

EL ACUEDUCTO DE ALBARRACÍN-CELLA

Como ejemplo de la importancia dada a los procedimientos funcionales del agua, veremos el caso del acueducto que transcurre entre Albarracín y Cella. Una obra increíble desde el punto de vista del diseño y la realización de la misma, que permanece desconocida para casi todo el mundo, posiblemente porque está la mayor parte de ella enterrada. Algo parecido ocurre con otras obras romanas, como el acueducto de Córdoba.

Esta obra, pese a no conducir agua directamente para el consumo humano, merece la pena ser estudiada, aunque sólo sea por representar un logro desde el punto de vista del diseño equiparable a los más importantes y notables acueductos romanos.

- **El acueducto.**

La toma de agua se hace en el río Guadalaviar, en la actual presa del molino de la Santa Croche, a unos 4 Km. aguas arriba de la población de Albarracín.

El agua iba por una acequia (que aún está en uso) por la margen derecha del río, para cruzar el mismo en una zona de máximo estrechamiento aguas abajo mediante un canal-puente de unos 15 m. de largo. Dados los escasos restos que pueden apreciarse y la disposición de los mismos, puede deducirse que el canal era de madera, cosa nada extraña si tenemos en cuenta que en zonas de montaña, de abundante madera, era y es relativamente frecuente la realización de canales de este tipo, para conducciones que suministren agua a molinos, etc. No muy lejos de allí en Los Bañales de Uncastillo, se realizó incluso un acueducto completo sobre canal de madera para abastecer de agua a un establecimiento termal.

Al pie mismo del castillo de Santa Croche se aprecian las rocas cortadas, marcando el trazado del canal. Más adelante, discurre ya por una galería horadada, muy cerca del borde del acantilado, en donde se ven perfectamente los respiraderos. El canal no abandona el terreno y siempre se va ciñendo al borde del mismo, serpenteando por los barrancos y prolongando enormemente por ello su longitud.

Acueductos romanos de Hispania

A unos 17 Km. desde el inicio, y pasado ya el pueblo de Gea de Albarracín , el acueducto se interna en un túnel de casi 5 Km. en dirección a Cella, en un trazado que no es rectilíneo, a fin de evitar las cimas más altas, Pese a ello la profundidad media de la perforación es de 30 m. llegando en algún caso a los 60 metros. A intervalos de hasta 45 cm. unos de otros, hay unos pozos de registro, que por una parte sirvieron para evacuar los materiales de excavación, y por otra para la aireación del canal subterráneo. La profundidad de estos pozos es notable, llegando a ser de 50 m. en algún caso. (**Almagro Gorbea. A.** *El canal de Albarracín a Cella (Teruel)*)

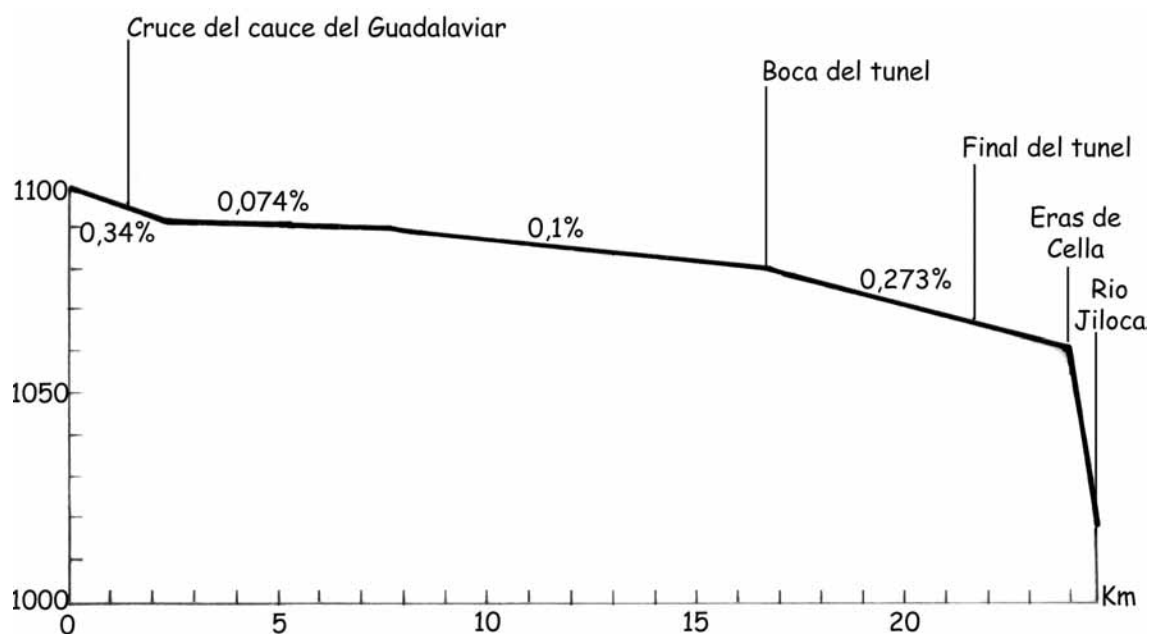
Finalmente el canal aflora a unos 2 Km. del pueblo de Cella.

Nada más salir del túnel, el acueducto está tallado en roca al aire libre. El último kilómetro debió estar construido con obra de fábrica.

En el tramo final, parece que se trataron de aprovechar otros caudales, provenientes de manantiales próximos al acueducto. En este tramo , el canal tiene 1 m. de profundidad y 0,60 m. de anchura (**Almagro Gorbea. A.** *Op.Cit.*)

El acueducto sorprende por la precisión de su trazado, si tenemos en cuenta las pendientes del mismo.

En un primer tramo, de unos 2 Km. el canal tiene una pendiente del 3.5 por mil, luego su pendiente se reduce hasta mantenerse aproximadamente en torno al 1 por mil hasta llegar a la boca del túnel, donde aumenta de nuevo la pendiente hasta casi el 3 por mil, sin duda para evitar en lo posible la formación de sedimentos. La pendiente se reduce un poco hasta llegar a las proximidades de Cella. A partir de ese punto, y en menos de 1 Km. hay un desnivel de casi 45 m.



La finalidad de estas pendientes parece clara.

- Por una parte, el primer tramo de fuerte pendiente, se limita a mantener la del propio río, para no tener que hacer un paso demasiado elevado sobre el mismo. El cruce sobre el Guadalaviar era inevitable, pues de haber ido el canal por la parte izquierda, habría tenido que salvar el torrente de Monteagudo, lo que habría supuesto una obra de mayor envergadura.
- Una vez cruzado el río, empieza la obra excavada. Aquí lo que se trata es de perder la mínima cota posible, y para ello, se mantiene una pendiente mínima, a fin de que se depositen la mayor parte de los sedimento que pudiera llevar el agua. No deja de ser curioso que pese a ser un acueducto de uso industrial, como veremos, y por lo tanto no protegido del exterior en su recorrido, los ingenieros de Roma hayan puesto tanto interés, pese a todo, en hacer al principio un tramo de pendiente muy pequeña, obviamente para conseguir unas aguas lo más limpias posibles. No olvidemos que es te tramo, en donde las decantaciones debían de ser relativamente abundantes, era fácilmente accesible, y por tanto su limpieza era sencilla.
- A continuación del tramo de “decantación” viene un tramo de pendiente “estándar” del 0,1%. De nuevo vemos un trazado típico de acueducto de abastecimiento.
- Posteriormente, en el túnel, donde la limpieza del canal ya no es tan sencilla, la pendiente aumenta un poco, lo necesario para que las precipitaciones que hubiera (a estas alturas, y pese a estar el acueducto abierto, los elementos más pesados ya se habrían depositado) se reduzcan en lo posible.
- Al salir del túnel, reduce mínimamente ya la pendiente en un espacio de unos 2 Km.
- A partir de ahí se produce una especie de “desplome” si tenemos en cuenta las pendientes anteriores. Evidentemente, no por azar, ni evidentemente, para suministrar agua de riego a la zona.

Acueductos romanos de Hispania

De los casi 25 Km. de recorrido, los 17 primeros se construyeron como canal abierto, unas veces excavado en la roca, y en otros, con mampostería, aunque en muchos casos se recurrió a excavarlo en galerías paralelas a las laderas del valle. (**Almagro Gorbea. A.** *Op.Cit.*)

Parece evidente que el criterio de los ingenieros romanos fue excavar en roca la mayor parte del recorrido. Hubiera sido muy fácil salvar algunos barrancos mediante puentes, sin embargo se optó por rodearlos. El túnel mide en general 1,95 m. de altura por 1,25 m. de ancho. La parte que transcurre en mina y cerca del barranco, mantiene abiertos unos orificios o ventanas, con una doble función. Por una parte aireaban la galería por donde transcurría el agua, y por otra, además de servir de salida para los materiales de excavación, permitir la iluminación cuando se procedía a la limpieza del fondo del canal.

La complejidad de diseño de la obra es impresionante como se puede ver, y más si tenemos en cuenta que el acueducto debió comenzarse desde varios puntos simultáneamente. Para realizar una obra así, con los métodos, materiales y procedimientos actuales, se requeriría un volumen notable de cálculo. Hay que imaginarse entonces lo que supondría hacer la obra con el trabajo manual de los trabajadores, los cálculos en tablillas de cera y con simples ábacos, y las mediciones y comprobaciones con unos niveles de agua. Ciertamente, este acueducto podría y debería figurar en la memoria colectiva como uno de los logros de los ingenieros romanos más notables del Imperio que actualmente podemos encontrar.

Cabe suponer que la excavación se iniciaba con la perforación de los agujeros de aireación hasta la cota deseada, y después se excavaba en dos direcciones, hasta completar la galería. Esto permitía poder trabajar simultáneamente en varios puntos del acueducto.

Como mera estimación puede suponerse que, puesto que más de un tercio del recorrido se efectúa en galería, se extrajeron unos 20.000 m³ de roca. Si a eso le añadimos los pozos de ventilación, de unos 30 m. de profundidad media y unos 8 m² de sección, tenemos que añadir unos 25.000 m³ más de roca. A esto hay que sumar otros 5.000 m³ correspondientes a la parte excavada en canal a cielo abierto. El total es de 75.000 m³ de roca excavada.

Traduciendo todo esto a mano de obra, nos da unas 2000.000 jornadas de trabajo, o lo que es equivalente, 200 obreros trabajando durante 3 años. (**Almagro Gorbea. A.** *Op.Cit.*)

• Cálculo del caudal.

A la hora de calcular el caudal aportado por el acueducto, debemos tener en cuenta el carácter industrial del mismo. Esto es, una relativa falta de interés en evitar pérdidas por filtración, y asimismo un afán de aprovechar los caudales de corrientes intermedias que pudieran aparecer en el recorrido. Los caudales que podamos calcular no dejarían de ser unas meras aproximaciones al caudal real. Sin embargo, si podemos estar casi seguros, que al no primar la calidad del agua, sino el volumen, éste sería bastante regular casi todo el tiempo.

Por desgracia, al no haber quedado ni rastro del canal de madera que cruzaba el Guadalaviar, que sin duda limitaría su caudal, no nos queda más remedio que especular con los restos que permanecen. Podemos imaginarnos las dimensiones de este canal si nos fijamos en los restos del canal en las proximidades de Cella, cuando transcurre a cielo abierto. Aquí presenta una anchura de 60 cm y una profundidad de 1 m. por lo que no es descabellado pensar que el canal de madera tuviera unas dimensiones semejantes.

Los datos que introduciremos en la fórmula del cálculo del caudal serán los referidos a esta parte final del trazado.

- Pendiente.....0,273%
- Anchura.....0,6 m
- Coeficiente de Manning.....0,03

Los calados del canal los consideraremos como:

- Calado máximo.....1 m
- Calado abundante...0,75 m
- Calado óptimo.....0,3 m

Para estos valores, obtenemos los siguientes valores del caudal:

| | Litros/s | m ³ /s |
|---------|----------|-------------------|
| 1 m. | 1.980 | 1,98 |
| 0,75 m. | 1.290 | 1,29 |
| 0,3 m. | 350 | 0,35 |

- **La finalidad del acueducto.**

La pregunta que cabe hacerse en este punto, es para qué servía un trabajo de al menos tres años, y que habría necesitado además un elevado número de complicados preparativos. En las proximidades no hay restos de explotaciones mineras cercanas, por lo que parece descartable un empleo minero del acueducto.

Las posibles alternativas que quedan son: El abastecimiento de agua para riego, o un uso industrial.

La primera posibilidad presenta dos serias incongruencias.

La primera es que no tiene sentido, ni tan siquiera con los supuestos criterios romanos de “mano de obra barata” hacer un acueducto tan costoso y difícil de proyectar (a buen seguro, el arquitecto o arquitectos que lo diseñaron y planificaron no eran unos simples aficionados), hacer un auténtico trasvase de cuenca hidrológica, simplemente para llevar agua a un lugar donde precisamente está el mayor pozo artesiano de Europa, donde mana de forma natural el río Jiloca, un caudal de agua mucho mayor que el que aportaría el propio acueducto.

La segunda es que de ser una canal de riego, no se hubiesen molestado en mantener unas pendientes tan pequeñas y con unos trazados tan sinuosos, con la dificultad que ello comporta. Parece evidente una voluntad de llegar a las cercanías de Cella con la mayor cota posible, lo que no tiene sentido si sólo se piensa en un canal de riego.

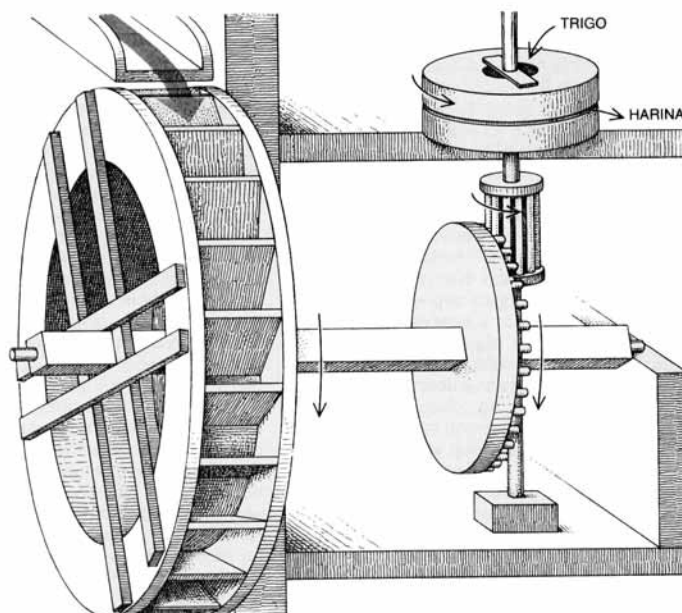
¿Para qué pues servía este acueducto?

La única posibilidad que nos queda es la de un uso industrial, o sea, para mover molinos de agua.

El complejo podría ser parecido al encontrado en la localidad francesa de Barbégal, cerca de Arles.

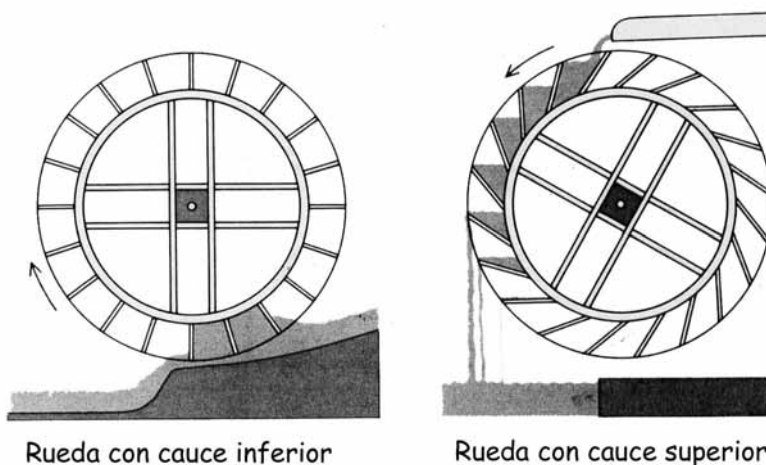
Acueductos romanos de Hispania

Allí se han encontrado los restos de un complejo molinero romano, formado por dos filas de ocho molinos cada una. Estos molinos tenían ruedas verticales de 0.7 m. de ancho y 2.1 m. de diámetro. Cada rueda iba montada sobre un eje horizontal que entraba en el interior del molino. Allí conectaría, mediante un par de ruedas dentadas con un eje vertical que movería la rueda de moler. (*Hodge, A. Trevor. Una fábrica romana*)



No hay nada que nos impida pensar que los molinos de Cella no pudieran ser en todo semejantes a los de Barbégal.

En cuanto a si el canal estuviera en la parte alta o baja de las ruedas de los molinos, nos podemos inclinar por la parte alta, aunque solo sea por el hecho de que este tipo de ruedas tiene un rendimiento mayor. Hecho que los romanos conocían perfectamente



Si suponemos que cada molino ocupa un espacio vertical de 3 m, en nuestro caso podrían colocarse no menos de 14 molinos en una sola fila, que es la manera tradicional de colocarse los molinos desde siempre, pues estos artefactos apenas consumen agua, y por lo tanto, todos ellos pueden compartir el mismo caudal.

Existen cálculos desarrollados por H. J. Sellin en 1983 basándose en un caudal tipo de 0,3 m³/s.

Según estos cálculos, una rueda que girase 10 veces por minuto, con un rendimiento del 65% generaría una potencia de unos 2 KW, o lo que es lo mismo, 25 caballos (aproximadamente la potencia que desarrolla una motocicleta de 250 cc). Esta potencia, con la transmisión adecuada, podría hacer girar una piedra de molino a unas 30 revoluciones por minuto, lo suficiente como para moler 24 kilos de trigo por hora (*Hodge, A. Trevor. Una fábrica romana*)

En este punto hay dos cosas que llaman la atención. Una es que casi el caudal que hemos estimado como óptimo por motivos puramente de geometría del canal, coincide casi exactamente con el que estima Robert Sellin para hacer sus cálculos.

El otro punto interesante es el proporcionado por la experiencia de molienda en múltiples molinos de agua que se usaban en España hasta hace bien poco. En ellos se estimaba que el tiempo que se tardaba en moler una fanega de trigo, (Aproximadamente 45 Kg.) dependiendo del agua que hubiese en el caz, oscilaba entre 1 y 3 horas.

Si suponemos una media de 2 horas por fanega, nos encontramos con una capacidad media de molienda de 23 kg. por hora, que vuelve a ser muy parecida a la media estimada por Sellin.

Podemos por tanto hacer un cálculo de la cantidad de trigo que era posible moler el conjunto molinero de Cella.

No sabemos cuanto tiempo se empleaba en la molienda, si esta se hacía interrumpidamente o si se paraba por las noches, etc. Vamos a suponer que se limitaba las horas de luz, que como media, podemos estimar en 12.

Tenemos por lo tanto las siguientes variables:

- $N =$ Nº de molinos.....14
- $h =$ Nº de horas trabajadas..... 12
- $k =$ Nº de kg de cereal molido al día por molino..... 23

La cantidad de harina que se podría obtener diariamente sería:

$$H = N \cdot h \cdot k = 3.846kg.$$

Si sobre estos casi 4.000 kg de harina si suponemos un rendimiento bajo, del 50% debido a pérdidas de material, averías, retrasos, reparaciones, etc. Tendremos entonces una cantidad que podemos estimar en 1.932 kg de harina diaria, como poco.

Si consideramos una ración diaria de pan por persona de 350 gramos, tendremos que el complejo de Cella, podría abastecer él solo diariamente de pan a una población de más de 5.5000 personas.

La pregunta que surge inmediatamente es evidente. ¿Cuál era la población abastecida por este complejo?

En este punto se nos plantean dos problemas. El primero es la ausencia total de restos de molinos en la localidad de Cella. Esta escasez de restos molineros, no es de extrañar, si tenemos en cuenta que, aunque en la Edad Media el canal aún aportaba agua (El Poema del Cid se refiere a Cella como *Celfa, la del canal*) lo que es más que evidente es que cuando el acueducto dejó de funcionar, quizás tiempos de la gran crisis del imperio romano (235-285 d.C.), todo el material que hubiera en los molinos (Piedras, maderas, etc) sería reutilizado en otras construcciones, por lo que no es raro que no quede nada.

El otro problema es que no existen en las proximidades de Cella restos de ningún asentamiento romano de la suficiente entidad que justifique la construcción de este acueducto, ni un sistema de molienda que fabricase harina en medio de ninguna parte.

No es este el caso mencionado de Barbégal, pues en sus proximidades está la ciudad de Arlés, con una población estimada en el siglo IV d.C. de unas 12.500 personas. (*Hodge, A. Trevor. Op.Cit*)

En nuestro caso, está muy cercana la población de Teruel, pero esta es de origen medieval.

La solución tal vez puede apuntar en otra dirección.

Y esta no es otra que el suministro de pan a un campamento legionario acantonado en las proximidades de Cella. No olvidemos que el número de componentes de una legión oscilaba en torno a los 6.000 soldados, entre infantería, caballería y servidores de las máquinas de asedio, o sea un número muy próximo a la cantidad media que hemos estimado podía abastecer este complejo harinero. Y no olvidemos que la cantidad estimada es ciertamente conservadora.

Otra posibilidad sería que este complejo abasteciera al asentamiento militar de Caminreal, pero esto quizá sea poco probable, al estar esta localidad demasiado alejada de Cella, y el transporte a largas distancias por tierra, de mercancías perecederas, era un problema que los romanos no resolvieron completamente, como ya quedó apuntado al tratar el tema de los sifones. (En realidad, este problema no se resolvió del todo hasta la generalización del uso del transporte por mulas en el siglo XVI).

La solución más lógica, es por tanto la ubicación de un campamento militar romano en las cercanías de Cella. El hecho de que no se haya encontrado hasta hoy no quiere decir demasiado, pues estos restos pueden haber quedado diluidos en unos campos con siglos de trabajo agrícola continuado.

Además también es posible que el asentamiento militar, que en un principio se supondría estable y permanente, finalmente deviniese en efímero, con lo que no llegó a tomar el carácter de otros asentamientos militares que se volvieron estables, como *Virovesca* o *Legio*.

El hecho de que en Cella estuviese lo más parecido a una factoría harinera, no es algo que debe coger a nadie de sorpresa. Seguramente se ha abusado demasiado del concepto del trabajo esclavo en la economía romana. Posiblemente, gran parte de los trabajadores que hicieron el acueducto o los que trabajaban en los molinos tuviesen ese carácter, pero ello no quiere decir que no tuviese sentido el trabajo "industrial" paralelo al trabajo esclavo.

Puede de algún modo argumentarse que el imperio carecía de incentivos económicos para el desarrollo técnico cuando la fronteras estaban en continua expansión, y que habían perdido su capacidad técnica, cuando se estabilizaron. Esta suposición se basa en la influencia perniciosa de la esclavitud.

Es cierto que el trabajo barato tiende a retardar el desarrollo de técnicas tendentes a desarrollar iniciativas que sustituyan la mano de obra, pero los esclavos no eran tan baratos en realidad. Al menos no lo eran cuando las fronteras del imperio se estabilizaron en el siglo I a.C.

Seguramente lo fue cuando las legiones iban de victoria en victoria, y proveían a la economía romana de mano de obra abundante. Pero desde que las naciones bárbaras empezaron a resistirse con eficacia, la mano de obra esclava empezó a escasear, y consecuentemente a subir de precio.

Se contraponían por una parte el coste de una vida corta (si se les abrumaba con el trabajo o se les subalimentaba) con un relativamente alto coste de manutención (si se pretendía que realizasen eficazmente un fuerte trabajo físico). En el caso nada improbable de que el esclavo, de algún modo, llegara a adquirir una destreza especial, entonces, casi se convertía en un asalariado de lujo, por lo que su precio de manutención, no era barato, o al menos no era "gratis" en absoluto.

La economía romana debió encontrarse por tanto, en los albores del cambio de Era con una disyuntiva parecida a la que se enfrentan hoy día muchas empresas "tradicionales": Tenían que evolucionar creciendo o extinguirse.

Conocían energías externas, como la del viento que impulsaba las velas de los barcos, sin embargo, parece ser que no desarrollaron la tecnología del molino de viento. Pero sí construyeron molinos de agua, aunque aparentemente, no en cantidad suficiente.

Sin embargo, el hecho de que se hayan encontrado pocas ruedas de molino romanas, no quiere decir que no fueran abundantes. Hay una analogía que puede resultar esclarecedora en este sentido.

De la Inglaterra del siglo XI, apenas quedan hoy día restos de una docena de molinos, sin embargo, en el catastro que mandó hacer Guillermo el Conquistador, se registran por lo menos 5.624 (*Hodge, A. Trevor. Op.Cit*)

Extrapolando estos datos a los tiempos de la dominación romana, llegamos a la conclusión de que estos ingenios pudieron ser abundantísimos, o por lo menos mucho más numerosos de lo que se supone.

- **La cronología.**

El excelente trabajo de A. Almagro sobre este acueducto, nos orienta claramente sobre este tema.

Inicialmente, como tantas cosas, este acueducto fue objeto de leyendas e historias más o menos fantásticas. Se atribuyó a los reyes musulmanes de Albarracín. Evidentemente, basta con echar un simple vistazo a la historia para darse cuenta que esto no es posible en absoluto. Los reyes independientes de Albarracín, por muy pintoresco que fuese su poder, no disponían ni de los medios ni de la tecnología necesaria para llevar a cabo una obra semejante. Además no hay en la España musulmana ninguna obra hidráulica comparable, ni de lejos.

En la baja romanidad y en la Edad Media no pudo haberse realizado una obra semejante.

En la época islámica, creció enormemente la importancia del núcleo de Albarracín, pero de baja demografía. Aunque la zona de los llanos de Cella y Teruel, dependían militarmente de los reyes taifas de Albarracín, estos siempre fueron disputados con otros reyes musulmanes, por ser una codiciada zona de paso entre el mar (Valencia) y el importantísimo reino de Zaragoza.

Con la invasión almorávide, Albarracín perdió su independencia y entró en decadencia, siendo simplemente un puesto fortificado. Posteriormente los reinos cristianos inician la reconquista de esta zona, siendo primero lugar de conflictos entre cristianos y musulmanes (Alfonso I el Batallador contra los Almorávides). De musulmanes entre si (El rey Lobo de Murcia contra los Almohades). Y finalmente de cristianos entre si (Alfonso VIII de Castilla contra Alfonso II de Aragón).

Evidentemente, con todos estos avatares no pudo, ni tan siquiera concebirse, un acueducto que llevase agua de Albarracín a Cella.

Se requería por tanto un largo periodo de paz, y lo que no es menos importante, una tecnología suficiente para llevar a cabo una obra de esta envergadura, además de unos medios económicos nada desdeñables. Estas condiciones sólo se dan, como podemos ver por la historia, cuando se lleva a cabo la pacificación de Hispania por Roma.

Acueductos romanos de Hispania

La prueba definitiva, no obstante, quizás pueda ser el hallazgo de restos cerámicos entre los materiales encontrados a la entrada al túnel que da acceso a Cella.

Antes de iniciarse propiamente el túnel, hay un aliviadero que debió estar en relación con una pequeña represa para decantar el agua que penetraba en la mina. Entre los materiales que se encontraron, aparecieron varios restos de lucerna, fragmentos de *Sigillata hispánica* y otros de cerámica común, datables entre finales siglo I o comienzos del II d.C. (*Almagro Gorbea. A. Op.Cit.*)

Podemos entonces casi asegurar que esta acueducto, se construyó a principios de la Era Cristiana, pues a finales del siglo I, el acueducto ya estaba funcionando.