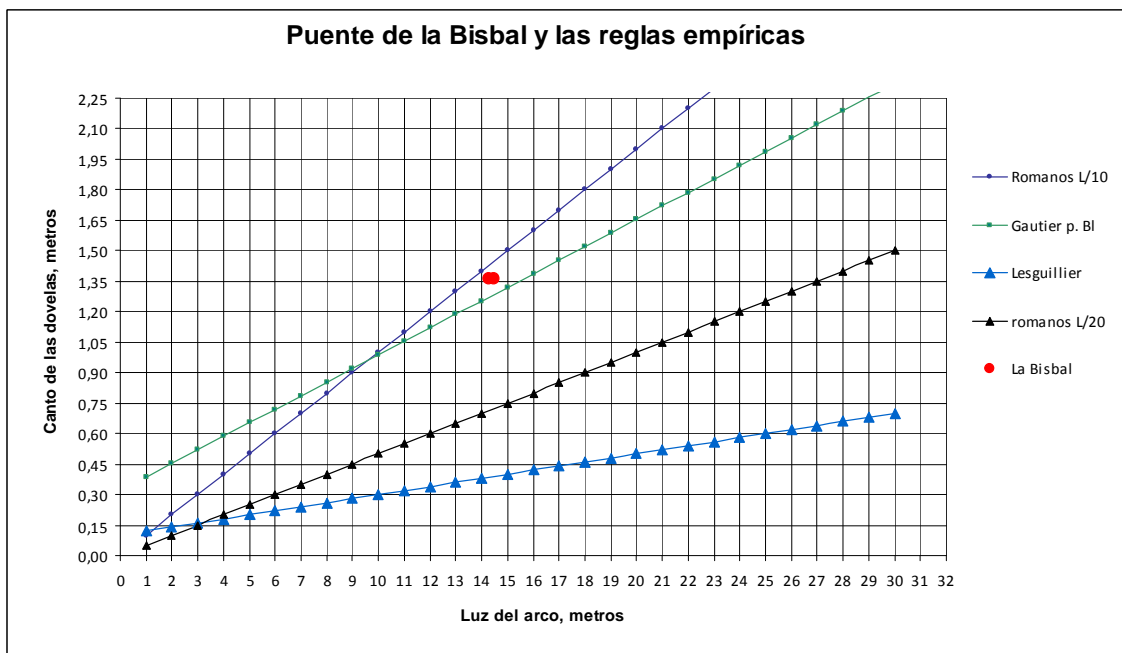


Gráfico 9.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de la Bisbal

Se puede observar que las dos bóvedas, que son casi idénticas, tienen dovelas con el mismo canto, *c*, el cual se halla muy próximo a las reglas propuestas por los romanos (*L/10*) y por Gautier para piedra blanda.

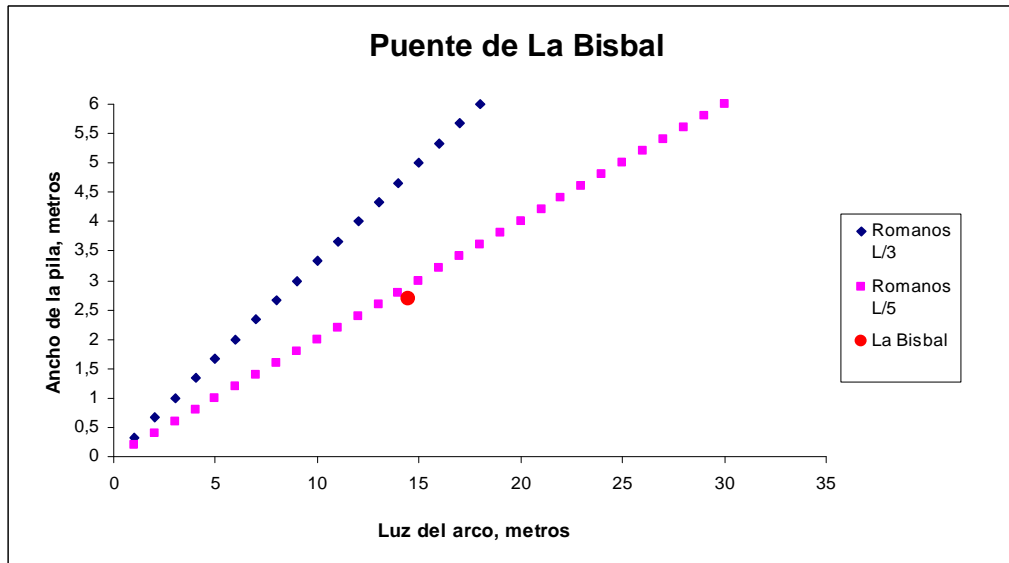


Gráfico 9.2 Fórmulas empíricas aplicables al puente de La Bisbal

Las dimensiones de la pila coinciden con las reglas propuestas en la época romana tardía.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCs hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes y las excentricidades necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida en el interior de la boquilla de cada bóveda.

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 5,52% mayores que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	834,81	1,5 y 1
Segunda	853,54	1,5 y 1

Tabla .9.9 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	800	1,5 y 1
Segunda	800	1,5 y 1

Tabla 9.10 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a 1/2 de la bóveda quinta.

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico:

Pila	Carga específica σ (N/mm ²)
Primera	0,608
Intermedia	0,477
Tercera	0,614
Valor medio familia	0,375
Valor medio general	0,35313

Tabla 9.11 Valores de las cargas específicas que las pilas apoyan sobre los cimientos

Al sustituir la carga doble de 120 KN por la que representarían tres animales de carga, en paralelo, con una distancia entre las patas de 2 metros y cada uno de ellos con una carga total de 400 kg., se obtienen dos cargas puntuales de 6 KN. Estas nuevas cargas, mucho más cercanas a las que el puente debía soportar cuando se construyó, suponen un coeficiente de seguridad de 60 (manteniendo la línea de presiones igual).

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
 En función del vano mayor: > 10 < 15 metros (2.c)
 En función de la directriz: flecha /luz 1/2,9
 En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz 1/10,6
 En función del material de la bóveda: diversos materiales (4.d)
 En función de las cargas máximas sobre el cimiento: 0,614 N/mm²
 Y de los máximos empujes horizontales: 853 KN
 En función del tipo de cimentación: posible recinto de tablestacas (5.b)

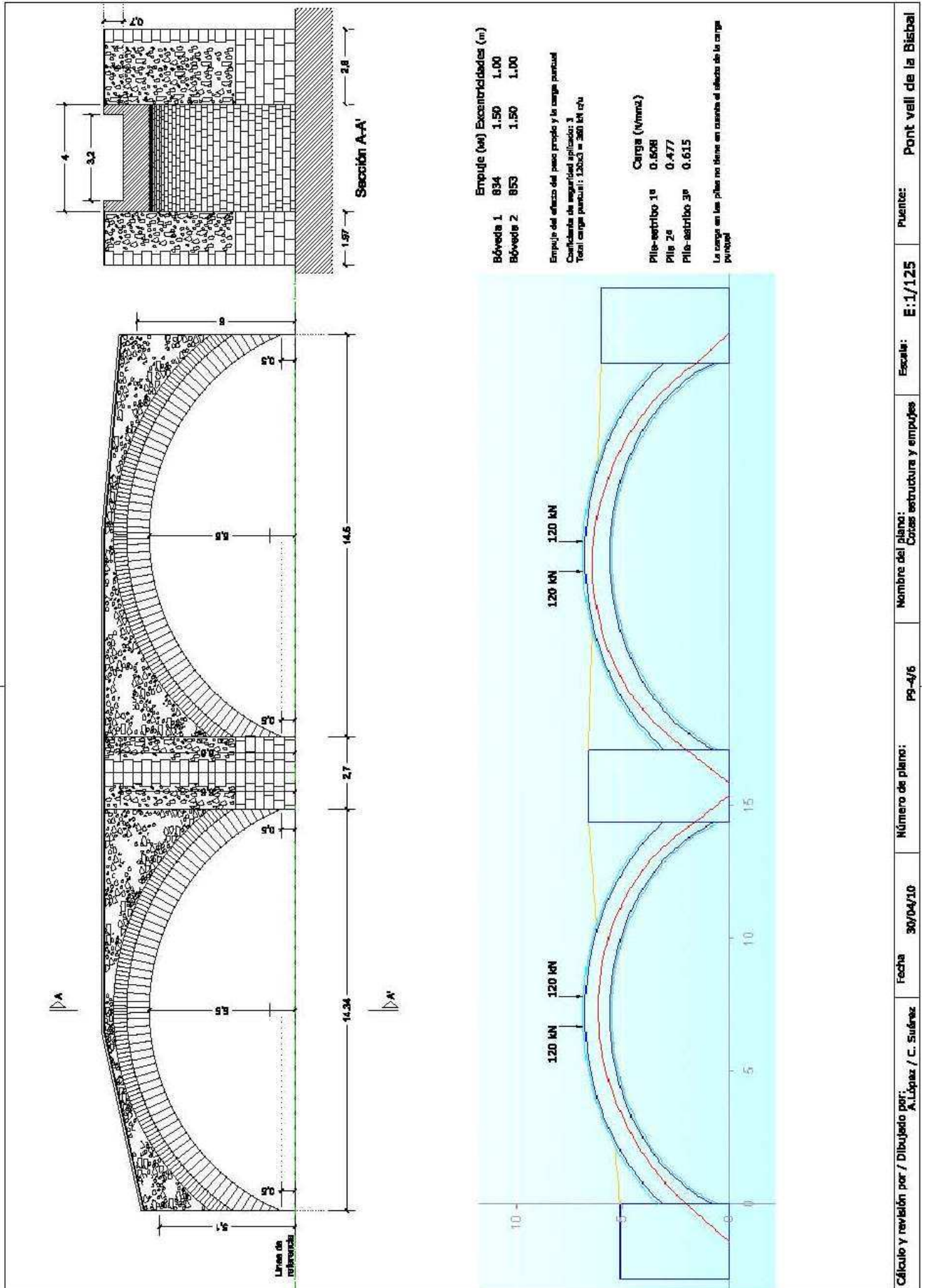
Las dos bóvedas: ambas bóvedas son de medio punto rebajadas A*.

Cuadro 9.1 Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

Dibujo 9.7 Plano P9 – 4/6 Recorrido de la línea de presiones, programa ARCs.

Dibujo 9.8 Plano P9 – 5/6 Tabla con el resumen del cálculo analítico del valor de los empujes.



9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el plano P9 – 6/6 puede verse una aproximación a la zona inundable para diferentes valores de calado, y también para cada uno de ellos el coeficiente de obturación que oscila entre el 7,77% y el 30,4%.

Se trata del río Daró, de comportamiento mediterráneo. Es un río efímero pero con frecuentes avenidas. La pendiente del río en el tramo donde se localiza el puente es del 0,571%, que corresponde a una zona de sedimentación, aunque, en el tránsito de avenidas, se comporta como fuertemente erosiva. De aquí que se halla debido reforzar la estructura del puente con las grandes escolleras (ver imagen 9.13).

La proyección de la planta es perpendicular al eje del río en este tramo.

Datos relativos a la hidráulica del puente

Cuenca Km ²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m ³ /seg	Caudal punta T:500 m ³ /seg
99,26	83	0,468	220	294	335	411,72

Tabla 9.17 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente

Considerando que la velocidad de la lamina de aguas se mantendrá a la misma velocidad de forma independiente al caudal (2 m/s)

1 Período retorno (años)	2 Caudal punta (m ³ /seg)	3 Velocidad agua (m/s)	4 Superficie equivalente total (m ²) (2/3=4)	5 Sección de paso del puente (m ²)	6 Sección suplementaria (m ²) (4-5=6)	7 Longitud del puente (m)	8 Altura equivalente agua (m) (6/7=8)
100	335	2	167,5	123,38	44,12	33,5	1,32
500	411,72	2	205,86	123,38	82,48	33,5	2,46

Tabla 9.18 Determinación del calado correspondiente a caudales punta para T=100 y T=500.

Para T=100 el nivel de las aguas llegará rasante a la altura de los pretilos, produciendo inundación de la ciudad. Para T=500, sobrepasará la altura del puente y también inundaría algunas partes de la ciudad, sobretodo la zona del casco antiguo.



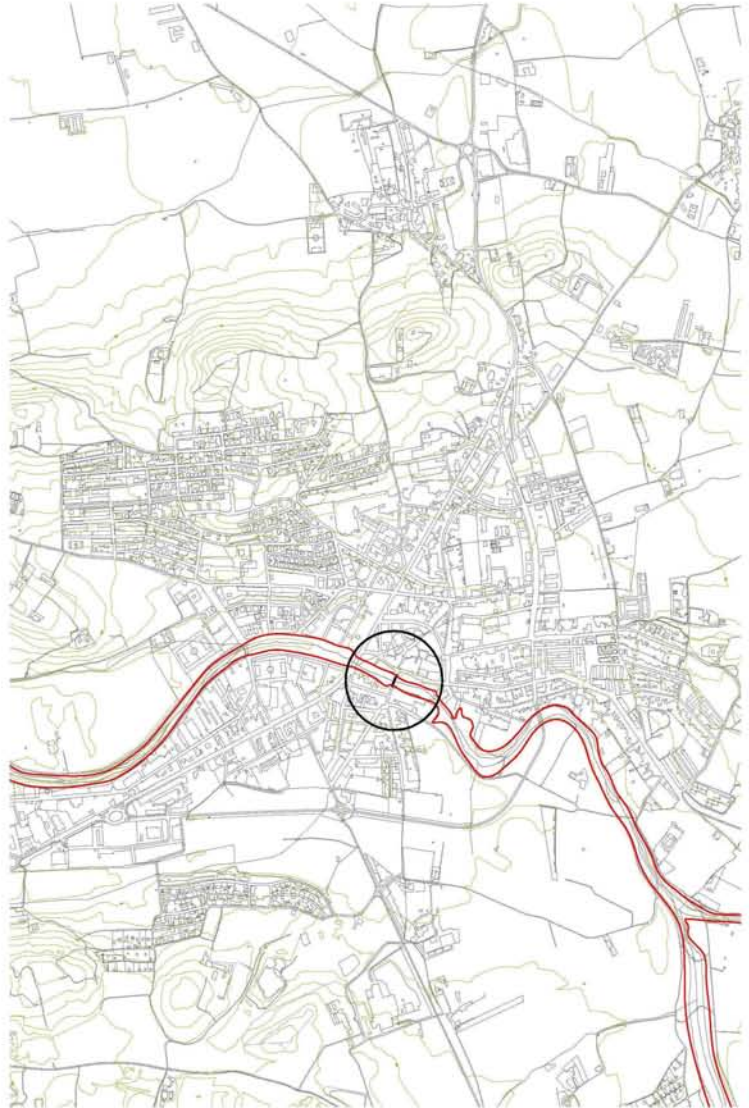
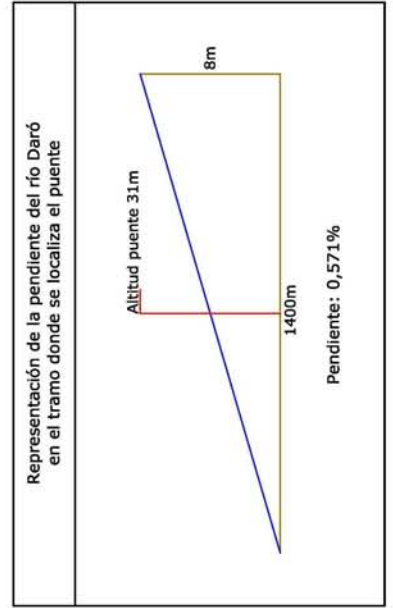
Imagen 9.13 Efecto de la sobreelevación provocada por el puente y por la forma de la escollera en una de las crecidas periódicas del río *Daró*, visto desde el margen derecho y aguas abajo.¹

En la página siguiente: Dibujo 9.9 Plano P9 6/6 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.

¹ Imagen procedente de la revista nº1 "El Drac"



Sección total	Sección de paso	% Obstrucción	Calado
179.85 m ²	123.38 m ²	30.40 %	h: 5.50 m
126.25 m ²	101.52 m ²	19.59 %	h: 3.90 m
72.66 m ²	67.02 m ²	7.77 %	h: 2.20 m



10. Hechos históricos asociados con el puente

El puente Viejo²

Había otro más “viejo”, en el mismo lugar, mencionado en documentos del año 1486 y del 1567; pero no sabemos como era y no podemos hablar mucho. ¡Quizás un día se lo llevó el Daró!

Cuando, a inicios del siglo XVII, se planteó hacer un puente, querían construirlo con un solo arco, de lado a lado, para que no hubiese pilar central por el peligro que lo derribasen las grandes riadas.

Spongamos que lo dejaron correr porque hubiese resultado con una pendiente exagerada, con un punto medio del arco muy elevado.

Después de obtener el permiso del obispo de Girona, señor feudal de la villa, deciden levantarlo con el correspondiente pilar central parecido a la proa de un barco, que así cortaría la fuerte corriente y no ofrecería tanta resistencia al agua que baja rabiosa de las Gavarres.

El resultado fue una obra simétrica, racional, que se adapta muy bien dentro de las preferencias renacentistas de la época. Está fechado en 1605.

Cuando los bisbalenses de aquel año piden la aprobación del obispo Francisco Arévalo de Zuazo, le exponen que el puente es necesario para los mercados, para la gente de los caseríos de la ribera izquierda, para los forasteros que acudían a la Bisbal para sus asuntos y para “los pobres frailes del convento” cuando van a predicar.

Correspondía a la entrada de la villa medieval del camino de Girona, justo delante del portal de la Riera. En el lugar que hoy llamamos “la placeta del pont Vell” había la barbacana o construcciones defensivas externas a la muralla y el portal. Aquí es donde los obispos, cuando llegaban de visita, bajaban del caballo y, ante los miembros del Consejo Municipal y del pueblo que los iba a recibir, debían jurar respetar las leyes o privilegios de la Bisbal.

Una ceremonia que se repetía a menudo, porque las venidas y estancias de los obispos eran frecuentes, y que era seguida de una entrada solemne, bajo palio, del prelado acompañado en procesión hasta la iglesia parroquial donde se cantaba un tedeum en acción de gracias por la llegada feliz de “sa excel-lencia reverendísima”.

El pont Vell era empedrado con ribera, para que los caballos y las mulas no resbalasen, ya que antes pasaban por allí cabalgaduras y carros.

El portal que vemos en medio, en la foto antigua, no es de la época de construcción del puente. Se construyó con motivo de las guerras carlistas del siglo XIX para defender los arrabales que ya existían en el siglo XVIII y que al derribar la barbacana quedaban desprotegidos. También se hizo otro en el bajante hacia la riera, al lado mismo del puente.

Ya en el siglo XX se decidió suprimir el pendiente empedrado y hacer escalones.

Un puente para que la gente no se moje³

Nuestra fiesta mayor atrae numerosos visitantes que nos llegan de todas direcciones. Siglos atrás, cuando la Bisbal no había desbordado del todo el perímetro de sus murallas, los forasteros que venían del lado de poniente tenían que atravesar el Daró para entrar, después, en la villa por el portal de la riera. El paso de nuestro irregular río presentaba a menudo serias dificultades. En las líneas que siguen explicamos brevemente como se construyó, hace ya casi cuatrocientos años, el más antiguo de los tres puentes que hoy nos permiten atravesar el Daró.

Antes del pont Vell

El primer núcleo urbano de la Bisbal (siglos IX-X) se levanta tomando por eje el antiguo camino del interior a la costa; lo que hoy conocemos como calle de la Riera, plaza Mayor y calle de Sant Jaume debían ver aparecer las primeras construcciones.

La proximidad del Daró fue un elemento probablemente considerado por parte de los primeros pobladores de este lugar, a principios de la Edad Media. Es también muy probable que, desde los primeros momentos, los habitantes de la villa constatasen la dificultad que representaba poder atravesar, en cualquier momento, el cauce del río.

Con los años, seguro que han seguido aguas abajo un gran número de pasarelas y palancas que los bisbalenses rehacían mecánicamente una y otra vez. Aunque son pocas las noticias que tenemos al respecto, hemos de suponer que algunas veces se lograba construir un paso de una mayor consistencia. Sabemos, por ejemplo, que en 1478 el Consejo de la villa pagaba una cantidad “para abonar montada del puente de la riera” frase que sugiere la existencia de algo más consistente que una simple palanca. Aun así, también estas construcciones más sólidas estaban condenadas a ser víctimas de las embestidas del Daró.

El 29 de marzo del año 1600 el obispo de Girona, Francisco Arévalo, recibía una carta del Consejo de la Bisbal en la que los representantes de la villa expresaban como era de imprescindible la construcción de un puente que

² Matas, Josep (2007) *La Festa Major 2007*. (La Bisbal): Ajuntament de la Bisbal, págs. 18 y 19.

³ Matas, Josep. (1984) *Un pont per a que la gent no es mulli*. (La Bisbal): Revista *La festa*. Ajuntament de la Bisbal, pág. 12

comunicase las dos orillas del Daró a la altura de la Bisbal, porque “dicho río muy a menudo va grandísimo de aguas en tanto que algunos días no se puede pasar ni a pie ni a caballo”.

La carta explica que cuando eso pasaba, los caseríos del otro lado del río y las casas que entonces comenzaban a formar la calle del Puente, quedaban incomunicadas del resto de la villa, muchas veces por bastante tiempo, porque a menudo el agua “se lleva las palancas de madera que se acostumbra a hacer en aquel y deshace y desbarata de tal manera el paso que a veces se está por mucho tiempo y meses que no hay palancas para pasar”.

Los remitentes ponen unos cuantos ejemplos de lo que todo eso supone, subrayando las cuestiones de carácter espiritual. Así, como resultado de la falta de un puente, cuando el río baja lleno “los enfermos (del otro lado) mueren sin confesar y comulgar y los infantes o chicos sin bautismo”. También tienen problemas “los pobres padres recoletos del monasterio de San Sebastián” (el convento), los cuales tienen que “pasar dicho río a pie y ponerse en el agua con gran daño y riesgo a su salud corporal”.

En general todo el mundo sale perjudicado “y principalmente los pobres que no tienen cabalgaduras y la necesidad muchas veces los fuerza a ponerse en el agua”. Los mercados también se resienten porque “los habitantes de dichos lugares vecinos a dicha villa que son de la otra parte del río no acuden ni pueden acudir como acudirían con muchas vituallas y provisiones de cosas de comer y beber (...) lo que es de grandísimo daño (...) y principalmente para los pobres”, por todo eso se pide autorización al obispo, señor jurisdiccional de la villa, para que “se haga un puente de piedra para poderse en todo momento pasar de una parte a la otra de dicho río”.

Este permiso no era difícil de conseguir pero ya lo era más que el obispo dejase utilizar, para financiar las obras, las rentas de una institución hecha a favor de los pobres de la villa por la señora Clara Canyà. Solo proporcionando 100 libras de las 300 que proporcionaba al año esta institución el puente se podrá hacer, porque la villa, argumentan los del Consejo “está muy molesta y endeudada en muchos miles de ducados”. La respuesta del obispo fue afirmativa a todas las cuestiones planteadas.

El puente deja de ser un sueño

Los libros de acuerdos municipales de la época permiten seguir la evolución de los trabajos para hacer el puente, iniciados aquel mismo año 1600. Diferentes resoluciones del Consejo nos permiten saber que el presupuesto era de 1000 libras y que se utilizó sobre todo piedra extraída de la cantera de debajo del convento. En junio de 1601, para facilitar el acceso al puente de sus futuros usuarios, se compraba un trocito de tierra por el precio de 27 libras.

La idea inicial era de hacerlo de un solo arco, sin ningún pilar en medio, con vistas de permitir más fluidez al paso del agua. Pero en una reunión del Consejo (octubre de 1602) se escucha “las opiniones de algunos hombres expertos” que afirman que “peligraba mucho de poderse conservar un arco tan grande y que sería mucho más seguro con pilar al centro y mucho más plano” por lo cual “ha determinado dicho Consejo, sin discrepar nadie, que se haga con pilar al medio”.

Los trabajos todavía seguirían hasta principios de 1605, que es también la fecha que consta en el escudo que tiene adosado en su lado norte, detrás de la fuente de la placeta del pont Vell. Pero por lo que parece, el Daró no se acaba de resignar a dejarse atravesar fácilmente y con regularidad. En noviembre de 1621 una fortísima riada dejaba muy dañado el todavía flamante puente. Hicieron falta 800 libras más, salidas del mismo lugar que las 1000 de la construcción, para volverlo a dejar en condiciones para circularse.

Desde la riada de 1621 el pont Vell ha ido cumpliendo, firme, su función. Deja pasar con una cierta indiferencia, elegantemente, las aguas que bajan de la vertiente norte de las Gavarres, camino del Mediterráneo. De todas maneras, el aspecto actual del puente no es el mismo de tiempo atrás. Antiguamente un portal situado en medio del mismo, permitía cerrarlo al tránsito.

Otro portal, por cierto, cerraba cuando convenía la rampa que bajaba a la riera desde el lado de la calle de los Corderos. Además, los escalones que hoy hay sustituyeron las rampas que permitían pasar los carros. El aspecto actual del pont Vell se lo acaba de dar el arquitecto municipal Pelagi Martínez, el cual colocó los mencionados escalones y ordenó la placeta del lado de la villa.

En definitiva, el pont Vell no lo hicieron ni los romanos ni los “moros”. Es mucho más joven. “sólo” tiene unos cuatro siglos. Sea como sea, es un elemento indispensable de nuestro pequeño paisaje urbano.



Imagen 9.9 *A la izquierda*: el puente de Santa María de La Bisbal con la entrada porticada situada al nivel de la pila central visto el margen izquierdo (alrededor de 1800).⁴

Imagen 9.10 *A la derecha*: acceso actual al puente des del margen izquierdo.

⁴ Archivo Comarcal del Baix Empordà. Autor desconocido.

Puente de Gualta

Décimo puente: pont Vell de Gualta

Sobre el río Daró, afluente del Ter. Está junto a la entrada norte de la población de Gualta. Calzada en doble pendiente y longitud total de 68 metros. Soportada por cinco arcos rebajados, un ancho de calzada de 3 metros, con un paso transitable de 2,2 metros.

En el empedrado de la calzada, se conservan las señales de los carros que han atravesado durante siglos este puente, hasta que ha quedado estrecho para el paso de las máquinas agrícolas y los automóviles modernos. La tradición popular dice que este puente se asienta sobre otro más antiguo, que colapsó en una riada y sobre sus cimientos se construyó el actual.



Imagen 10.1 Vista general del puente desde la orilla derecha aguas abajo

1. Localización

10	1.1	Denominación del puente	Pont Vell de Gualta
10	1.2	Cuenca del río	Daró
10	1.3	Comarca	Baix Empordà
10	1.4	Río	Daró
10	1.5	Término municipal	Gualta
10	1.6	Lugar	en la población
10	1.7	Coordenadas geográficas	42º 01' 52,04" N 3º 06' 11,03" E
10	1.8	Coordenadas UTM (x, y)	x' 508630 y'4653438
10	1.9	Altitud metros sobre el nivel del mar (metros)	4,1
10	1.10	Orientación	N-S

Tabla 10.1 Situación de la obra.

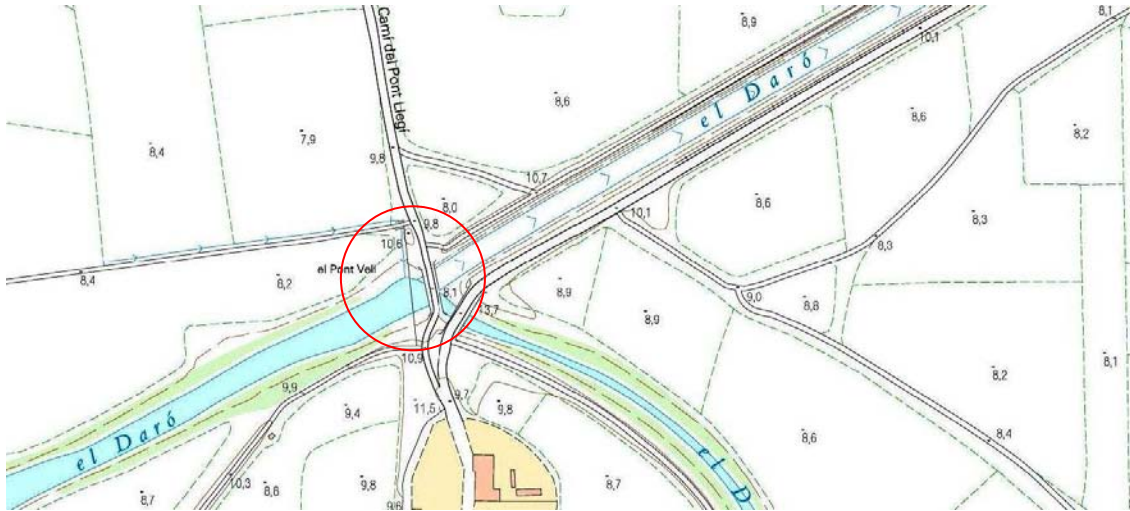


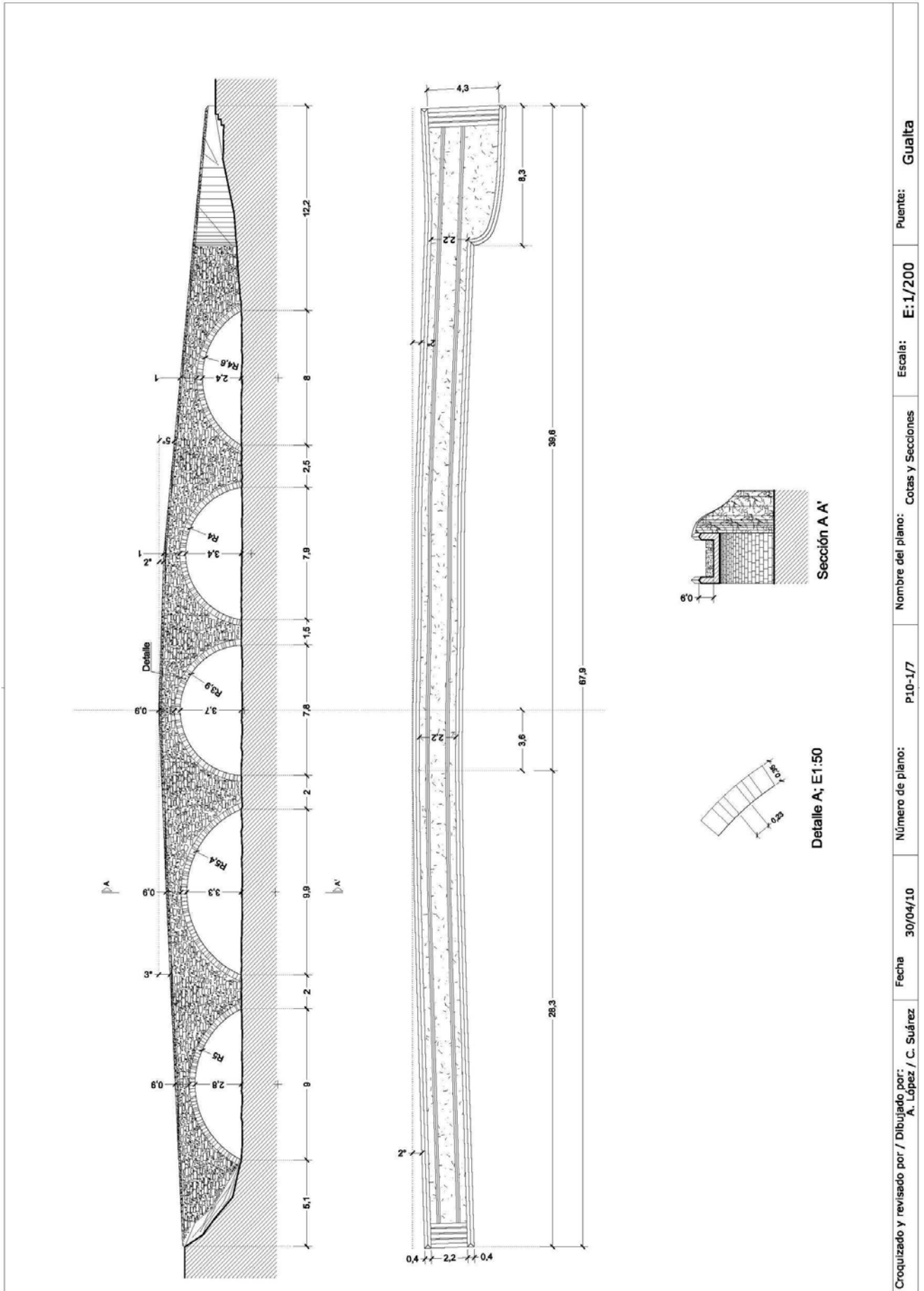
Imagen 10.2 Vista topográfica de la localización del puente.

2. Características generales

10	2.1	Número de arcos		5
10	2.2	Luz de los arcos	L (metros)	7,8-9,9
10	2.3	Directriz del arco principal	$\sigma = f / L$	circulares
10	2.4	Número de arquillos de aligeramiento		No
10	2.5	Altura del puente desde la albardilla del pretil al lecho del río	H (metros)	5
10	2.6	Calzada con pendientes		Si
10	2.7	Longitud calzada 1 izquierda aguas abajo	L_{c1} (metros)	31,9
10	2.8	Ángulo de inclinación 1	β_1	3°
10	2.9	Longitud calzada 2	L_{c2}	36
10	2.10	Ángulo de inclinación 2	β_2	3°
10	2.11	Longitud total en planta	L_c (metros)	67,9
10	2.12	Ancho total en planta	A_p (metros)	3
10	2.13	Ancho de la calzada	A_c (metros)	2,2
10	2.14	Espesor de los pretiles	c_p (metros)	0,4
10	2.15	Altura de los pretiles	h_{pr} (metros)	0,9
10	2.16	Acabado del pretil: albardilla, piezas con un labrado superficial		triangular
10	2.17	Longitud de los estribos	C_E (metros)	2,25 y 2
10	2.18	Longitud del terraplén	L_t (metros)	2,85 y 10,2
10	2.19	Encauzamiento del río en este tramo		mota de tierra

Tabla 10.2 Datos arquitectónicos.

En la página siguiente: Dibujo 10.0 Dimensiones fundamentales.



Croquizado y revisado por / Dibuñado por:
A. López / C. Suárez

Fecha 30/04/10

Número de plano:
P10-1/7

Nombre del plano:
Cotas y Secciones

Escala: E:1/200

Puente: Gualta

Este puente se sitúa en la localidad del mismo nombre, cerca de la desembocadura del río Daró al denominado Daró antiguo y al canal construido para que a partir de un determinado caudal desemboque en el cauce del río Ter, en la zona de Torroella de Montgrí.

El puente cubre un vano del río de casi 68 metros. Su rasante está construida con una ligera doble pendiente del orden de los 3º por cada lado. Si se observa la proyección de su planta, forma un pequeño arco de 2º por cada lado. La proyección total de la rasante es de 3 metros.

La rasante descansa sobre cinco bóvedas circulares rebajadas, de luces diferentes, comprendidas entre los 8 y los casi 10 metros.



Imagen 10.3 Paso inundable por la zona de aguas abajo

Para acceder al puente cuenta con dos terraplenes de 5 y 16 metros de longitud, terraplenes que contiene a los dos estribos.

Es de los pocos puentes que, en época de estiaje, es posible ver la parte más alta del cimientado donde se asientan las pilas. Se aprecia que el cimientado está formado por una pieza rectangular de superficie mayor que la del asiento de la pila, posiblemente de mampostería con mortero de cal hidráulica.

En el paramento se pueden observar dos zonas, la primera va desde el arranque del arco al extradós, está formada por mampostería donde aparecen también: sillarejo, mampuestos, ripio y lajas.

La segunda zona se inicia donde finaliza la primera y continua para completar la altura hasta llegar al pretil, está formada por mampostería con mortero de cemento. El pretil está coronado por una albardilla de mampostería de forma triangular, con un acabado de mortero que cubre a los mampuestos.



Imagen 10.4 Calzada vista desde el margen derecho.
Observar las huellas dejadas por la circulación de los carros.

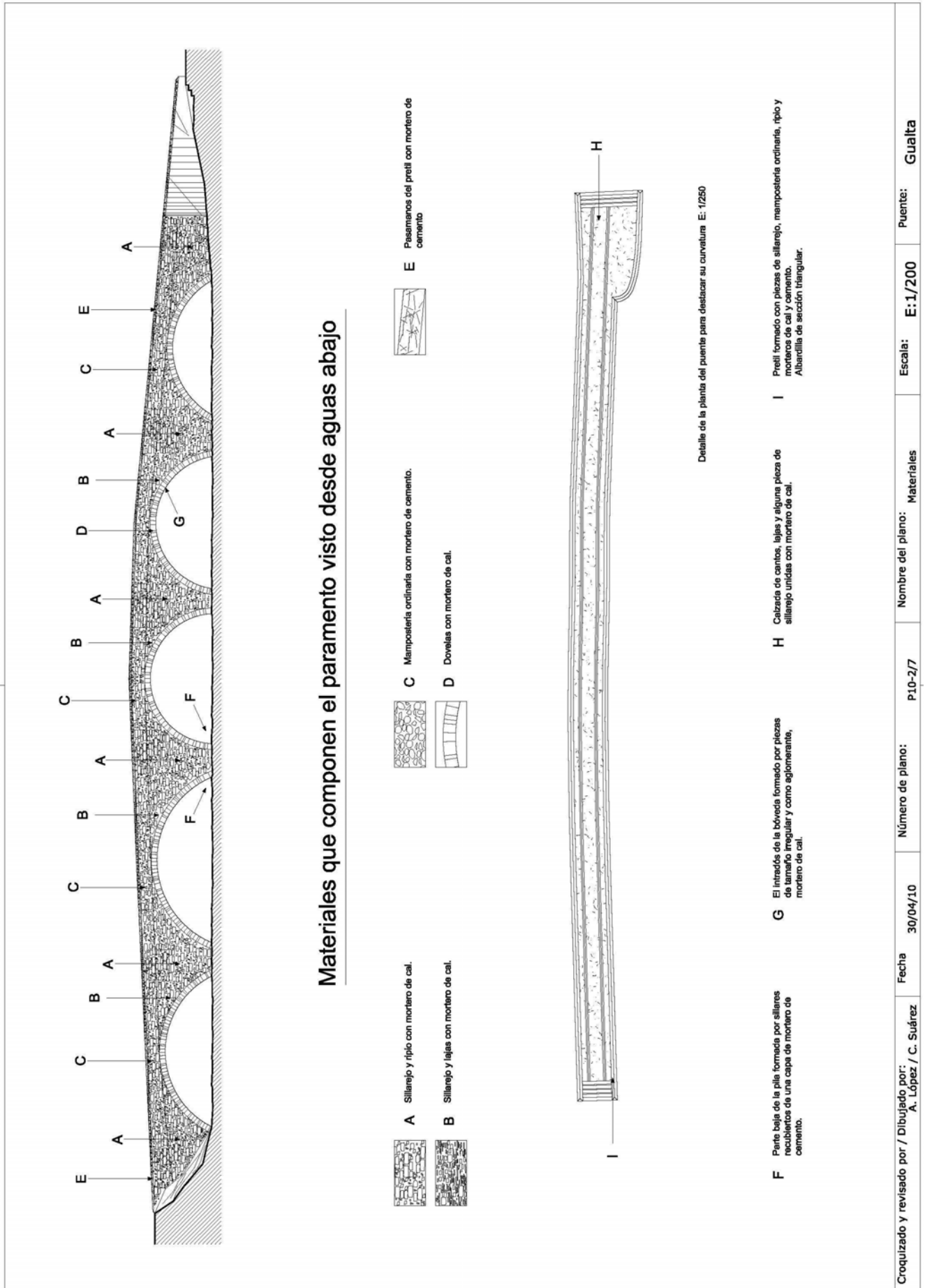
Las boquillas de las bóvedas presentan un buen acabado en la operación de labrado. En las bóvedas se puede apreciar la forma visible de las piezas y que en la restauración realizada por el Servei de Monuments de la Diputació de Girona, en el año 2000, fueron repasadas, rellenando las zonas con pérdida de material, al mismo tiempo que se colocaba una mínima capa de enlucido para homogeneizar su superficie.

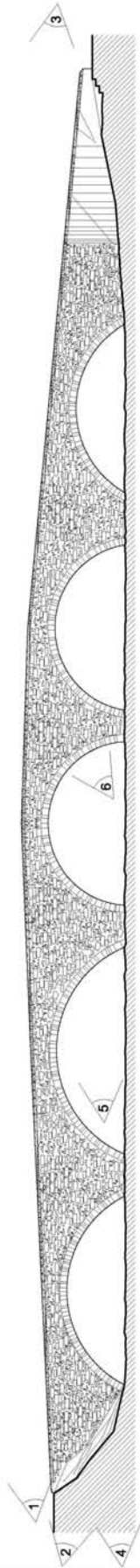
La calzada, formada por mampuestos y grandes cantos tiene marcadas las huellas dejadas por los carros que atravesaban el puente con una profundidad media de 10 cm.

En las páginas siguientes:

Dibujo 10.1 Plano P10 – 2/6 Sobre la composición del paramento.

Dibujo 10.2 Plano P10 – 1/6 Detalles fotográficos





1. Calzada con huellas de circulación de carros







2. Vista general aguas abajo

3. Entrada al puente desde el lado norte

4. Arco, pila y paramento desde la orilla derecha aguas abajo

5. Bóveda de uno de los arcos

6. Paramentos del tajamar aguas abajo

Fotografías por / Dibujado por: A. López / C. Suárez

Fecha 30/04/10

Número de plano: P10-3/7

Nombre del plano: Detalles fotográficos

Escala: E:1/200

Puente: Gualta

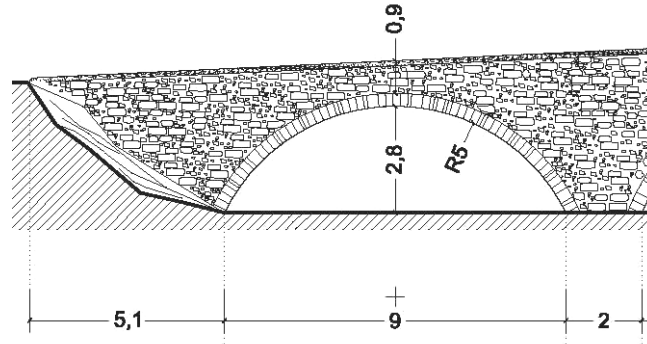
3. Geometría de la estructura

3.0 Características de los arcos

Vistos desde aguas abajo

Orden de identificación: de izquierda a derecha

3.1 Arco primero



Dibujo 10.3 Arco primero.

10	3.1.2	Número de roscas		1
10	3.1.3	Radio	R_1 (metros)	5
10	3.1.4	Luz	L_1 (metros)	9
10	3.1.5	Flecha	f_1 (metros)	2,8
10	3.1.6	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_1$	129°
10	3.1.7	Directriz : flecha/luz	$\sigma_1 = f_1 / L_1$	$2,8/9 = 1/3,2 = 0,3125$
10	3.1.8	Ancho de pilas	B_{p1}	2,25 y 2
10	3.1.9	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p1} (metros)		No
10	3.1.10	Dovelas: canto	c_1 (metros)	0,35
10	3.1.11	grueso	e_1 (metros)	0,23
10	3.1.12	Cantidad de dovelas	n_1	49
10	3.1.13	Canto dovela / luz	c_1 / L_1	$0,35/9 = 1/25,7$
10	3.1.14	Relación ancho pila / luz	B_{p1} / L_1	$2/9 = 1/4,5$
10	3.1.15	Estado de la bóveda	E_{b1}	Bien

Tabla 10.3 Detalles del arco primero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco no peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_1 = 0,312 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

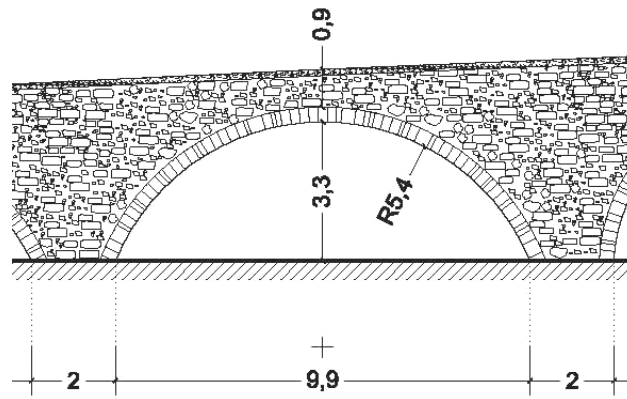
En función del diámetro, es un arco 2b (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_1 / L_1 = 0,35/9 = 1/25,7$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.2 Arco segundo



Dibujo 10.4 Arco segundo.

10	3.2.1	Número de roscas		1
10	3.2.2	Radio	R_2 (metros)	5,4
10	3.2.3	Luz	L_2 (metros)	9,9
10	3.2.4	Flecha	f_2 (metros)	3,3
10	3.2.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_2$	135°
10	3.2.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_2 = f_2 / L_2$	$3,3/9,9 = 1/3 = 0,333$
10	3.2.7	Ancho de pilas	B_{p2}	2 y 2
10	3.2.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p2} (metros)		No
10	3.2.9	Dovelas: canto	c_2 (metros)	0,35
10	3.2.10	grueso	e_2 (metros)	0,23
10	3.2.11	Cantidad de dovelas	n_2	55
10	3.2.12	Canto dovela / luz	c_2 / L_2	$0,35/9,9 = 1/28,28$
10	3.2.13	Relación ancho pila / luz	B_{p2} / L_2	$2/9,9 = 1/4,95$
10	3.2.14	Estado de la bóveda	E_{b2}	Bien

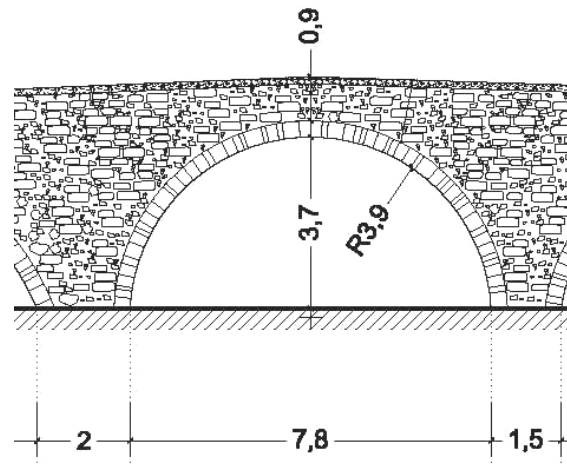
Tabla 10.4 Detalles del arco segundo.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco no peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_2 = 0,333 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).
 Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_2 / L_2 = 0,35/9,9 = 1/28,28$
 Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.
 Cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.3 Arco tercero



Dibujo 10.5 Arco tercero.

10	3.3.1	Número de roscas		1
10	3.3.2	Radio	R_3 (metros)	3,9
10	3.3.3	Luz	L_3 (metros)	7,8
10	3.3.4	Flecha	f_3 (metros)	3,7
10	3.3.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_3$	172°
10	3.3.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_3 = f_3 / L_3$	$3,7/7,8 = 1/2,1$
10	3.3.7	Ancho de pilas	B_{p3}	2 y 1,5
10	3.3.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p3} (metros)		No
10	3.3.9	Dovelas: canto	c_3 (metros)	0,35
10	3.3.10	grueso	e_3 (metros)	0,23
10	3.3.11	Cantidad de dovelas	n_3	51
10	3.3.12	Canto dovela / luz	c_3 / L_3	$0,35/7,8 = 1/22,28$
10	3.3.13	Relación ancho pila / luz	B_{p3} / L_3	$2/7,8 = 1/3,9$
10	3.3.14	Estado de la bóveda	E_{b3}	Bien

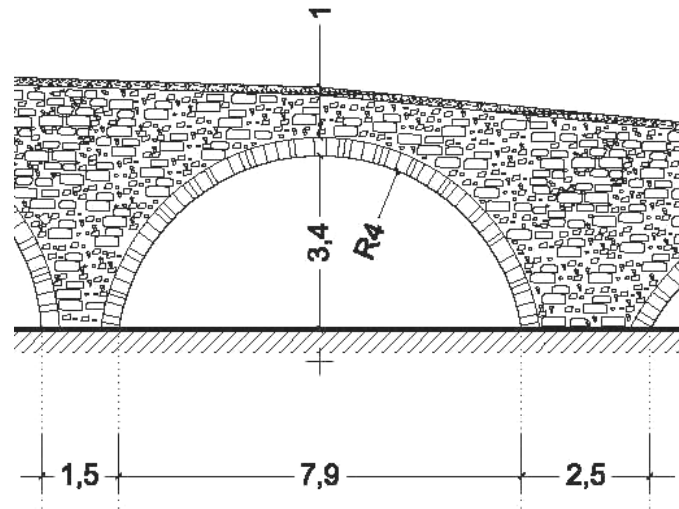
Tabla 10.5 Detalles del arco tercero.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco no peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_3 = 0,476 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).
 Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_3 / L_3 = 0,35/7,8 = 1/22,28$
 Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.
 Cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.4 Arco cuarto



Dibujo 10.6 Arco cuarto.

10	3.4.1	Número de roscas		1
10	3.4.2	Radio	R_4 (metros)	4
10	3.4.3	Luz	L_4 (metros)	7,9
10	3.4.4	Flecha	f_4 (metros)	3,4
10	3.4.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_4$	160°
10	3.4.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_4 = f_4 / L_4$	$3,4/7,9 = 1/2,32$
10	3.4.7	Ancho de pilas	B_{p4}	1,5 y 2,5
10	3.4.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p4} (metros)		No
10	3.4.9	Dovelas: canto	c_4 (metros)	0,35
10	3.4.10	grueso	e_4 (metros)	0,23
10	3.4.11	Cantidad de dovelas	n_4	49
10	3.4.12	Canto dovela / luz	c_4 / L_4	$0,35/7,9 = 1/22,57$
10	3.4.13	Relación ancho pila / luz	B_{p4} / L_4	$1,7/7,9 = 1/5,26$
10	3.4.13	Estado de la bóveda	E_{b4}	Bien

Tabla 10.6 Detalles del arco cuarto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco no peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_4 = 0,431 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

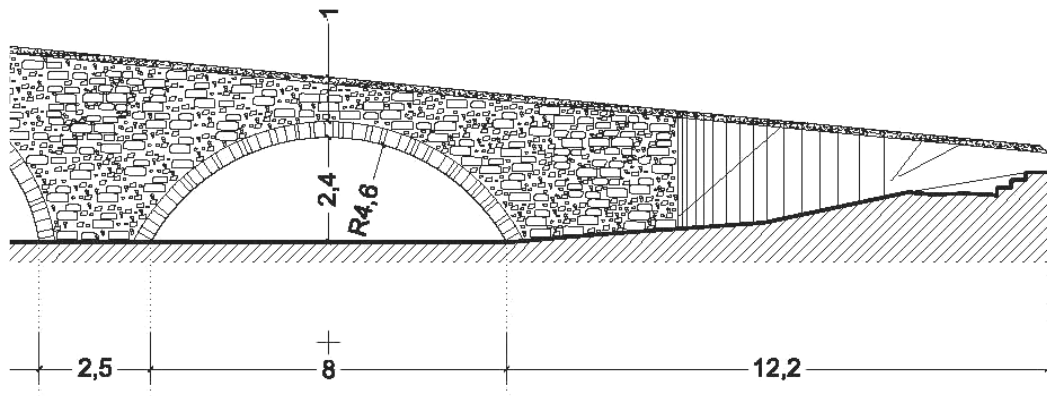
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltez del arco: Canto dovela / luz $c_4 / L_4 = 0,35/7,9 = 1/22,57$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.5 Arco quinto



Dibujo 10.7 Arco quinto.

10	3.5.1	Número de roscas		1
10	3.5.2	Radio	R_5 (metros)	4,6
10	3.5.3	Luz	L_5 (metros)	8
10	3.5.4	Flecha	f_5 (metros)	2,4
10	3.5.5	Ángulo de longitud de arco	$2\alpha_5$	124°
10	3.5.6	Directriz : flecha/luz	$\sigma_5 = f_5 / L_5$	$2,4/8 = 1/3,33$
10	3.5.7	Ancho de pilas	B_{p5}	2,5 y 2
10	3.5.8	Altura peraltes desde el cimiento al arranque del arco h_{p5} (metros)		No
10	3.5.9	Dovelas: canto	c_5 (metros)	0,35
10	3.5.10	grueso	e_5 (metros)	0,23
10	3.5.11	Cantidad de dovelas	n_5	43
10	3.5.12	Canto dovela / luz	c_5 / L_5	$0,35/8 = 1/22,85$
10	3.5.13	Relación ancho pila / luz	B_{p5} / L_5	$2,5/8 = 1/3,2$
10	3.5.14	Estado de la bóveda	E_{b5}	Bien

Tabla 10.7 Detalles del arco quinto.

Tipología de la unidad estructural:

Se trata de un arco no peraltado con las tangentes inclinadas en los arranques, donde se cumple que $\sigma_5 = 0,3 > 0,288$, que en la clasificación de P.S. corresponde a un arco poco rebajado y da lugar a una bóveda inarticulada de la serie A*

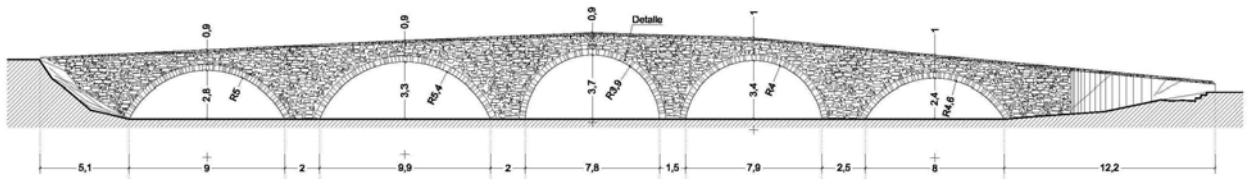
En función del diámetro, es un arco $2b$ (> 5 metros, < 10 metros).

Esbeltéz del arco: Canto dovela / luz $c_5 / L_5 = 0,35/8 = 1/22,85$

Material de la bóveda 4d: fábrica de diversos materiales.

Cimentación 5d: recinto de tablestacas relleno de hormigón.

3.6 Resumen de características de los arcos



Dibujo 10.8 Alzado del puente.

Arcos	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Número de roscas	1	1	1	1	1
Radio R_{1-5} (metros)	5	5,4	3,9	4	4,6
Luz L_{1-5} (metros)	9	9,9	7,8	7,9	8
Flecha f_{1-5} (metros)	2,8	3,3	3,7	3,4	2,4
Ángulo de longitud de arco $2\alpha_{1-5}$	129°	135°	172°	160°	124°
Directriz : flecha/luz $\sigma_{1-5} = f_{1-5} / L_{1-5}$	$2,8/9 = 1/3,2$	$3,3/9,9 = 1/3$	$3,7/7,8 = 1/2,1$	$3,4/7,9 = 1/2,32$	$2,4/8 = 1/3,33$
Ancho de pilas B_{p1-5}	2	2	1,5	2,5	2,5
Altura peraltes desde el cimientto al arranque del arco h_{p1-5} (metros)	No	No	No	No	No
Dovelas: canto c_{1-5} (metros)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
grueso e_{1-5} (metros)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Cantidad de dovelas n_{1-5}	49	55	51	49	43
Canto dovela / luz c_{1-5} / L_{1-5}	$0,35/9 = 1/25,7$	$0,35/9,9 = 1/28,28$	$0,35/7,8 = 1/22,28$	$0,35/7,9 = 1/22,57$	$0,35/8 = 1/22,85$
Relación ancho pila / luz B_{p1-5} / L_{1-5}	$5,1/9 = 1/1,76$	$2/9,9 = 1/4,95$	$2/7,8 = 1/3,9$	$1,5/7,9 = 1/5,26$	$2,5/8 = 1/3,2$
Estado de la bóveda E_{b1-5}	Bien	Bien	Bien	Bien	Bien

Tabla 10.8 Resumen de las características de los arcos.

Todos los arcos y las bóvedas a las que dan lugar, según la clasificación de Séjourné para bóvedas inarticuladas. Son arcos con las tangentes inclinadas en los arranques, series A: arco poco rebajado, cuya directriz esta formada por el segmento de un arco, donde se cumple que flecha/ luz = $\sigma > 1/2\sqrt{3} = 0,288$.

4, 5 y 6. Características de las pilas, tajamares, estribos y terraplenes

Sigue con la misma nomenclatura de identificación que los arcos.

4. Pilas	Pila estribo	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Pila estribo
Dimensiones (largo x fondo)	2,25 x 3	2 x 3	2 x 3	1,5 x 3	2,5 x 3	2 x 3
Ancho de la pila / luz del arco B_p / L	$2,25/9 = \frac{1}{4}$	$2/9,9 = \frac{1}{4,95}$	$2/7,8 = \frac{1}{3,9}$	$1,5/7,9 = \frac{1}{5,26}$	$2,5/8 = \frac{1}{3,2}$	$2/8 = \frac{1}{4}$
Altura de la pila: desde cimiento a arranque del arco h_p	0	0	0	0	0	0
Ancho de la pila mayor / altura del puente B_p / H	$2,25/4,95 = \frac{1}{2,2}$	-	-	-	-	-
Cimiento de la pila T_c	Tablestaca relleno de mampostería	Tablestaca relleno de mampostería	Tablestaca relleno de mampostería	Tablestaca relleno de mampostería	Tablestaca relleno de mampostería	Tablestaca relleno de mampostería
Base en la que se apoya el cimiento	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible
Protección contra la erosión	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible	no visible

Tabla 10.9 Características de las pilas.

6. Estribos y terraplenes (estimación)	Estribo 1º	Estribo 2º
Dimensiones (largo x fondo)	2,25 x 3	2 x 3
Largo de estribo / luz del arco	$2,5/9 = 1/3,6$	$2,5/8 = 1/3,2$
Largo de estribo / luz mayor	$2,5/9,9 = 1/3,96$	$2,5/9,9 = 1/3,96$
Largo de estribo / longitud puente	$2,5/68 = 1/27,2$	$2,5/68 = 1/27,2$
Longitud del terraplén	6,1	12,2
Orientación del terraplén	eje del puente	eje del puente
Aleta de mantenimiento del terraplén	Mota	Mota

Tabla 10.10 Características estimadas de los estribos.

7. Sobre las reglas empíricas

Luz	Canto	Altura de pila	Ancho de pila
9	0,35	0	2,25
9,9	0,35	0	2
7,8	0,35	0	2
7,9	0,35	0	1,5
8	0,35	0	2,5
8	0,35	0	2

Tabla 10.11 Valores correspondientes al puente de Gualta.

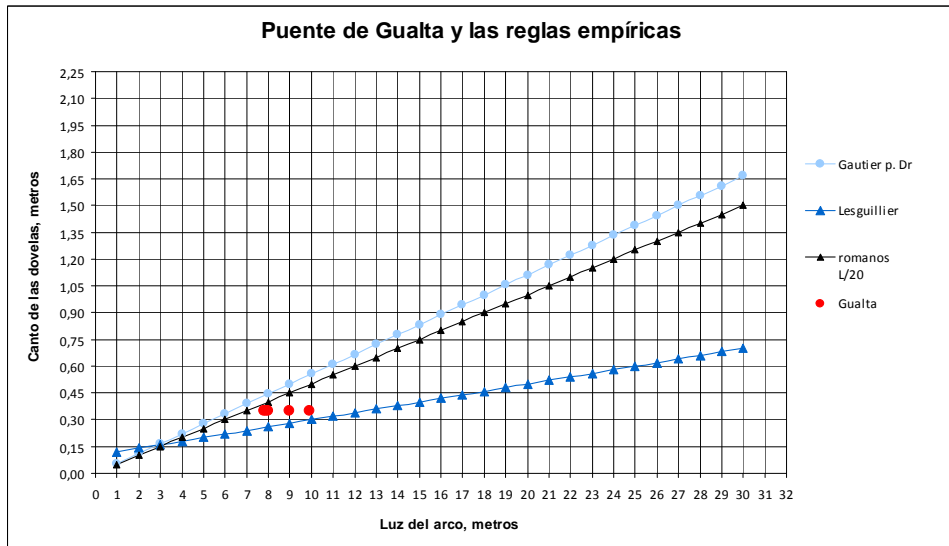


Gráfico 10.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Gualta

Se puede observar que los cantos de las dovelas de todas las bóvedas guardan una relación cercana entre si, y cercanas a un valor intermedio entre las reglas empleadas por los romanos, al final de la época del Imperio y la regla que propondrá Lesguillier siglos después.

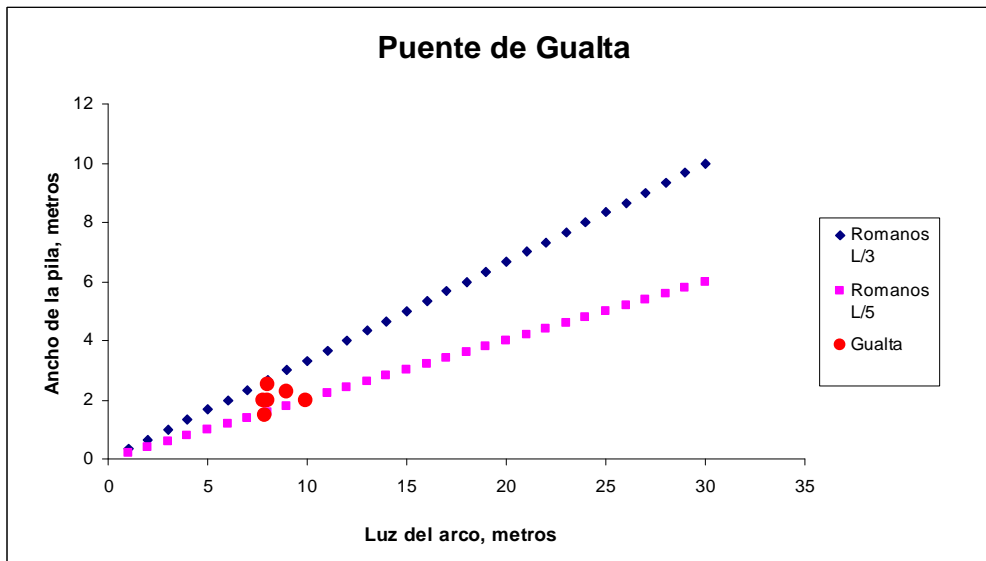


Gráfico 10.1 Fórmulas empíricas aplicables al puente de Gualta

Se desprende del gráfico que todos los valores se mantienen dentro de un área comprendida entre las reglas que utilizaban los romanos a lo largo de los años del Imperio.

8. Sobre la estructura

Con el programa ARCs hemos determinado, para cada bóveda, los valores de los empujes, las excentricidades. Necesarios para mantener la línea de presiones en la zona comprendida entre el intradós y el extradós.

En las conclusiones del trabajo, se comparan los resultados obtenidos con ARCs con los resultados obtenidos por el procedimiento analítico.

A modo de resumen se puede destacar que los resultados medios de los empujes horizontales obtenidos mediante el procedimiento analítico son un 8,72% mayores que los obtenidos con la simulación con ARCs.

8.1 Valores de los empujes y excentricidades obtenidos con ARCs, para diferentes condiciones:

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	236	0,4 y 0,3
Segunda	230	0,7 y 0,3
Tercera	130	1,3 y 1,15
Cuarta	145	0,9 y 1,15
Quinta	228	0,4 y 0,6

Tabla 10.12 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas debidos al peso propio de la estructura.

Bóveda	Empujes de KN	excentricidades
Primera	610	0,55 y 0,55
Segunda	230	0,7 y 0,3
Tercera	130	1,3 y 1,15
Cuarta	145	0,9 y 1,15
Quinta	228	0,4 y 0,6

Tabla 10.11 Valores de los empujes horizontales en cada una de las bóvedas considerando un tren de cargas de dos ejes separados 2 metros y cada una cargada con 120 KN, y con coeficiente de seguridad 3, localizando la carga a $\frac{1}{2}$ de la bóveda primera.

8.2 Valores de las cargas específicas sobre los cimientos obtenidas por el procedimiento analítico:

Pila	Carga sobre el cimiento en N/mm²
Primera	0,104
Segunda	0,237
Tercera	0,259
Cuarta	0,299
Quinta	0,189
Sexta	0,084
Valor medio familia	0,375
Valor medio general	0,35313

Tabla 10.12 Valores de las cargas específicas que las pilas apoyan sobre los cimientos

Si, como hemos hecho con los puentes anteriores, sustituimos la carga doble de 120 KN por la que representarían tres animales de carga, en paralelo, y cada uno de ellos con una carga total de 400 kg., supondrían, si las distanciamos 2 metros, cargas puntuales de 4 KN que, para mantener el mismo recorrido de la línea de presiones, calculada para 120 KN, supondría un coeficiente de seguridad de 90.

Para realizar la clasificación de la estructura hemos recurrido a la propuesta Séjourné y también a otras de uso común para las estructuras de obra de fábrica:

Según el nº de arcos es: multiarco (1.b)
 En función del vano mayor: > 5 < 10 metros (2.b)
 En función de la directriz: flecha /luz 1/2 a 1/ 3,33
 En función de la esbeltez del arco: c en la clave/luz 1/28,28
 En función del material de la bóveda: fabrica de diversos materiales (4.d)
 En función de las cargas máxima sobre el cimiento: 0,298 N/mm²
 Y de los máximos empujes horizontales: 260 KN
 En función del tipo de cimentación: Recinto de tablestacas relleno en masa (5.d)

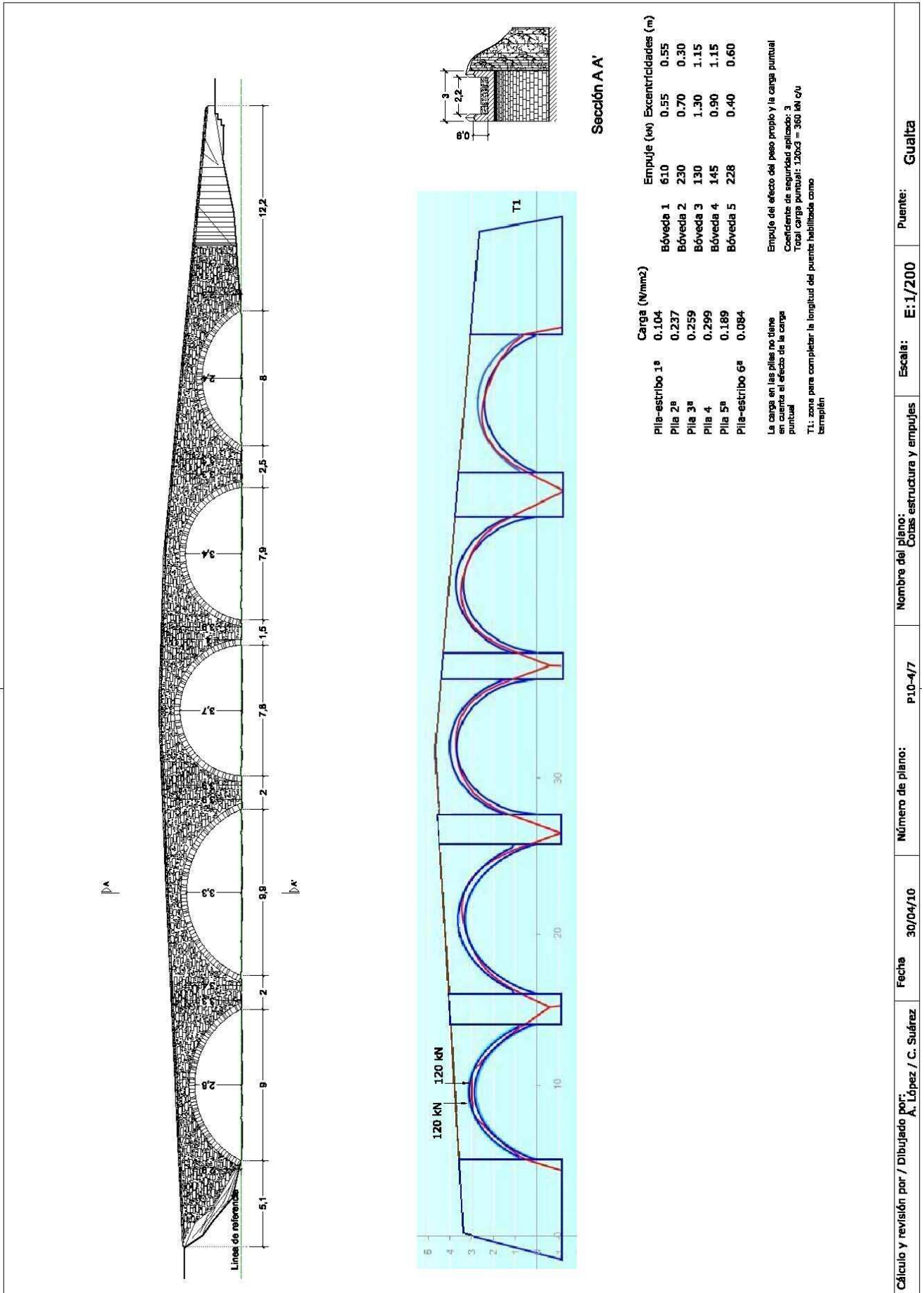
Las cinco bóvedas: todas ellas son circulares poco rebajadas A* de $\sigma \geq ,0288$.

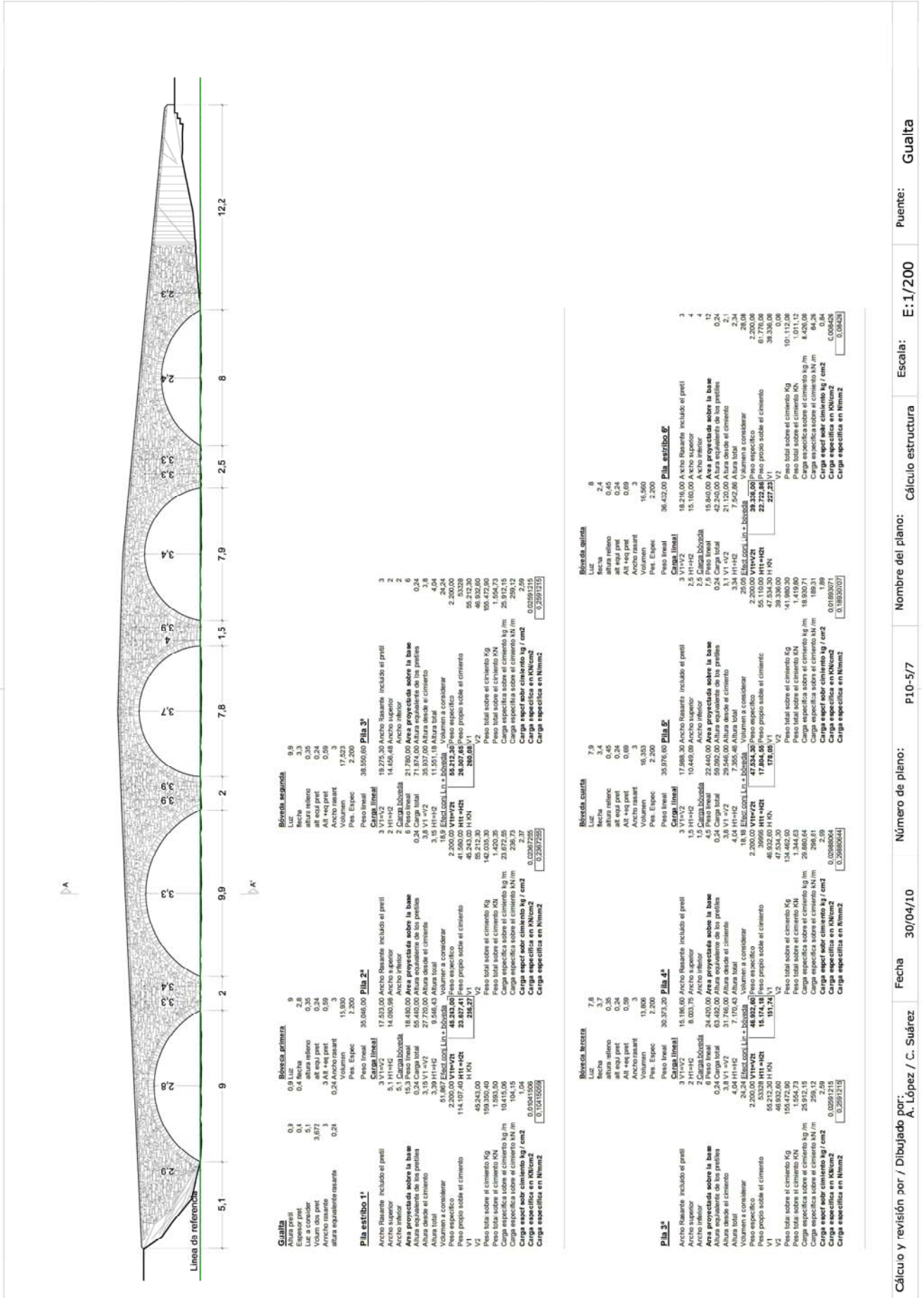
Cuadro 10.1 – Clasificación global de la estructura.

En las páginas siguientes:

Dibujo 10.9 Plano P10 – 4/6 Recorrido de la línea de presiones, programa ARCs.

Dibujo 10.10 Plano P10 – 5/6 Tabla con el resumen del cálculo analítico sobre el valor de los empujes.





Cálculo y revisión por / Dibujado por:	Fecha	Número de plano:	P10-5/7	Nombre del plano:	Cálculo estructura	Escala:	E:1/200	Puente:	Guala
A. López / C. Suárez	30/04/10								

Guala		Bóveda primera		Bóveda segunda		Bóveda séptima	
Altura perfil	0,9	Luc	7,9	Luc	8	Luc	8
Altura	0,9	altura	0,45	altura	0,45	altura	0,45
Luc	0,9	alt equl pret	0,24	alt equl pret	0,24	alt equl pret	0,24
Luc a considerar	0,1	Alt + eq pret	0,69	Alt + eq pret	0,69	Alt + eq pret	0,69
Volum dos pret	3,672	Volum masant	13,808	Volum masant	16,590	Volum masant	16,590
Archo masante	3	Pres. Espec	2,200	Pres. Espec	2,200	Pres. Espec	2,200
altura equivalente masante	0,24						

Pila estribo 1'		Pila 2*		Pila 4*		Pila 5*	
Archo Basante incluido el perfil	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2
Archo superior	5,1 H1+H2	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil	17,503,00 Ancho Basante incluido el perfil
Archo inferior	2 H1+H2	14,080,98 Ancho superior	14,080,98 Ancho superior	14,080,98 Ancho superior	14,080,98 Ancho superior	14,080,98 Ancho superior	14,080,98 Ancho superior
Area proyectada sobre la base	15,3 H1+H2	18,480,00 Area proyectada sobre la base	18,480,00 Area proyectada sobre la base	18,480,00 Area proyectada sobre la base	18,480,00 Area proyectada sobre la base	18,480,00 Area proyectada sobre la base	18,480,00 Area proyectada sobre la base
Altura equivalente de los perfiles	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Altura desde el cimiento	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2
Altura desde el cimiento	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2	3,15 V1 + V2
Volumen a considerar	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2	81,367 H1+H2
Peso específico	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2
Peso propio sobre el cimiento	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2	114,107,00 H1+H2
Peso total sobre el cimiento KG	193,200,40	193,200,40	193,200,40	193,200,40	193,200,40	193,200,40	193,200,40
Peso total sobre el cimiento KN	1,983,50	1,983,50	1,983,50	1,983,50	1,983,50	1,983,50	1,983,50
Carga específica sobre el cimiento kg/m	10,415,06	10,415,06	10,415,06	10,415,06	10,415,06	10,415,06	10,415,06
Carga específica sobre el cimiento kN/m	104,15	104,15	104,15	104,15	104,15	104,15	104,15
Carga específica en kN/m ²	0,03015008	0,03015008	0,03015008	0,03015008	0,03015008	0,03015008	0,03015008
Carga específica en N/mm ²	0,10145009	0,10145009	0,10145009	0,10145009	0,10145009	0,10145009	0,10145009

Bóveda tercera		Bóveda cuarta		Bóveda quinta		Bóveda sexta	
Luc	7,9	Luc	7,9	Luc	7,9	Luc	7,9
altura	0,35	altura	0,45	altura	0,45	altura	0,45
alt equl pret	0,24	alt equl pret	0,24	alt equl pret	0,24	alt equl pret	0,24
Alt + eq pret	0,99	Alt + eq pret	0,69	Alt + eq pret	0,69	Alt + eq pret	0,69
Volum masant	13,808	Volum masant	16,530	Volum masant	16,590	Volum masant	16,590
Pres. Espec	2,200	Pres. Espec	2,200	Pres. Espec	2,200	Pres. Espec	2,200

Pila 3*		Pila 6*		Pila 7*		Pila 8*	
Archo Basante incluido el perfil	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2	3 V1+V2
Archo superior	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2	5,1 H1+H2
Archo inferior	2 H1+H2	2 H1+H2	2 H1+H2	2 H1+H2	2 H1+H2	2 H1+H2	2 H1+H2
Area proyectada sobre la base	6 H1+H2	6 H1+H2	6 H1+H2	6 H1+H2	6 H1+H2	6 H1+H2	6 H1+H2
Altura equivalente de los perfiles	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Altura desde el cimiento	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2
Altura desde el cimiento	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2	3,8 V1 + V2
Volumen a considerar	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2	24,24 H1+H2
Peso específico	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2	2,200,00 H1+H2
Peso propio sobre el cimiento	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2	53,328 H1+H2
Peso total sobre el cimiento KG	194,472,90	194,472,90	194,472,90	194,472,90	194,472,90	194,472,90	194,472,90
Peso total sobre el cimiento KN	1,984,73	1,984,73	1,984,73	1,984,73	1,984,73	1,984,73	1,984,73
Carga específica sobre el cimiento kg/m	25,912,15	25,912,15	25,912,15	25,912,15	25,912,15	25,912,15	25,912,15
Carga específica sobre el cimiento kN/m	259,12	259,12	259,12	259,12	259,12	259,12	259,12
Carga específica en kN/m ²	0,02991215	0,02991215	0,02991215	0,02991215	0,02991215	0,02991215	0,02991215
Carga específica en N/mm ²	0,2591215	0,2591215	0,2591215	0,2591215	0,2591215	0,2591215	0,2591215

9. Sobre la hidráulica del puente

Desde el punto de vista hidráulico, hemos calculado los diferentes grados de obturación del puente en función del calado. En el dibujo 10.12 puede verse una aproximación a la zona inundable para diferentes valores de calado, y también para cada uno de ellos el coeficiente de obturación que oscila entre el 33,83% y el 56,49%.

La pendiente del río en el tramo donde se localiza el puente es del 0,107%.

Datos relativos a la hidráulica del puente

Cuenca Km ²	Lluvia media diaria mm	Cv	Lluvia máxima diaria (mm) T.100 años	Lluvia máxima diaria (mm) T: 500 años	Caudal punta T: 100 años m ³ /seg	Caudal punta T:500 m ³ /seg
212,22	80	0,468	214	284	1740	2680

Tabla 10.12 Valores sobre la pluviometría y su repercusión a su paso por el puente

Considerando que la velocidad de la lamina de aguas se mantendrá a la misma velocidad de forma independiente al caudal (1,6 m/s)

1 Período retorno (años)	2 Caudal punta (m ³ /seg)	3 Velocidad agua (m/s)	4 Superficie equivalente total (m ²) (2/3=4)	5 Sección de paso del puente (m ²)	6 Sección suplementaria (m ²) (4-5=6)	7 Longitud del puente (m)	8 Altura equivalente agua (m) (6/7=8)
100	1740	1,6	1087,5	98,58	988,92	400	2,47
500	2680	1,6	1675	98,58	1576,42	900	1,75
real	121,87	1,6	76	98,58	- 22,58	68	

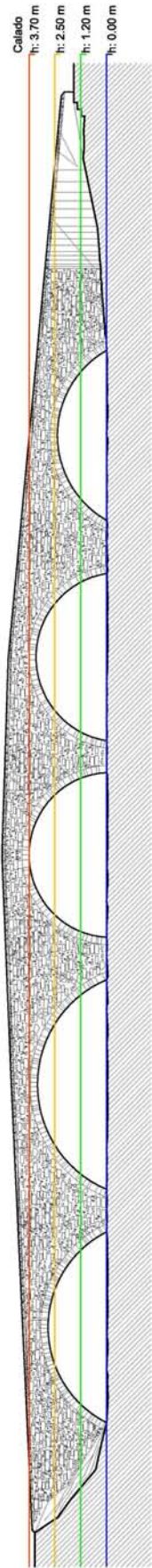
Tabla 10.13 Determinación del calado correspondiente a caudales punta para T=100 y T=500.

El puente está en una zona de frutales y forrajera (se puede observar en la fotografía 10.5 que el nivel de aguas deje al puente sin aire toda la planicie está inundada). Esta es la razón de suponer una longitud equivalente de puente a 400 y 900 metros alrededor del puente.

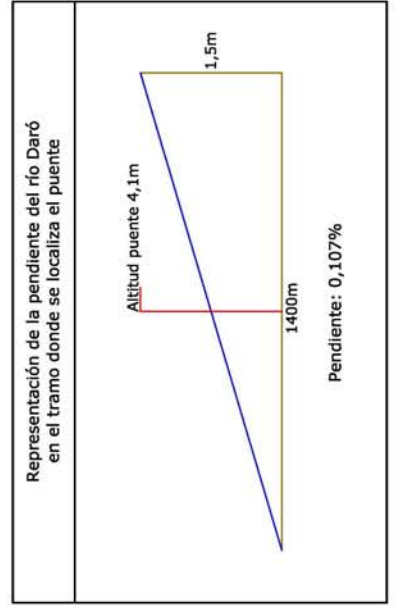
El día 13 de octubre de 2005 el caudal máximo fue de 121,87 m³/s.¹ Las fotografías que adjuntamos corresponden a ese día. Disponiendo de superficie de paso de 22,58 m², la llanura alrededor del puente ya estaba inundada. Estos números justifican de por sí, posiblemente, a una de las consideraciones para haber construido el canal que enlaza desde aguas abajo del puente hasta el río Ter.

En la página siguiente: Dibujo 10.11 Plano P10 – 6/6 Sobre la obturación en función del calado. Pendiente motriz y posible zona de inundación.

¹ Geoservei Consultor del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. (2005) *Caracterització del flux hidrològic a l'àmbit del futus pars natural del Montgrí*. Documento de trabajo.



Sección total	Sección de paso	% Obstrucción	Calado
226.56 m ²	98.58 m ²	56.49 %	h: 3.70 m
155.39 m ²	86.80 m ²	44.15 %	h: 2.50 m
74.03 m ²	48.99 m ²	33.83 %	h: 1.20 m



10. Hechos históricos asociados con el puente

El pont Vell de Gualta fue declarado como bien de interés local en 1987 (DOGC nº 4.644 de 30 de mayo de 2006). Fue construido durante los siglos XVI-XVII y servía de paso para ir desde Guata y las poblaciones situadas en la orilla derecha del Daró a Torroella de Montgrí.



Imagen 10.5 A la izquierda: el caudal del Daró a su paso por Gualta 2005 (a)²

Imagen 10.7 A la derecha: El caudal del Daró a su paso por Gualta 2005 (c)³

Tramo final del cauce del río Daró y su interconexión con el río Ter. Desde la localidad de Gualta existe el canal de encauzamiento del tramo final del río Daró, que sólo entra en servicio ante un determinado caudal del Daró a partir de este punto.



Imagen 10.9 Situación de Gualta en el bajo Ter⁴

² Ayuntamiento de Gualta

³ Ayuntamiento de Gualta

⁴ Geoservei Consultor del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. (2005) *Caracterització del flux hidrològic a l'àmbit del futus pars natural del Montgrí*. Documento de trabajo.