

EL ACUEDUCTO DE TARRAGONA

- **Tarragona romana**

Tarragona fue una de las primeras ciudades de *Hispania* que los romanos conquistaron cuando la República, por medio de los Escipiones, inició el contraataque a Aníbal en los tiempos de la Segunda Guerra Púnica.

Posteriormente fue convertida en capital de la Hispania Citerior en tiempos de Augusto. Esta circunstancia y su privilegiada posición, la hicieron una de las ciudades romanas más importantes de la Península

En ella se capitalizaba el transporte del oro y otros metales obtenidos en las importantísimas minas del Noroeste. Por ella entraban innumerables mercancías que abastecían los mercados de la Provincia. La temprana romanidad y su carácter capitalino hicieron necesaria la construcción de un acueducto que la abasteciera.

Hasta nuestros días han llegado restos de al menos tres acueductos, que en algún momento abastecían la ciudad. De ellos , el más famoso sin duda de todos es el que, cerca ya de la ciudad, cruza un barranco por medio de un puente de doble arcada, el llamado "Puente del diablo", o de las Ferreras.

Esta conducción ha llegado hasta nuestros días sumamente alterada, aunque parece ser que en la Edad Media, en tiempos del Califato de Córdoba, bajo Abderramán III fue restaurado, y continuó prestando servicio de modo más o menos intermitente hasta principios del siglo XIX. (**Fernández Casado C.** *Acueductos Romanos en España*)

En la actualidad, salvo su parte elevada, el llamado Puente del Diablo, que salva el barranco de Las Ferreras, cerca de la actual ciudad de Tarragona, poco más queda reconocible.

Las otras conducciones no presentan obra elevada, y se conservan pocos restos apreciables.

- **Descripción de la traza del acueducto de Las Ferreras**

Hasta hace poco se pensaba que las aguas del acueducto se tomaban del cauce del río Gayá, de hecho, Carlos F. Casado menciona este nacimiento del acueducto de Las Ferreras, (**Fernández Casado C. Op.Cit.**) pero estudios recientes han comprobado que en realidad las aguas se tomaban del río Francolí, junto al actual pueblo de Rourell, donde estaría el *caput aquae*, aproximadamente a la cota 92.

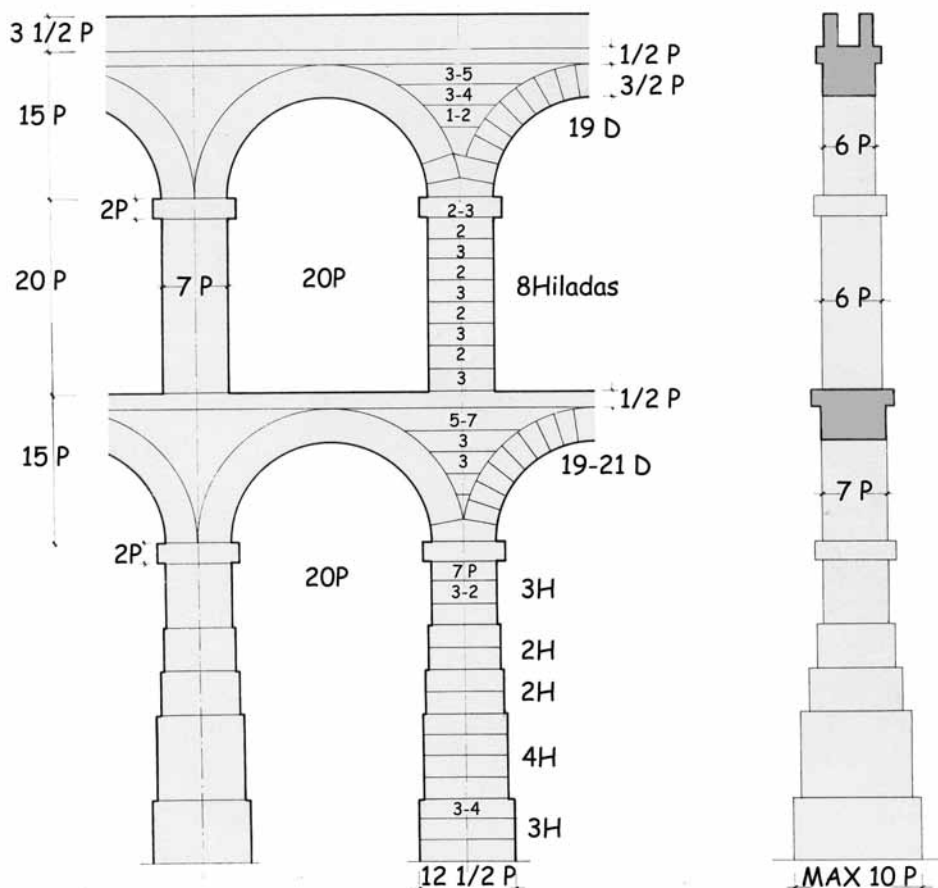
La pendiente de este tramo es del 4 por mil. La cota de coronación del Puente del Diablo es de 58m.

Desde aquí hasta la ciudad, quedan 5,6 Km. Ya no hay ninguna obra de fábrica importante, y la pendiente es del 1,8 por mil. (**Sáenz Ridruejo. F. Observaciones técnicas sobre el abastecimiento romano de aguas a Tarragona**)

- **Estudio de la obra elevada**

La obra, de piedra caliza, con todos los elementos unidos a hueso, tiene una doble fila de arcos, 11 en la inferior y 25 en la superior. Los arcos son todos iguales, de 20 pies romanos, o lo que es lo mismo, 5,90 m. de luz. La distancia entre ejes de los pilares es de 26 pies, o sea 7.95 m. (**Fernández Casado C. Op.Cit.**)

Un hecho interesante es el de que los pilares centrales, a partir de un cuerpo de tres hiladas, se convierten en escalonados.



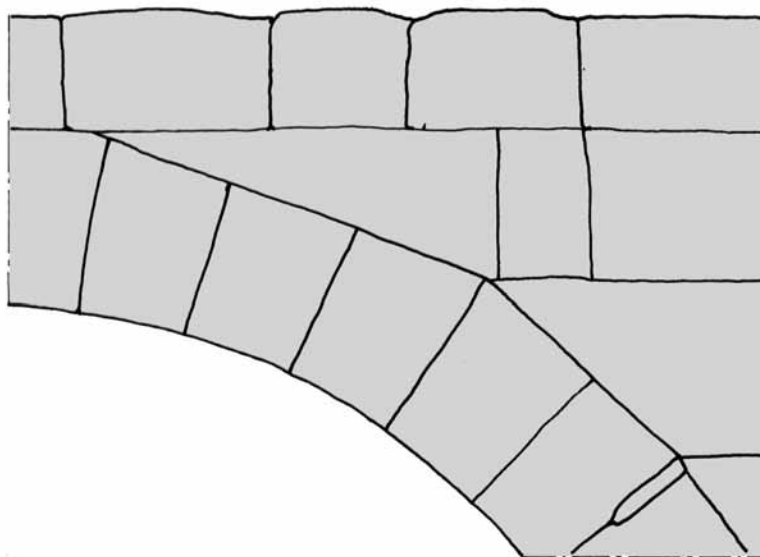
El porqué de este recrecimiento ha sido discutido, ya que desde el punto de vista estructural no se requiere en absoluto. Carlos F. Casado apunta la hipótesis de que tal vez estuvieran puestos así para soportar los empujes de los pilares superiores. (**Fernández Casado C.** *Op.Cit.*). Estos descansan verticalmente sobre los inferiores, haciendo los tímpanos de estos un efecto de cuña, que tal vez no fuese suficientemente dominado por los arquitectos que diseñaron la obra.

Quizás la explicación sea más simple, si consideramos que estos pilares se encuentran en la parte por donde discurre el agua de una torrentera. Si tenemos en cuenta el carácter periódico y violento de las avenidas que cíclicamente se producen en el clima Mediterráneo, tal vez el fin último de este escalonamiento sea "justificar" la anchura inferior de los pilares, de 12 pies y medio, frente a los 7 de estos mismos pilares en la parte superior.

Este recrecimiento haría el mismo efecto que los tajamares de los puentes sobre los ríos con corriente continua, con la diferencia de que en este caso, la función sería ocasional, por lo que no sería imprescindible el efecto de cuña de los tajamares convencionales.

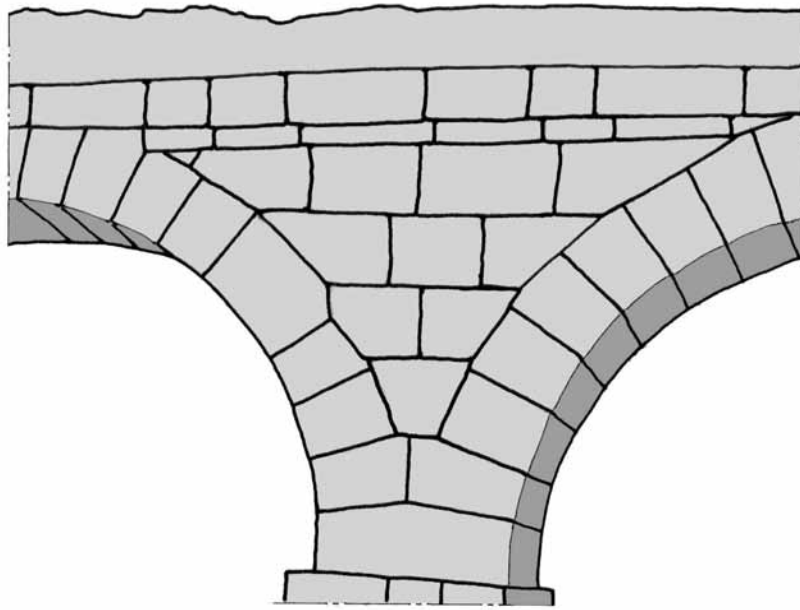
En general, las dovelas de los arcos y los pilares superiores, están talladas con más esmero que el resto de las piedras componentes de la obra, pues presentan estas un cierto almohadillado.

En cuantos al trasdós de las dovelas, revelan un hecho que tal vez no fuese tan extraño en los procedimientos de talla romanos de los arcos. Y es que presentan una acomodación particular al resto de las piedras de los tímpanos, por lo que se hacía necesario una talla *in situ* de estas piedras, tanto de las de los tímpanos como los de las dovelas.



Acueductos romanos de Hispania

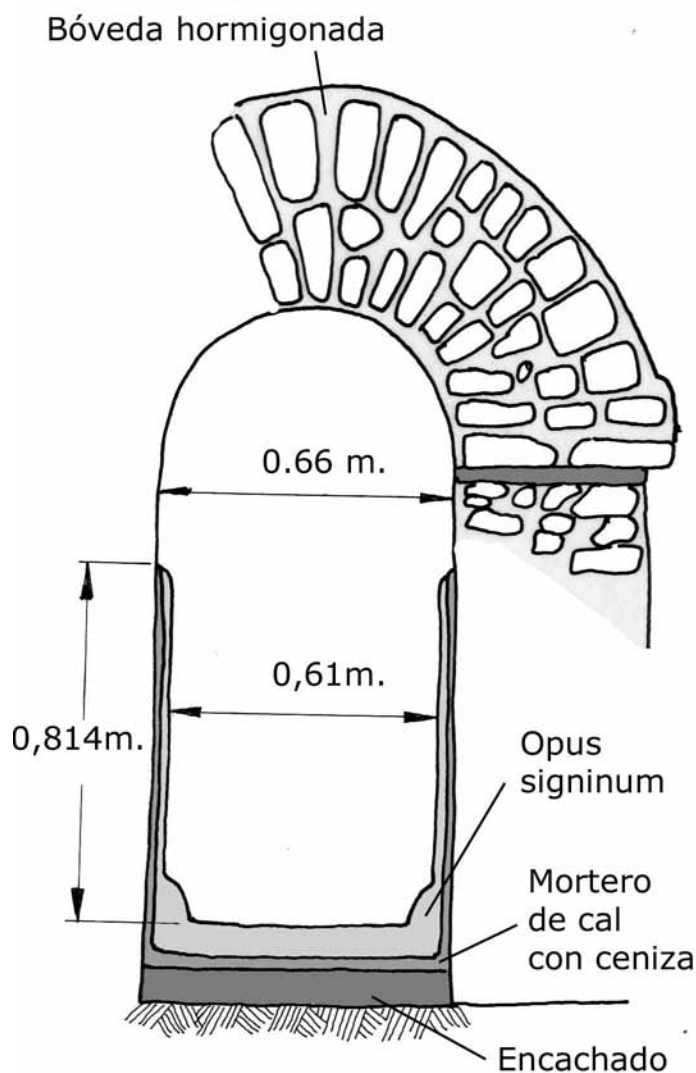
Este hecho demuestra que análogamente a lo que se aprecia en el acueducto de Segovia, las piedras fueron tallada a pié de obra y no en la cantera. Esto sin duda no representa un muestra de un cierto "primitivismo" y de falta de dominio en las técnicas constructivas, (sobre todo si consideramos correctas las tesis de la datación del acueducto de Segovia) sino que obedece a otros criterios, de los que no hay que descartar el de que este acueducto no está erigido para ser contemplado, sino en un lugar por donde no transcurría ninguna vía importante.



• Estudio de los caudales

Para el estudio de los caudales, consideraremos los estudios aportados por Rodolfo Cortés, Cristina Benet y Alejandro Bermúdez, que han realizado un trabajo bastante exhaustivo sobre este acueducto.

Nos centraremos en una sección reconstruida, de la que podemos extraer lo siguiente:



La sección permanece casi constante en todo el recorrido.

La base es un encachado, y sobre éste una capa delgada de mortero de cal con cenizas, y sobre esta, una capa más de opus signinum, que servía como impermeabilizante.

La altura total es de 1,373 m. Algo pequeña, y la anchura, contando el espesor de las dos capas de aislante, es de 0,610 m.

En los dos ángulos del fondo aparecen los cuartos bocales de refuerzo.

Acueductos romanos de Hispania

Consideraremos el estudio en la parte de menor pendiente, de manera que el calado máximo del canal coincida con los 0,814 m. aunque lo más probable es que no pasara de los 0,407 m. habida cuenta de los márgenes de seguridad que los ingenieros romanos solían emplear.

n		m ³ /s	Litros/s	m ³ /día	Quinarias
0,017	Q. máx.	0,454	454	39.225,6	980,64
	Q. med.	0,333	333	28.771,2	719,28
	Q. opt.	0,193	193	16.675,2	416,88
0,02	Q. max.	0,386	386	33.350,4	833,76
	Q. med.	0,283	283	24.451,2	611,28
	Q. opt.	0,164	164	14.169,6	354,24

Teniendo en cuenta pues la capacidad portante del acueducto, resulta difícil averiguar cual sería el caudal medio que aportaría a la ciudad.

Evidentemente, las casi mil quinarias que salen como tope máximo, probablemente no se alcanzaran nunca, ni tan siquiera al principio de su puesta en uso. Sería mucho más prudente tomar como extremo superior las 719,28 quinarias que corresponden al caudal medio y las condiciones favorables del *specus*, y las 354,24 quinarias que corresponden a el caudal óptimo (en cuanto a efectividad del transporte) con las condiciones del *specus* menos favorables. Entiendo que por debajo de esta cantidad, se procedería a la limpieza del canal y recuperar así casi 67 quinarias de caudal.

• La población

Al ser Tarragona una ciudad importante en lo que se refiere a tamaño, población, servicios, etc. Podemos considerar un reparto del agua de forma semejante al que había en Roma, salvo en el aspecto de que no existía una casa imperial.

Por ello supondremos un consumo análogo al de Roma, de 60 litros por habitante y día, y un total de agua destinada a consumo directo del 14,77%. Asimismo, y para redondear un poco más los cálculos, supondremos un 2% de patricios conectados directamente a la red de suministro de agua. (Un número un poco mayor que el calculado para una ciudad como Pompeya)

	m ³ /día	14%	Nº plebeyos	Nº patricios	Total
Q.max.	28.771,2	4.027,97	67.133	13.427	80.560
Q. min.	14.169,6	1.983,74	33.062	6.612	39.674

Ante esto, cabe preguntarse cual sería la población, y cual sería el número de habitantes que abastecería el acueducto.

Entiendo que en un principio el número total de habitantes para los que el acueducto se diseñó, pudiera rodar los cuarenta mil. Llegado un momento, el acueducto resultaría del todo insuficiente por la importancia gradual que iba tomando la ciudad, y cuando anduviera próxima a los 70.000 se acometería la construcción del otro acueducto, que parte del río Gayá, y que además, al tener una cota superior, presenta la ventaja de abastecer mayor número de personas y servicios.

No olvidemos que un incremento de habitantes, y de la importancia de una ciudad, implicaba un aumento casi exponencial del consumo total de agua, pues el mayor número de habitantes implicaba un mayor número de servicios públicos, como las termas, que eran grandes consumidores de agua, y más cuanto más monumentales se hacían, acordes con la importancia que la nueva urbe iba teniendo.

- **Consideraciones económicas del acueducto**

Es interesante en este punto el preguntarnos porqué erigieron la obra elevada del acueducto en ese lugar y no en otro. E incluso cabe preguntarse si resultaba económico levantar las arcadas de piedra para salvar un barranco, en lugar de rodearlo con el canal.

Hay ocasiones en que una obra elevada, aunque sea el *venter* de un sifón es imprescindible, como cuando se trata de salvar un río, caso de los acueductos de Zaragoza , Toledo, o "Los Milagros" en Mérida. En otras ocasiones esta obra se justifica por discurrir a lo largo de un collado, como ocurre en Segovia. Sin embargo en Tarragona, no tenemos este caso. Los ingenieros que erigieron el puente del diablo, pudieron haberlo levantado en otro punto del barranco, e incluso, bien pudieron haber rodeado el barranco y no haber levantado obra alguna.

Resulta muy interesante tratar de averiguar cuales fueron las causas.

Fernando Sáenz Ridruejo ha efectuado un interesante trabajo en este aspecto.

Consideraremos en primer lugar los factores que influyen en el coste económico de un acueducto.

1. Anchura del valle a salvar.(*a*)
2. Forma del valle.
3. Altura máxima. (*b*)
4. Longitud de rodeo opcional.(*L*)

Podemos definir un índice económico (*I*) de viabilidad de un acueducto elevado con la fórmula:

$$I = \frac{K \cdot a \cdot b^2}{L}$$

Donde "K" representa un coeficiente de forma del valle, siendo:

- $K = 1/2$ para un valle de forma perfectamente rectangular.
- $K = 1/6$ para un valle perfectamente triangular.

Tomando valores intermedios para formas de valles comprendidos entre estas dos formas.

El índice “ I ” es por tanto un exponente de las condiciones topográficas. El que un acueducto resultase rentable, dependía de la esbeltez que el arquitecto pudiera darle, y el coste de erección del mismo, frente al coste de la excavación a nivel.

Si llamamos “ V ” al volumen total de la obra, podemos calcular la esbeltez “ E ” de la siguiente manera:

$$E = \frac{V}{K \cdot a \cdot b^2}$$

Si llamamos “ l ” a la longitud de una conducción a nivel y “ n ” al coste de una unidad de conducción a nivel, tenemos que comparar los valores obtenidos en varios emplazamientos posibles del acueducto.

Llamando “ M ” a la relación entre el coste de cada alternativa y el de la conducción a nivel, tenemos:

$$M = \frac{V \cdot n + l}{L} = I \cdot E \cdot n + \frac{l}{L}$$

Los valles transversales más importantes que atraviesa el acueducto son las ramas del barranco del Garrotx, y el barranco de los Arcos, el cual está constituido por tres cabeceras diferentes.

Una medición nos da:

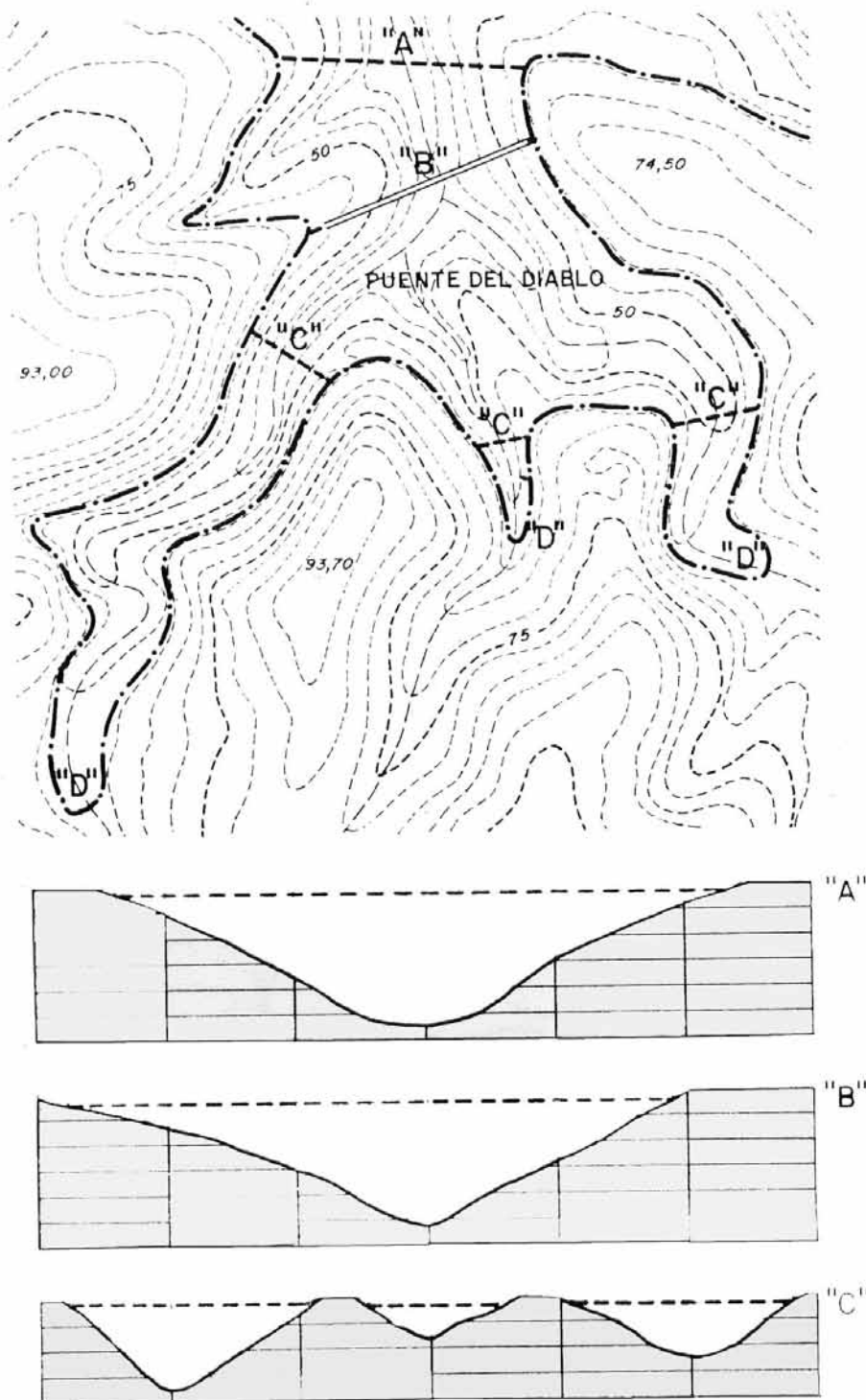
$K = 1/6$	a	b	L	I
Bº del Garrotx (Principal)	175	10	2.000	1,46
Bº del Garrotx (Afluente)	175	10	750	2,22
Puente del Diablo	220	24	2.760	7,62

Vemos que en ambas ramas del barranco, el índice económico es menor que en el “Puente del Diablo”.

Esta diferencia es tan grande que no puede ser fruto de azar. Nos lleva a pensar que los ingenieros romanos se equivocaron en el emplazamiento, o que no dieron con la mejor solución. (**Sáenz Ridruejo F.** *Observaciones técnicas sobre el abastecimiento romano de agua a Tarragona*)

Acueductos romanos de Hispania

Si nos situamos en le barranco de Los Arcos, que es donde se encuentra la obra elevada, tenemos tres alternativas posibles.



Acueductos romanos de Hispania

Con estas posibilidades tenemos:

	Longitud total (m)	Pérdida de cota (m)	Volumen relativo
A	240	0,42	1,50
B	610	1,12	1,00
C	108	1,94	0,91
D	3.310	5,36	0,10

Vemos que la solución más razonable es la "B", ya que con la "A", aunque se pierde menos cota, se tiene un mayor volumen de obra. Solo estaría justificada en el caso de un muy bajo coste de la obra elevada, lo que no es el caso tratándose de una obra de sillería. Sería interesante saber qué solución hubiesen adoptado los ingenieros romanos si hubiesen realizado la obra en los tiempos en que se realizaban las grandes construcciones de ladrillo.

La solución "C", por su parte, presenta una gran pérdida de cota y resulta por tanto contraindicada para un acueducto por gravedad