

LAS PRESAS ROMANAS

Las presas romanas son las grandes desconocidas entre la cantidad ingente de monumentos que han llegado hasta nosotros. La causa tal vez sea la poca vistosidad que presentan en unos casos, en otros el relativo olvido de que adolecen al estar casi todas abandonadas, a causa de su deterioro, y en general, el que se encuentren en lugares normalmente apartados de los centros de población.

No obstante, no cabe duda que los romanos, desarrollaron en su concepción y diseño lo que podríamos calificar como un sistema avanzado de ensayo-error, sobre todo en las grandes presas de abastecimiento de agua a las poblaciones, como veremos más adelante.

Los romanos entraron en contacto con la "tecnología de las presas", como en tantas otras cosas relacionadas con la hidráulica, gracias a sus vecinos los etruscos. De hecho, fue bajo el reinado de los reyes etruscos a principios del siglo V a.C. cuando se hizo la primera gran obra de ingeniería hidráulica en Roma. La *Cloaca Máxima*. (**J.Shnitter.N** . *Historia de las presas.*)

Carlos Fernández Casado, de hecho, sugiere que el fenómeno del relleno con materiales de aluvión de las presas, llamado atarquiamiento, tiene que ver con el nombre de la dinastía de estos reyes etruscos, los Tarquinos. (**F. Casado. C.** *Ingeniería hidráulica romana.*).

Desde el punto de vista del diseño, una presa es un obstáculo artificial que se interpone a una corriente de agua en un lugar favorable, para que el agua se detenga y acumule. Normalmente, esta corriente de agua es continua, por lo que una vez llena, la presa se desbordará por algún lugar. Este lugar es el rebosadero, o aliviadero, que deberá estar previsto y colocado en un lugar que no afecte a la obra construida.

Las primeras presas que los romanos construyeron, consistían en unos simples muros de piedra interpuestos al paso de pequeñas corrientes de agua en algunas vaguadas no muy grandes. El agua que se almacenaba en estos pequeños embalses se usaba para el riego de los campos circundantes. Con el tiempo, estos embalses se colmataban con los limos de aluvión, por lo que eran empleados como campos de cultivo.

Este efecto secundario en estas presas, fue convenientemente aprovechado en las pequeñas corrientes de agua de los países más secos que posteriormente se anexionaron, como *Africa* e *Hispania*. además de otros muchos lugares.

Estas presas primitivas, conceptualmente quizá derivadas de las murallas etruscas que rodeaban Roma en tiempos de Servio Tulio (**F. Casado. C.** *Op.Cit.*) no tenían rebosadero diseñado a propósito, de manera que el agua, simplemente se desbordaba por la parte superior del muro o Coronación.

Esta forma de construir sin rebosadero, que resulta aceptable para presas pequeñas y de sillería, no es recomendable para grandes presas, sin embargo, la idea de no hacer rebosadero, curiosamente y pese a ser perjudicial para el mantenimiento de la presa, la mantuvieron los romanos a lo largo del tiempo.

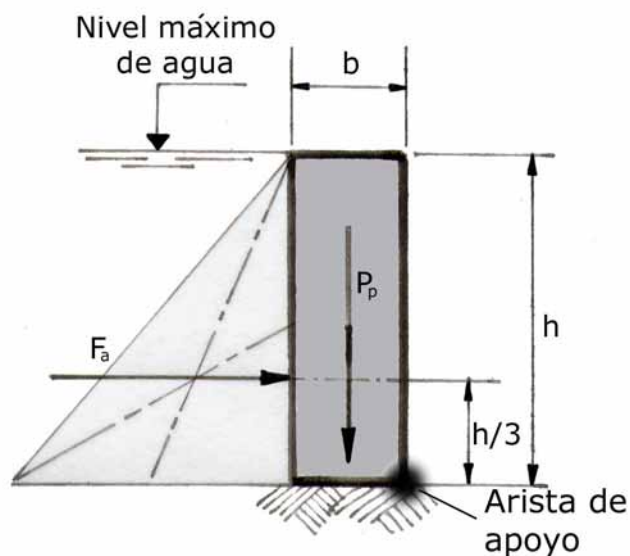
- **Concepción de una presa**

Una presa, para que sea efectiva, debe cumplir dos funciones simultáneas. Una es ser impermeable, la otra es ser lo suficientemente rígida y resistente como para aguantar el empuje del agua embalsada.

El agua embalsada, (o retenida en cualquier recipiente) crea un empuje hacia el exterior directamente proporcional a la profundidad que estemos considerando, creando un gradiente de presiones de forma más o menos triangular, de modo que en la parte inferior de la presa es donde se presentan los mayores empujes. Concretamente, para una simple pared vertical, aproximadamente a $1/3$ de la altura total del agua embalsada.

La resultante de estos empujes tiende a volcar la presa, por lo que debe ser compensada con una resistencia lo suficientemente grande como para impedir el vuelco o el arrastre de la masa construida.

Para entender el mecanismo de vuelco y equilibrio en una presa simple, como las que hicieron los romanos, realizamos el siguiente esquema:



Consideraremos una simple pared de sillería de altura " h " y espesor " b ", y supondremos que la presa está completamente llena de agua,

de modo que la presión sea máxima. La longitud del muro considerada, para facilitar los cálculos será la unidad.

Para calcular las presiones debidas al agua, debemos recurrir al Teorema Fundamental de la Hidrostática:

“La diferencia de presión entre dos puntos de un líquido en equilibrio, bajo la acción de la gravedad, es igual al peso de una columna líquida que tiene por base la unidad de superficie y por altura la diferencia de alturas de los puntos”.

La consecuencia de este teorema para el caso que nos ocupa, es que la presión en un punto de un líquido en equilibrio, (agua en nuestro caso) debida al propio peso del líquido, es igual al peso de una columna del líquido de base la unidad, y de altura la distancia del punto a la superficie.

Según esto, en nuestro caso, la presión vendrá dada por un conjunto de fuerzas de forma triangular, con un valor cero en la superficie, y un valor máximo de:

$$F_m = h \cdot a \cdot g$$

Siendo:

F_m = Valor máximo de la presión del agua.

h = Altura total de la pared.

g = Aceleración de la gravedad.

a = Masa específica.

La resultante (F_a) de ese sistema triangular de fuerzas será el area del triángulo que tiene de base F_m y de altura h.

La expresión final de esa fuerza resultante será por tanto:

$$F_a = h \cdot a \cdot g \cdot h / 2$$

Fórmula que podemos resumir en:

$$F_a = h^2 \cdot a \cdot g \cdot 1/2$$

Esta fuerza tiende a hacer dos efectos sobre la pared:

- El primero es hacerla deslizar en el sentido de la corriente. Este deslizamiento lo impide una correcta cimentación.
- El segundo, en el caso de que el muro está lo suficientemente cimentado, es hacerlo volcar alrededor de una arista de apoyo (señalada en el esquema con un punto negro).

El efecto de vuelco es lo que se llama en estática «momento de fuerza» y tiene de valor el producto de la fuerza considerada multiplicada por la distancia desde la línea de aplicación de dicha fuerza al punto.

En el caso que nos ocupa, la distribución de fuerzas tiene una forma triangular, por lo que la resultante estará situada sobre el Baricentro del triángulo (el punto donde se cortan las medianas) que para cualquier triángulo siempre se encuentra a una distancia de $2/3$ del vértice y $1/3$ de la base.

En nuestro caso, esa distancia será $h/3$.

El Momento de la fuerza debida al agua (M_a) será por lo tanto:

$$M_a = (h^2 \cdot \rho_a \cdot g \cdot 1/2)h/3 = h^3 \cdot \rho_a \cdot g \cdot 1/6$$

Vemos que el Momento de la fuerza debido a la presión del agua (y esto es muy importante) aumenta en proporción cúbica respecto a la altura de la presa, pues el resto de los términos que intervienen en la fórmula son constantes.

El Momento que crea el agua sobre la arista considerada (en nuestro esquema) vemos que tiene el sentido de las agujas del reloj.

Este Momento que la presión del agua crea en las paredes de la presa, se ve compensado con el Momento, de sentido contrario que está originado por el peso propio de la pared de piedra, que estará aplicado en el Centro de Gravedad de la pared. En nuestro caso, al ser una pared prismática, será el centro geométrico de la misma.

El peso del trozo de pared (De longitud unidad, como en el caso del agua) lo calculamos de la siguiente manera:

$$P_p = h \cdot b \cdot \rho_p \cdot g$$

Siendo en este caso la densidad, la correspondiente a la piedra de que esté hecha la presa.

El Momento que crea la pared será en nuestro caso:

$$M_p = (h \cdot b \cdot \rho_p \cdot g)b/2 = b^2 \cdot h \cdot \rho_p \cdot 1/2 \cdot g$$

En este caso, vemos que el peso de la piedra de la que está construida la presa, contribuye a la estabilidad de la misma (contrarrestando la tendencia al vuelco de la presión del agua) en función del cuadrado de la anchura de la pared.

En un punto límite de equilibrio, (cuando la presa esté a punto de volcar), los momentos de ambas fuerzas serán iguales. Tendremos entonces:

$$b^2 \cdot h \cdot \rho_p \cdot 1/2 \cdot g = h^3 \cdot \rho_a \cdot g \cdot 1/6$$

Eliminando los términos comunes y simplificando, tenemos:

$$b^2 \cdot \rho_p \cdot 1/2 = h^2 \cdot \rho_a \cdot 1/6$$

A continuación tomamos raíces cuadradas en ambos términos y sustituyendo las densidades por:

- Densidad del agua: 1.000 Kg/m³
- Densidad de la pared *: 2.800 Kg/m³

*He tomado como densidad de la pared de piedra 2.800 Kg/m³ pues es la que aparece tabulada como peso específico del Granito, Sienita, Diabasa, Pórfido, Mármoles y Calizas compactas.

Para la piedra Arenisca, la densidad que habría que tomar, para hacer el cálculo sería de 2.600 Kg/m³, pero estos 200 Kg. menos representan apenas un 7,14% del supuesto, por lo que el resultado final no varía apreciablemente.

Tenemos:

$$b \sqrt{\frac{2.800/2}{1.000/6}} = h$$

Y de aquí tenemos finalmente:

$$b \cdot 2,9 = h$$

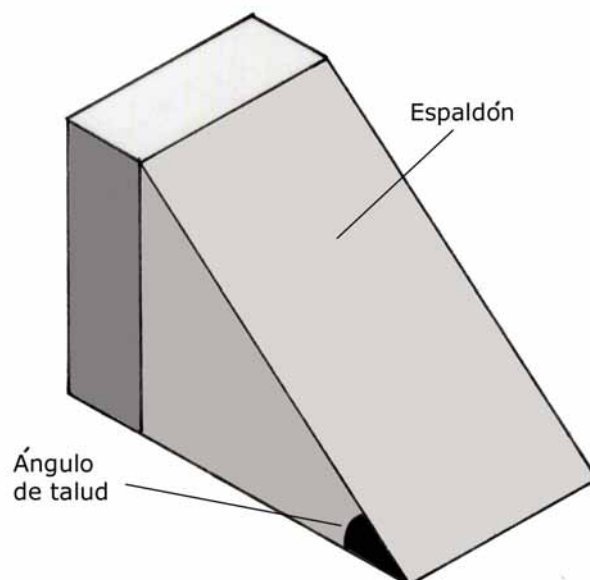
Según la fórmula anteriormente obtenida, vemos que una presa formada por una simple pared de sillería, es capaz de soportar una carga de agua con su propio peso, siempre que el espesor de la pared de la obra sea superior a 3 veces (redondeando) la altura máxima de la presa, siempre en el caso de que la presa se halle completamente llena. Si esto no se cumple, es decir, si la altura máxima de la presa es superior a 3 veces el espesor de la pared (supuesta ésta de piedra de sillería) la presa, al llenarse, volcará irremediablemente, si no se opone una resistencia que sea capaz de soportar el empuje del agua.

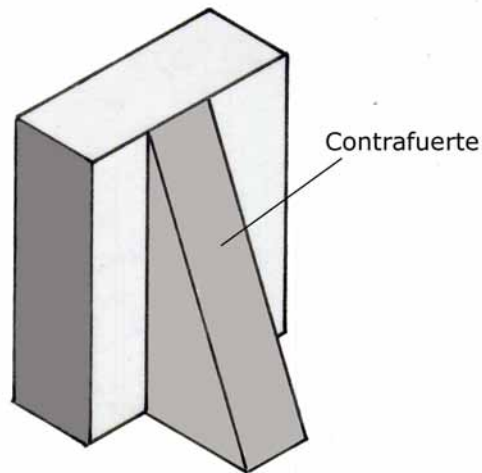
Parece normal que los romanos o sus maestros hidráulicos, los etruscos, llegaran de forma empírica a unas conclusiones parecidas. De hecho las pequeñas presas de regadío que hicieron un poco por todas partes, obedecen a estas normas.

El problema se planteaba cuando las necesidades de agua requerían una presa de mayor volumen embalsado, por lo que, si tenemos en cuenta que estas grandes paredes las hacían de mampostería (sin duda por el menor coste y mayor rapidez de ejecución que la sillería) y la menor densidad de la obra de mampostería con mortero (aproximadamente 2.500 Kg/m^3) la anchura mínima necesaria para realizar una obra de altura máxima de, por ejemplo, 10 m. de altura, debería ser de casi 4 m.

Todo ello casi sin margen de seguridad, por lo que se comprende que cuando la pared tuviese que ser elevada, habría que añadir un sistema de refuerzo a la misma, salvo hacer paredones descomunales.

Este refuerzo podría ser de contrafuertes de fábrica, prismáticos o triangulares, levantados cada cierto trecho, o bien, un espaldón continuo de tierra aguas abajo, que abarcara la totalidad de la longitud de la presa.





Los contrafuertes tienen la ventaja de que al ser de piedra o de mampostería, prácticamente son indestructibles, por lo que casi no necesitan protección ni ante los elementos atmosféricos, ni ante los posibles desbordamientos de la presa por su coronación.

Tienen sin embargo en contra la dificultad de su cálculo estimativo, su dificultad de construcción y su coste.

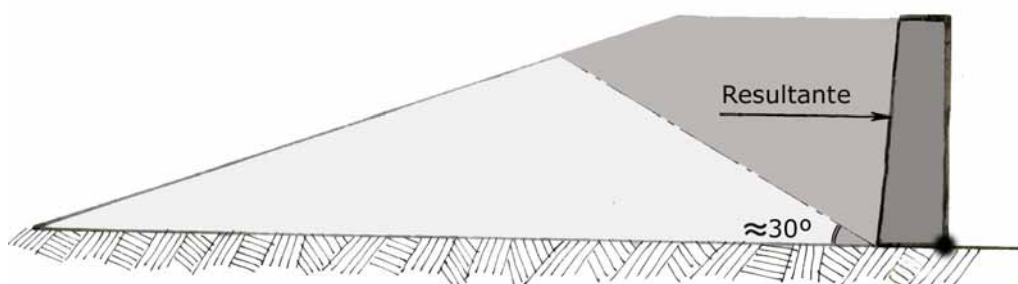
El espaldón de tierra tiene la desventaja de que la presa no puede desbordarse por la parte superior, pues arrastraría el material, que generalmente suelen ser cascotes y tierra más o menos compactada, por lo que el aliviadero de la presa debe preverse en algún lugar alejado.

Tiene la ventaja de su coste, casi nulo, pues puede hacerse con los materiales de la zona, sin ningún tipo especial de argamasa ni piedra determinada. Asimismo la mano de obra que lo ejecuta no necesita casi ninguna especialización, al contrario de lo que ocurre con los contrafuertes.

Esta solución del espaldón de tierras aguas abajo, es la que casi por unanimidad adoptaron los romanos para las grandes presas, lo que lastró su ejecución, y a la larga en algún caso, dio al traste con el conjunto.

Esto fué debido al desconocimiento por parte de los arquitectos romanos de los problemas de la estática, y el equilibrio de las grandes fuerzas horizontales, lo cual no deja de sorprender, habida cuenta de que eran unos consumados maestros en el manejo de las grandes cargas verticales.

Un espaldón de tierra, presenta las características de los materiales sueltos, que no es otra que el hecho de que al amontonarse, forman de modo natural un ángulo con respecto al terreno siempre constante, llamado ángulo de talud, por encima del cual, el conjunto resulta inestable. Este ángulo puede aumentarse con una adecuada compactación, pero ésta era muy limitada en la antigüedad, de modo que siendo consciente de ello los arquitectos romanos, trataban siempre de hacer que el ángulo de talud de sus faldones fuese siempre menos de 30° , que es el ángulo de talud natural de la arena.



Sin embargo al estar apoyado todo el conjunto en la pared, esta arena ejerce una presión sobre la misma, que deberá estar contrarrestada por la que ejerce el agua, para que la pared no se venga abajo.

En el caso de que la presa esté vacía, el empuje resultante del faldón debido a todo el material que se encuentra por encima del ángulo de talud, hará que la pared bascule hacia aguas arriba, tal y como ocurrió en la presa de Alcantarilla, que suministraba agua a Toledo. (En el dibujo anterior está representado esquemáticamente la referida presa de Alcantarilla, indicándose la parte del faldón que hacía presión sobre el muro, y que a la postre acabó por volcarla alrededor de la arista indicada.)

Este efecto se podría ver acentuado en el caso de un vaciado rápido de la presa, y más aún si hubiera sido en época de lluvias, que hiciera estar empapado al faldón, por lo que al efecto natural se añadiría el debido al agua embebida en el mismo. (F. Casado. C. Op.Cit.)

No puede reprochárseles a los arquitectos romanos el no haber dado con la solución al problema de las presas con faldón de tierra, pues este no se resolvió enteramente hasta el siglo XIX.

La solución no es otra que crear aguas arriba un faldón semejante al de aguas abajo, de manera que cuando el embalse se halle vacío compense su empuje. Esto, que curiosamente, fue descubierto por Arquímedes de Siracusa, sin embargo no llegó a tener una aplicación directa en la ingeniería hasta muy tarde. (**J.Schnitter.N.** *Op.Cit.*)

Sólo de manera excepcional construyeron presas de planta curva, trasladando parte de la presión a los asiento laterales de la pared, por lo que no puede decirse que este sistema constructivo fuese en absoluto la norma, y siempre en presas de escasa entidad.

La presa de Subiaco, construida por Nerón, tenía esta forma, lo que le permitió tener 40 m. de altura (aunque no es del todo seguro este dato), 80m. de longitud de coronación y 13,50 m. de espesor. Esta presa formaba un lago artificial que fue aprovechado posteriormente por el emperador Trajano, para trasladar hasta él, la toma de agua del acueducto *Anio Novus*. (**J.Schnitter.N.** *Op.Cit.*)

Esta presa permanece como la mas alta construida por los romanos, siendo, junto con otras dos más pequeñas situadas una aguas arriba, y otra aguas abajo, la únicas presas romanas de cierta entidad que han llegado hasta nosotros en la Península Itálica.

- **Las presas romanas**

Oriente Próximo.

Mucho antes de que el poder de Roma se hiciera con el control de Oriente Medio, los antiguos habitantes de estas zonas habían aprendido a construir grandes presas de mampostería o sillares.

Una región en la que las presas se multiplicaron por doquier fue la zona del Neguev, que permitió a los nabateos mantener en una zona casi desértica una civilización artificial. Estas presas cumplían la doble función de almacenar agua para el riego y para el suministro a las ciudades. Esta solución, pues, tenía tradición en la cuenca mediterránea, lo que permitió la extensión de la misma por parte de Roma.

En el Próximo y Medio Oriente, construyeron las siguientes presas según Schnitter:

Ciudad	Nombre	Tipo	Altura	Longitud	Anchura	Uso
Amassya	Lostugun	Mat. Suelos	12,0	100	68,0	Riego
Antioquía	Çeslik	Gravedad	16	49	5	Derivación
Cesárea	Maagan Norte	Gravedad	3,5	900	2,5	Abastec.
	Maagan Oeste	Gravedad	7,0	93	5,5	Abastec.
Corum	Örükaya	Gravedad	16,0	40	5,0	Riego
Dimona	Churvat Zafir	Gravedad	4,5	15	2,0	Abastec.
	Maalev Zafir	Gravedad	2,9	13	1,0	Abastec.
	Nachal Zafir	Gravedad	3,5	22	3,5	Abastec.
	Nachal Zin	Gravedad	2,5	15	2,0	Abastec.
Homs	Qadas	Gravedad	7,0	2.000	14,0	Riego
Kutahya	Cavdarbisar	Gravedad	7,0	80	8,0	Avenidas.
Lejjun	Superior	Gravedad	6,3	80	7,0	Abastec.
	Inferior	Gravedad	3,5	100	3,5	Abastec.
Mardin	Dara Este	Arco (?)	5,0	190	4,0	Avenidas
	Dara Oeste	Gravedad	5,0	66	(?)	Abastec.
Nigde	Boguet	Gravedad	4,0	300	2,5	Abastec.
Palmira	Harbaqua	Gravedad	20,5	365	8,0	Riego/abast
Risafe	Sele	Mat. Suelos	3,0	480	(?)	Abastec.

Entendemos por presa de Materiales Suelos a la que está reforzada con un espaldón de tierra, y Presa de Gravedad, a la que simplemente consta de una pared de sillería o mampostería sin ningún tipo de refuerzo.

Según esta lista podemos sacar algunas conclusiones:

En general, las presas romanas en Oriente Próximo eran de gravedad, por lo que su altura no era excesiva. (Sólo 4 superan los 10 m. de altura y de éstas, la de Lostugun, no es seguro que sea romana).

Únicamente la presa que abastecía a Palmira mide más de 10 m. de altura, por lo que puede afirmarse que en general los romanos en Oriente Próximo buscaron otros sistemas de abastecimiento de agua a las ciudades grandes, y ello, pese a encontrarse en una zona relativamente desértica y ausente de grandes corrientes de agua.

Norte de África.

Los romanos se instalaron en el Norte de África tras vencer a los Cartagineses en la Segunda Guerra Púnica. Allí construyeron presas a partir del siglo II.

La mayoría estaban formadas por muros de mampostería muy sólidos y con grandes anchuras respecto de la altura, por lo que la estabilidad de las mismas estaba asegurada.

Ciudad	Nombre	Tipo	Altura	Longitud	Anchura	Uso
Barika	Barika	Gravedad	3,2	5,0	7,0	Riego/abas.
	Roumila	Gravedad	2,5	25	4,0	Riego
	Sakbri	Gravedad	1,1	15	2,5	Riego
Collo	Halla	Gravedad	5,0	(?)	(?)	Riego
El Ataff	Taria	Gravedad	4,0	(?)	3,5	Riego
Ighil-Azane	Djidioua	Gravedad	5,0	(?)	5,0	Abastec.
Kasserine	Derb	Gravedad	10,0	130	7,0	Riego
Mila	Mila	Gravedad	10,0	70	(?)	Riego
Sidi Kada	Kerroucha	Gravedad	6,0	(?)	9,0	Riego
Tarabulus	Megenin I	Contrafuertes	6,3	91	5,4	Riego
	Megenin II	Gravedad	5,8	257	4,3	Riego
	Megenin III	Contrafuertes	1,5	43	1,0	Riego

Únicamente dos de estas presas estaban diseñadas para el abastecimiento a las poblaciones, las dos de proporciones modestas, y de una gran anchura respecto de la altura.

Hispania.

Centrándonos en las presas construidas en *Hispania*, tenemos :

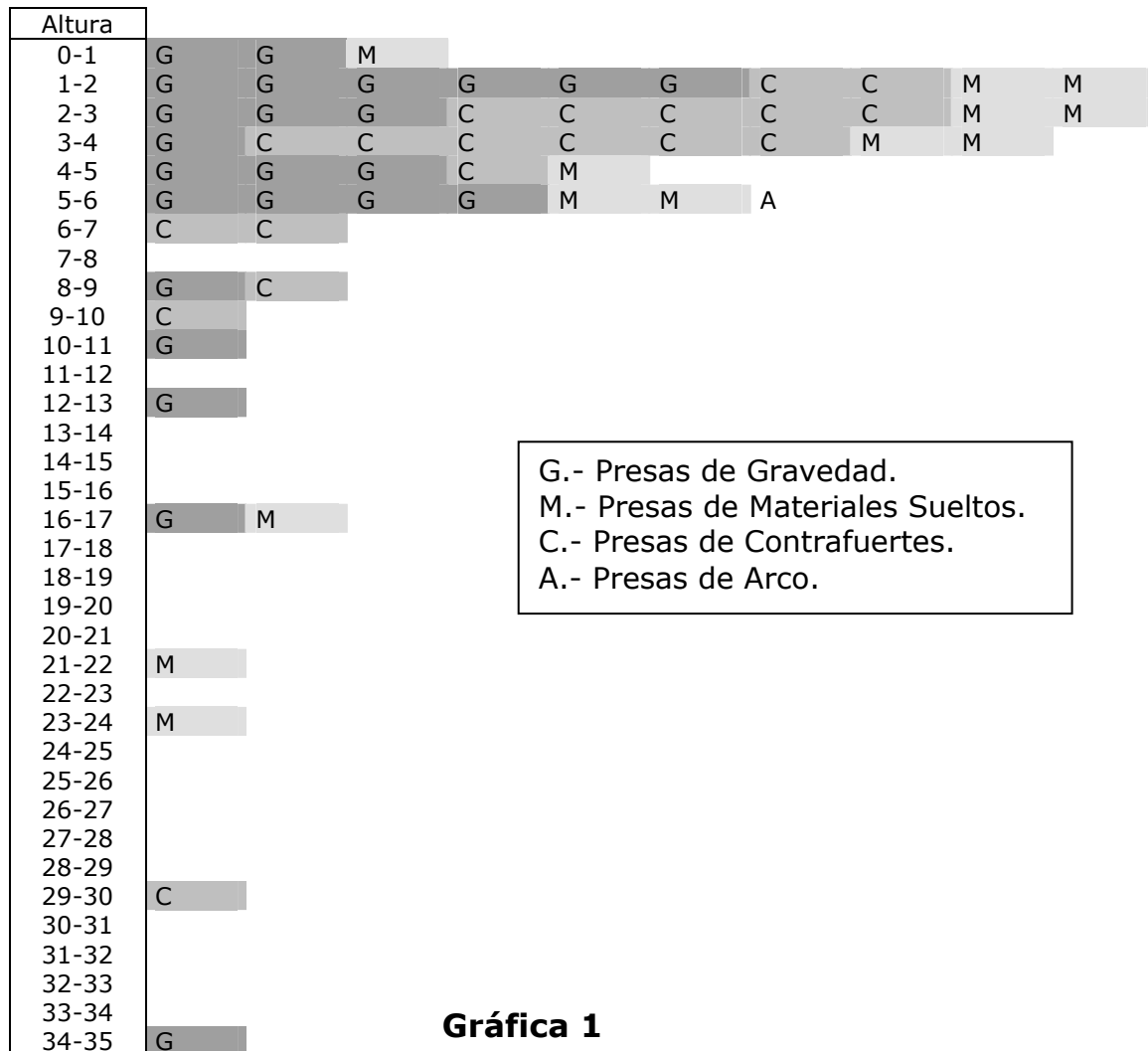
	Ciudad	Nombre	Tipo	Altura	Longitud	Ancho	Uso
1	Avila	Arévalo	Mat. Suelos	6,0	50	1,5	Abastecim.
2	Beja	Álamo	Contrafuertes	30,0	50	3,0	Riego/abast
3		Castelimbo	Mat Suelos	0,8	56	11,0	Riego/abast
4		Fonte Coberta	Gravedad	2,6	75	2,6	Riego/abast
5		Santa Rita	Contrafuertes	2,2	50	3,2	Riego
6		Tesnado	Gravedad	1,2	220	0,7	Riego/abast
7	Évora Norte	Almarjao	Gravedad	5,2	55	2,2	Riego/abast
8		Carrao	Gravedad	1,7	117	1,0	Riego/abast
9		Gaviao	Contrafuertes	10,0	78	10,3	Riego/abast
10		Moralves	Gravedad	3,2	161	1,1	Riego
11		Mourinha	Gravedad	1,0	0,4	0,4	Riego
12		Muro	Contrafuertes	4,6	174	4,2	Riego/abast
13		Oliva	Contrafuertes	3,0	45	0,8	Riego
14		Tapada	Mat. Suelos	1,6	76	13,2	Riego
15	Évora Sur	Baleizao	Gravedad	1,1	120	0,9	Riego
16		Cuba	Contrafuertes	1,8	81	1,6	Riego
17		Monte Novo	Arco	5,7	52	6,5	Riego
18		Moura	Contrafuertes	3,0	130	1,5	Riego
19		Pisoos	Gravedad	4,3	58	3,0	Riego/abast
20		Prega	Contrafuertes	3,9	62	3,2	Riego/abast
21	Granada	Barcinas	Gravedad	4,5	40	4,0	Riego
22		Deifontes	Gravedad	4,5	15	4,0	Riego
23	Lisboa	Comenda	Contrafuertes	3,7	13	1,6	Riego/abast
24		Olisipo	Contrafuertes	8,2	52	6,5	Abastecim.
25	Extremadura	Araya	Contrafuertes	3,7	139	2,7	Riego/abast
26		Argamasón	Gravedad	1,3	14,7	1,4	Riego/abast
27		Cañada Huevo	Gravedad	5,0	100	2,5	Derivación
28		Cornalbo	Mat. Suelos	24	220	15,0	Abastecim.
29		Cuba	Mat Suelos	1,4	170	0,8	Riego/abast
30		Esparragalejo	Arcos Múlt.	5,6	320	2,4	Riego
31		El Paredón	Mat. Suelos	4,5	141	2,7	Riego/abast
32		El Peral	Gravedad	1,0	30	2,2	Riego
33		Golondrinas	Contrafuertes	3,4	200	3,0	Derivación
34		Hinojal	Contrafuertes	1,5	250	1,6	Riego/abast
35		Paredones	Mat. Suelos	2,5	80	(?)	Riego/abast
36		Proserpina	Mat. Suelos	21,6	426	6,0	Abastecim.
37		Santa María	Contrafuertes	3,6	98	2,2	Riego
38		Las Tomas	Mat. Suelos	3,0	95	1,9	Riego/abast
39		Valverde	Contrafuertes	3,0	170	3,0	Riego/abast
40	Navarra	Iturranduz	Contrafuertes	7,0	102	0,9	Abastecim.
41		Arroyo Salado	Gravedad	7,0	50	2,0	Derivación
42	Toledo	Alcantarilla	Mat Suelos	17,0	557	3,2	Abastecim.
43		Catillo Bayuela	Contrafuertes	3,0	30	1,5	Riego/abast.
44		Consuegra	Mat Suelos	5,8	700	1,6	Abastecim.
45		Moracantá	Gravedad	2,1	41	1,9	Riego/abast
46		Paerón I	Mat Suelos	2,4	81	1,2	Riego/abast
47		Paerón II	Gravedad	2,0	30	1,1	Riego/abast
48		Valhermoso	Mat Suelos	3,0	98	1,8	Riego/abast
49	Aragón	Muel	Gravedad	13,0	60	7,0	Riego/abast
50		Almonacid	Gravedad	34,0	120	27,0	Riego
51		Pared Moros	Gravedad	8,4	68	2,65	Riego/abast
52		Pesquera	Mat. Suelos	4,0	100	1,5	Abastecim.
53		Pueyes	Gravedad	5,3	47	2,6	Riego
54		Puy Forado	Gravedad	2,0	56	1,0	Abastecim.
55		San Marcos	Gravedad	10,7	33	2,2	Riego/fuerza
56		Villafranca	Gravedad	3,0	150	2,15	Riego
57		Virgen Pilar	Gravedad	16,7	80	7,35	Abastecim.

Se han excluido de esta relación la presas consideradas dudosas de ser de factura romana, como son las 5 de Melque , y las del Pontón Grande y el Pontón Chico, todas en la provincia de Toledo. Tampoco están las que tienen una altura netamente inferior a 1 metro.

Las presas de Materiales sueltos, así como las de contrafuertes, se han indicado sólo con el espesor del muro, sin tener en cuenta los espaldones ni los contrafuertes.

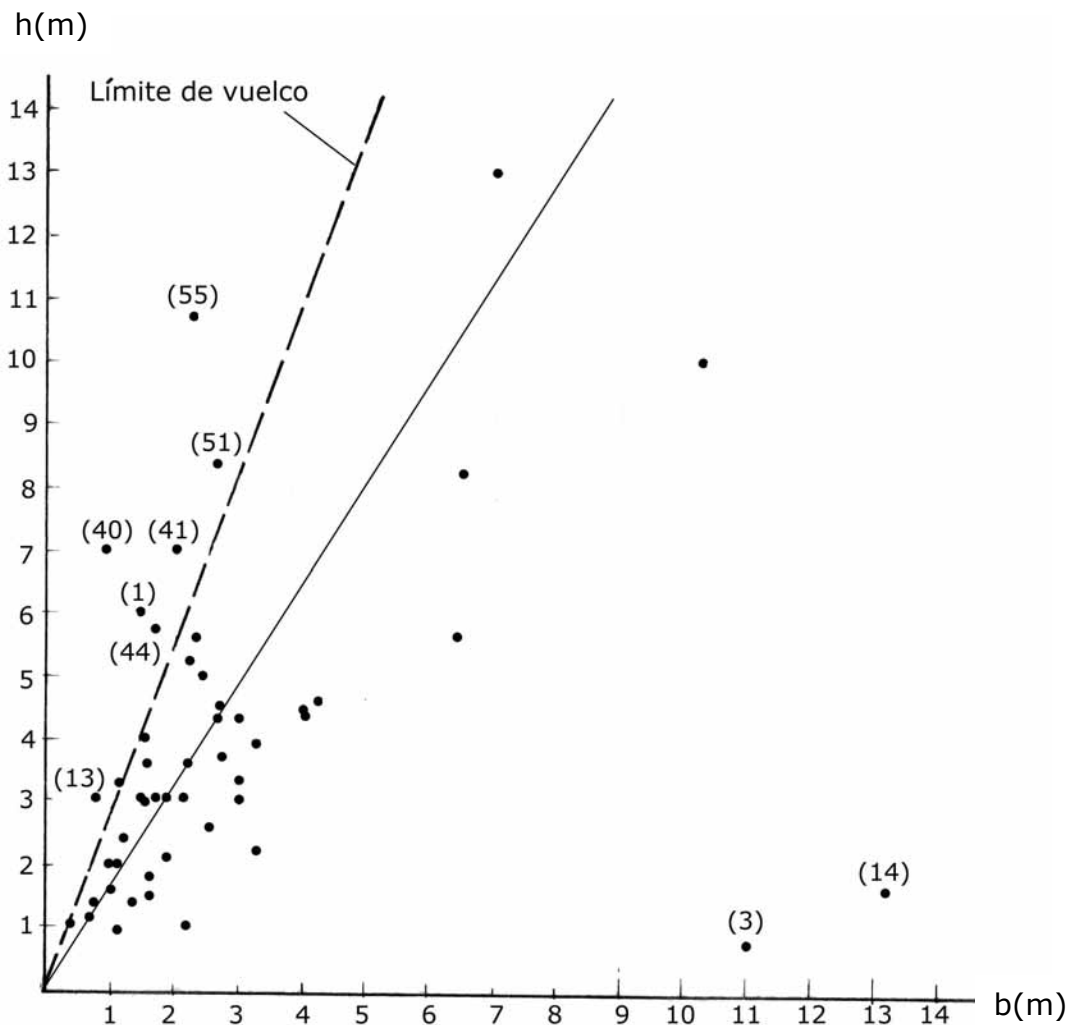
En esta lista también se han omitido los azudes, que los ingenieros romanos hicieron para derivar agua a diversos canales. Ello es debido a que los azudes, no son estrictamente presas, pues están concebidos para que el agua siempre se desborde por ellos , por lo que su diseño y concepción es distinta a la de los embalses puros.

Ordenando estas 57 presas en función de la altura a intervalos de 1m. tenemos:



El análisis de la gráfica 1 nos indica muy claramente que la gran mayoría de las presas tienen una altura máxima inferior a 7 metros. Esto podría ser debido a que por encima de esta altura, las complicaciones para la realización de las mismas serían excesivas, por lo que únicamente las levantarían de una altura superior cuando fuese completamente necesario.

Si representamos en un eje de abscisas el espesor de los muros, y en el de ordenadas la altura de las presas inferiores a 14 metros de altura, tenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 2

Hay en esta nube de puntos (Gráfica 2) algunas particularidades dignas de interés:

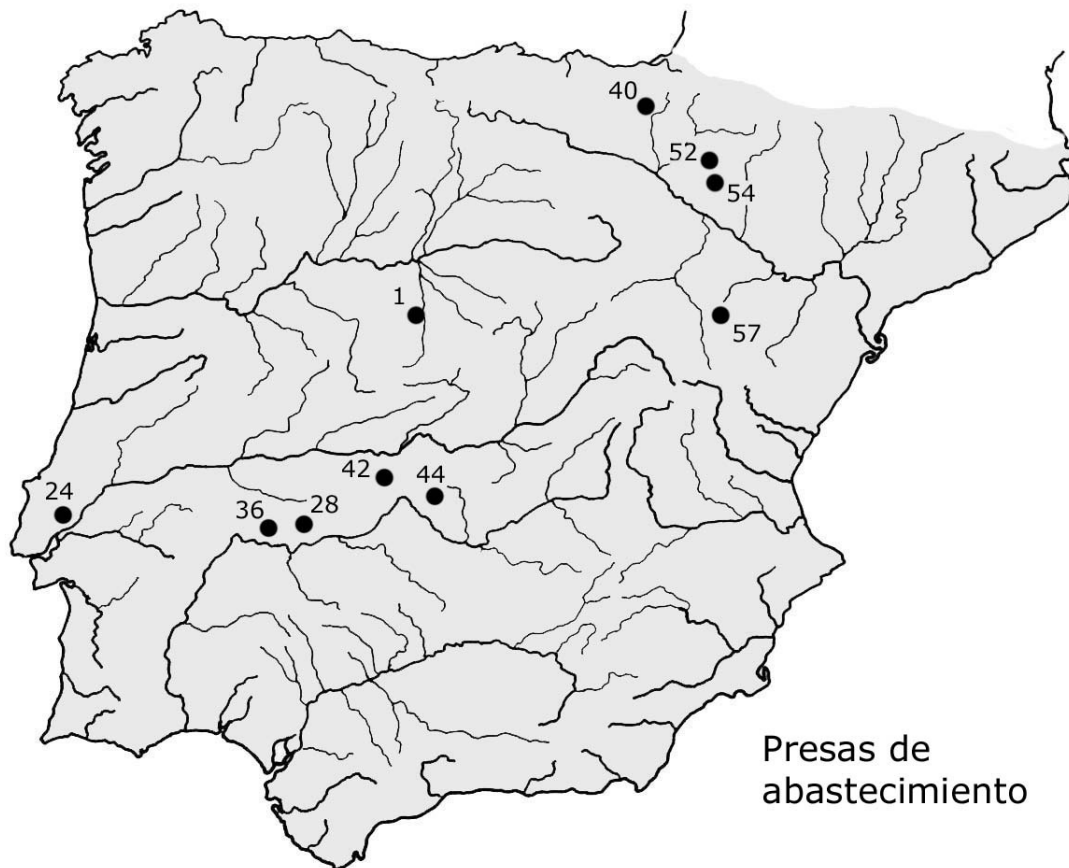
1. Generalmente se respeta el "Límite de vuelco" (Línea de trazos) aunque parece claro que hacían una estimación "a ojo" del espesor que debía tener la presa. En algunos casos, las presas están exageradamente sobredimensionadas, como en los casos de las presas de Castelimbo (3) y Tapada (14).
2. En general se aplica un "margen de seguridad" de manera que aproximadamente se establece una relación altura/anchura de 2/1. (línea continua) Sin embargo, parece evidente que no se trata de algo calculado previamente, pues la dispersión es demasiado grande
3. Hay 7 presas (14%) que sobrepasan los límites de seguridad, que son las siguientes:
 - **Arévalo** (1).- Con una altura de 6,0m. y una anchura de 1,5m. es una presa de Materiales sueltos, por lo que esta es únicamente la altura del muro, sin contar el espaldón de tierra.
 - **Oliva** (13).- El muro está reforzado con contrafuertes, por lo que éstos son lo que resisten el empuje del agua.
 - **Iturranduz** (40).- En este caso los 7 metros de altura son compensados con los contrafuertes, que no obstante, fueron insuficientes para evitar la rotura de la presa.
 - **Arroyo Salado** (41).- Es una presa de derivación, por lo que es muy probable que no se llenase nunca, de manera que pudiese aguantar la presión del agua con el espesor del muro.
 - **Consuegra** (44).- Es una presa de materiales sueltos, por lo que es un caso parecido al de Arévalo.
 - **Pared Moros** (51).- Es una presa para riego, de gravedad, por lo que no debía llenarse de manera normal.
 - **San Marcos** (55).- Tiene la misma particularidad que la anterior.

Por la Gráfica 1 podemos ver que no había un criterio uniforme a la hora del diseño de las presas, pues los distintos tipos de ellas (La presa de Arco la podemos considerar de modo testimonial) no están claramente agrupados en función del diseño de la misma..

Lo que si podemos observar es una especie de "escuelas" a la hora de diseñar las presas. Así tenemos:

- En la zona de Aragón, todas las presas son de Gravedad, menos una
- La dos presas de Granada son iguales.
- En la zona "central peninsular" todas las presas de abastecimiento están hechas de la misma manera, (aunque lógicamente con tamaños distintos)

Centrándonos exclusivamente en las 10 presas diseñadas sólo para el abastecimiento de agua (el 17% del total), vemos que la mitad de ellas tienen una altura superior a los 7 metros, e incluso 4 de ellas superan 3 veces esa altura, por lo que deducimos que a la hora de proyectar presas destinadas sólo a abastecer de agua a las poblaciones, generalmente se recurría a arquitectos profesionales que realizaban un proyecto más complicado que la simple construcción de una pared de piedra. De hecho 6 presas de estas 10 (el 60%) son de Materiales sueltos.



Tal vez sea significativo el hecho de que en el grupo "Lusitano", tan sólo una presa de las señaladas no sea de Materiales Suelos, mientras que en el grupo "Navarro-Aragonés" lo sea tan sólo una.

- **La ubicación de las presas de abastecimiento**

En cuanto a la ubicación general de las presas, en general, los romanos tenían el criterio de colocarlas en las cabeceras de corrientes de poco caudal, y por tanto en vaguadas muy abiertas. Esto obligaba en algunos casos, sobre todo cuando la presa era de cierta entidad, a hacer un trasvase de otras corrientes secundarias para obtener un volumen apreciable de agua embalsada.

También una consecuencia de esto, eran unos muros de contención enormemente largos en comparación con la altura de la presa, que en algunos casos son llamativos, como en Consuegra (1,6m. de altura y 700m. de longitud) y de Alcantarilla (17m. de altura y 557m. de longitud).

Quizás una de las causas de este criterio de localización resida en la comprobación de que las así ubicadas presentan un muy escaso atarquinamiento con el tiempo. De hecho, las presas de Proserpina y Cornalbo, pese a su uso continuado durante más de mil años tienen un atarquinamiento pequeño (**Martín Morales J.** *La presa de Cornalbo en Mérida.* p. 279), y la de Alcantarilla, aunque no sabemos cuanto tiempo estuvo en uso antes de destruirse, no presenta síntomas de haber tenido atarquinamiento alguno. (Aún son visibles los lanchones de granito del fondo, junto al muro). Lo cual contrasta vivamente con el caso de la presa de Almonacid de la Cuba. Esta presa, destinada a Regadío, tuvo que ser reformada ya en tiempos de Trajano, pues la toma de agua estaba obturada por los acarreos la de limos del Río Aguasvivas. En actualidad está completamente atarquinada. (**Arenillas Parra M.** *La presa de Almonacid de la Cuba.*).

- **Las grandes presas de abastecimiento**

De estas presas de aprovisionamiento, hay tres que merecen un estudio especial por sus peculiaridades, algunas de ellas muy singulares.

También vamos a incluir la descripción de la presa de Almonacid de la Cuba, que si bien se trata de una presa construida para aportar agua de riego, presenta unas características notables, que muy bien pueden servir para hacernos una idea de cómo afrontaban los ingenieros romanos la dificultad de construir una presa en un lugar muy complicado.

Básicamente, una presa de aprovisionamiento consistía (y consiste aún hoy día) en un muro que retiene el agua. Este agua se canaliza al acueducto por medio de unos conductos colocados cerca del fondo de la presa y que la atraviesan. Estos conductos van a parar a una cámara de compuertas donde se regula el caudal que da paso al acueducto. Esta cámara de compuertas se colocaba en el fondo de una torre hueca adosada al muro (Torre de toma), y generalmente en la parte de aguas abajo. Algunas presas como la de Proserpina, tenían dos cámaras de compuertas y por lo tanto dos torres de toma

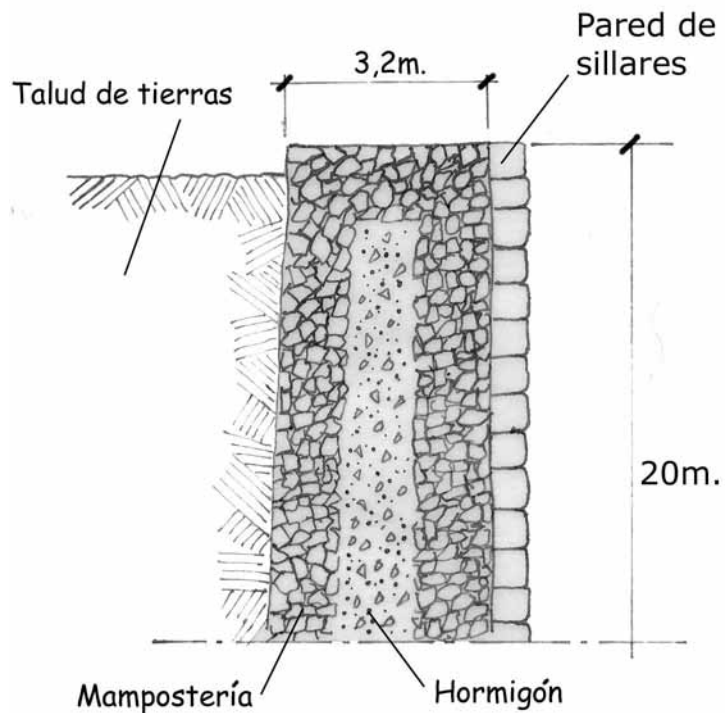
La presa de Alcantarilla.

Esta presa se ha considerado desde siempre como la “gemela” de Proserpina, ya que ambas son del mismo tipo, están ubicadas en el mismo tipo de terreno, ambas sobre cuencas relativamente pequeñas, además de tener unas dimensiones parecidas.

La presa de Alcantarilla está situada en la cabecera del arroyo Guajaraz, en el término municipal de Mazarambroz, casi en los Montes de Toledo. Servía como depósito de cabecera del acueducto que abastecía a la ciudad de Toledo.

Consiste en un muro-pantalla con espaldón de tierras aguas abajo.

La altura máxima rondaría los 20 m.



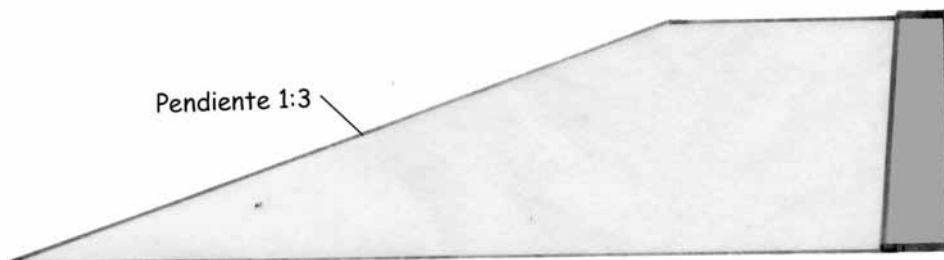
El muro está formado por un núcleo central de *opus caementicium* teniendo en ambas caras una capa de mampostería hormigonada que hacen de encofrado del núcleo central.

En la capa exterior de aguas arriba, (sin duda para proporcionar estanqueidad a la pared) tiene una capa de sillería granítica. El cimientado del conjunto es la roca granítica que aflora en los contornos. En la zona de intersección del cauce del arroyo con la presa, existen indicios de un muro, que pudiera pertenecer a una torre de toma, o bien a una especie de muro de refuerzo perpendicular interior.

Existen restos de una torre de toma adosada al muro, de 5,5x5,5m (no podemos saber si tenía otra como Proserpina)

Posiblemente la toma de agua fuese semejante a la de Proserpina. Quizás también con dos tomas, una más alta para la conducción, y otra más profunda para el desagüe de la presa. (**Aranda Alonso F.** *El sistema hidráulico romano de abastecimiento a Toledo*).

El espaldón de tierras tiene una desusada anchura en la coronación y una exagerada pendiente hacia abajo



El aliviadero de la presa parece haber estado en los extremos, pues el muro se interrumpe bruscamente con una altura de unos 3m; igual que ocurre en la presa de Proserpina. En realidad dicha coyuntura no presenta problema alguno de seguridad, habida cuenta que el terreno está formado por lanchones de granito, de manera que el agua al desbordarse por los extremos no socavaría el faldón de refuerzo de la presa.

La cota más alta del embalse daría un volumen de agua embalsada entre 4 y 8Hm³. La cuenca de aportación sería de unos 50 Km², complementándose con un canal de trasvase que aportaba los caudales del arroyo de S. Martín de la Montaña, afluente de Guajaraz por la izquierda, que confluye con él aguas abajo de la presa, aumentando la cuenca en otros 35 Km². (**Aranda Alonso**. *Op.Cit.*).

La presa, en la actualidad está destruida en su parte central. Sobre su rotura, se ha especulado mucho sobre las posibles causas. Carlos F. Casado hace referencia al empuje desproporcionado del faldón de tierras sobre el muro, estando el embalse prácticamente vacío.

(**Fernández Casado**. *C. Op.Cit.*)

Hay que considerar la posibilidad, nada improbable, de que en una temporada larga de lluvias, el faldón de tierra estuviese empapado de agua, pues los métodos antiguos de compactación no eran como los modernos, ni existían los conocimientos actuales sobre el comportamiento de los materiales en condiciones adversas. A este empapamiento contribuirían sin dudas las filtraciones a través de la pared de la presa.

Por otro lado, no sería fácil controlar las compuertas con una presión cercana a los 20 m. de columna de agua, por lo que en estas condiciones de equilibrio inestable, una rotura en la compuerta de desagüe de fondo (No es descabellado que la hubiera, a semejanza de la que hay en Proserpina) pudo acarrear un vaciado casi completo y muy rápido del agua embalsada.

El empuje del espaldón sería de unas 200 Tm por metro lineal en la parte central, lo que da un momento de vuelco hacia aguas arriba de unas 1.500 Toneladas métricas por metro; que con el embalse casi vacío no podía ser contrarrestado por el peso propio del muro.

La fractura, muy bien pudo haberse producido por una línea horizontal relativamente próxima al fondo, facilitado por algún defecto en la construcción (Son perfectamente apreciables en los restos las tongadas horizontales).

Desgraciadamente, no sabemos cuando se terminó esta presa, ni cuanto tiempo estuvo en funcionamiento. En el período de dominación árabe ya se había perdido la memoria de su uso, de hecho éstos le pusieron el nombre de *Alcantarilla*, en la creencia errónea de que los restos correspondían a un puente sobre el cauce del Guajaraz. Creencia ésta facilitada sin duda por la gran anchura del faldón en la coronación. (**Fernández Casado** *C. Op.Cit.*).

Hay un elemento evocador añadido en esta presa:

En las proximidades de la de Proserpina se encontró una estela pétrea con la imagen de esta diosa. Tal vez no sea casualidad que en las cercanías de la de Alcantarilla (Justo en el límite de la finca particular donde está ubicada) haya un monolito granítico donde está tallada una hornacina, que contiene una imagen de la Virgen del Rocío.

Las semejanzas entre una presa y otra son evidentes.

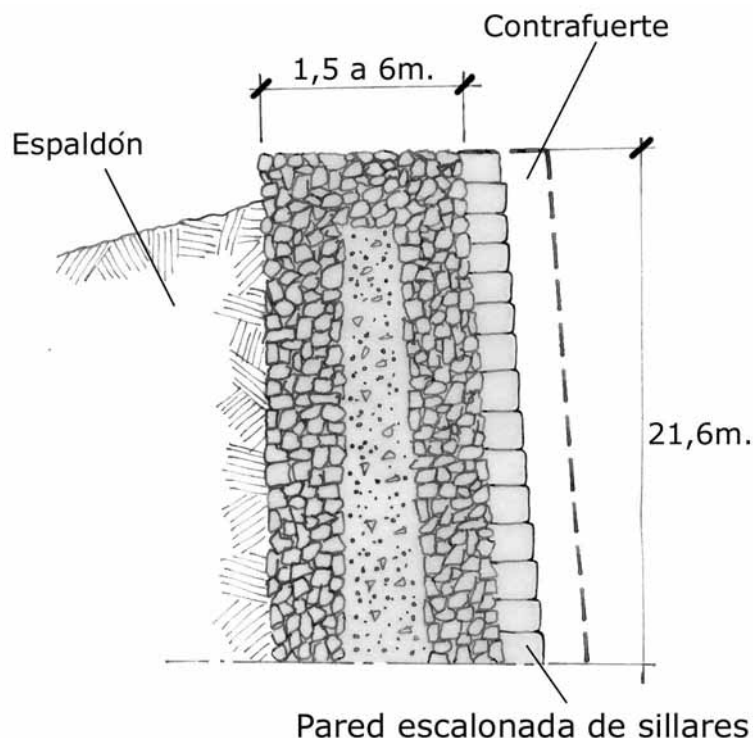
La presa de Proserpina.

Éste era el depósito de cabecera de la canalización que acababa entrando en la ciudad de Mérida por el acueducto de "Los Milagros".

En realidad, el nombre de Proserpina se le puso a la presa debido a una estatua de la diosa hallada en las proximidades de la misma, sin tener (que se sepa) nada que ver con una posible dedicación a la misma.

Esta presa es quizá algo posterior a la de Alcantarilla, de hecho su factura es muy semejante, aunque está reforzada por la parte de aguas arriba con una serie de 9 contrafuertes de 70 cm de grosor, tal vez para prevenir un colapso como el que aconteció en su presa "gemela". Estos contrafuertes, colocado a intervalos irregulares de unos 20m. En realidad no son capaces por sí solos de soportar un empuje como el que tuvo que soportar la presa de Alcantarilla.

El muro de fábrica es típicamente romano en su concepción de dos hiladas de mampostería que se iban rellenando de mortero en dos fases: En la primera se añadía la piedra partida, y en la segunda fase se añadía el mortero compuesto de arena, cal y agua que llenaba los huecos. (*F. Casado C. Op.Cit.*)

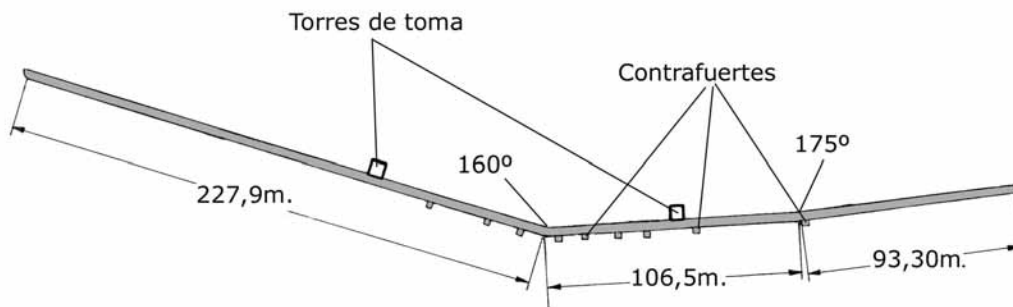


En el caso de Proserpina, a diferencia de Alcantarilla, el muro, tiene una cierta pendiente hacia Aguas Arriba de 1:10, lo que sin duda contribuye a su estabilidad.

Sin embargo, también dispone de un muro de sillería adosado en la parte de aguas arriba para proporcionar estanqueidad a la obra. La inclinación de este muro hace que el conjunto presente un aspecto escalonado.

Dispone la presa de dos torres de toma adosadas al muro por la parte de Aguas Abajo

La planta se compone de tres secciones rectas, debido a particularidades del terreno, formando ángulos de 160° y 175° .



La capacidad de almacenamiento es de unos 6 millones de metros cúbicos recibiendo aportes de distintas arroyadas, entre ellas una canal de 3,5Km.

No dispone de aliviadero a propósito, por lo que se piensa que, igualmente a lo que pasaba en Alcantarilla, la presa rebosaba por los extremos de la misma.

Disponía de dos desagües a diferentes alturas. Se ha pensado, debido a esto que en un principio la presa se concibió sólo para riego, y que posteriormente se le aplicó el uso como depósito de cabecera del acueducto de Los Milagros. Sin embargo bien puede ser que los dos desagües obedezcan simplemente a las dos utilidades de proporcionar agua al acueducto, el más elevado, y servir como desagüe de fondo el más bajo, para proceder a su limpieza cuando fuese necesario.

Se han hallado en esta presa tuberías de plomo que conducían el agua hasta las torres. En una de éstas se halló un tapón de madera que permitió fechar la presa en los primeros tiempos de la fundación de Mérida, o en los primeros años del siglo I d.C.(*J. Shnitter. N. Op.Cit.*).

Esta presa tiene la particularidad de haber tenido un uso ininterrumpido desde su fundación, lo que la hace ser un monumento extraordinario, al mantenerse en funcionamiento casi dos mil años después de su construcción.

La presa de Cornalbo.

Situada en el cauce del río Albarregas, a unos 18 Km de Mérida, servía de depósito de cabecera a uno de los acueductos que proporcionaban agua a esta ciudad.

El nombre de Cornalbo se lo dieron en la Edad Media por la forma de los sedimentos blanquecinos del fondo, lo que demuestra que tal vez en la Edad Media estaba arruinada. (**Fernández Casado.C.** *Op.Cit.p.137*)

La presa tiene unas peculiaridades que la hacen ser tan singular, que o bien estaríamos ante una creación romana absolutamente avanzada a su tiempo, o bien habría que constatar que poco quedaría del original romano.

Esta presa es la más alta de las construidas por los romanos (salvo la de Amonacid de la Cuba) fuera de Italia, y la más grande en cuanto a volumen almacenado. Llegando a tener 10 millones de metros cúbicos de agua. (**J. Shnitter N.** *Op.Cit.p.80*).

Recibe aguas del propio río Albarregas y del Arroyo de las Muelas, mediante un trasvase.

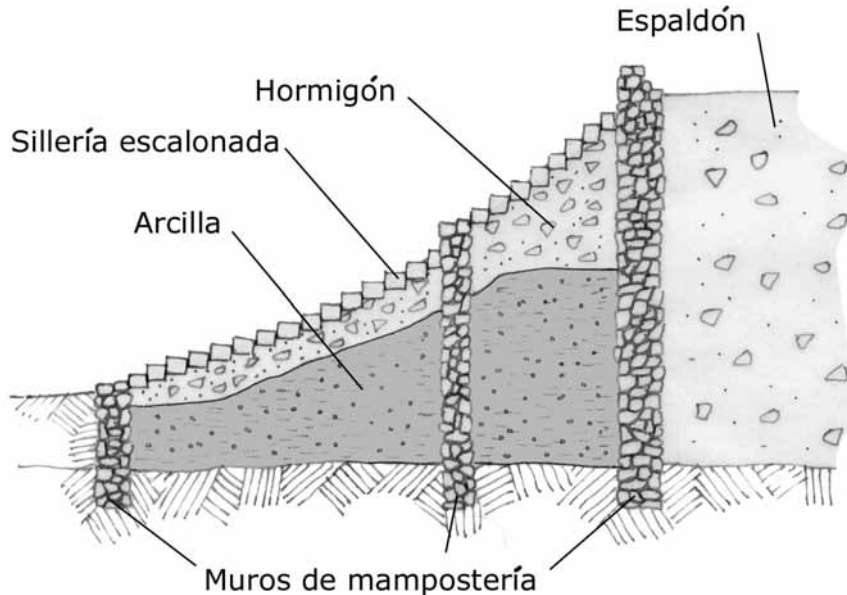
Si consideramos que una presa, debe tener estanqueidad y resistencia, esta presa cumple (al menos teóricamente en el diseño) ambas condiciones con creces.

Interpretando los planos de la obra antes de la reconstrucción, llegamos a la conclusión de que estaba organizada según una estructura reticular ortogonal de tres pantallas verticales en dirección longitudinal, unidos mediante otras perpendiculares a los anteriores, cada 7 metros, apoyadas sobre una losa de fondo.

Los compartimentos se rellenaban con una mezcla de piedras y arcilla en unas zonas y en otras con conglomerante.

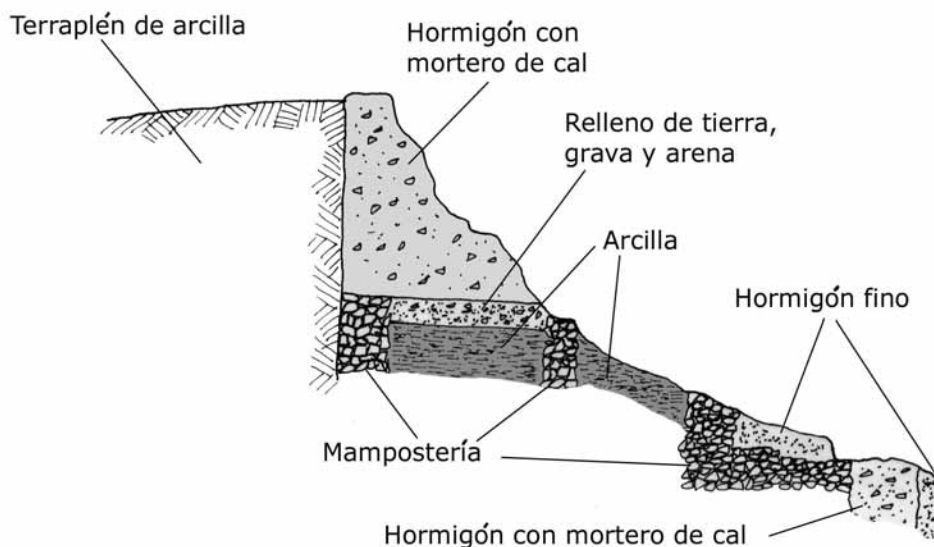
No se puede saber si la zona baja de la pantalla de Aguas Arriba estaba escalonada desde el origen, pero lo estaba antes de la última reconstrucción, pues este escalonamiento hizo creer que se trataban de los graderíos de una Naumaquia. (**Fernández Casado. C.** Op. Cit. p137)

Fue Fernando Rodríguez, maestro de obras, quien entre 1794 y 1797 realizó un levantamiento de las ruinas y los monumentos de Mérida, el que sugirió que en Cornalbo de celebraban naumaquias. (**Arbaiza Blanco Soler. S.** Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción)



La mayoría de los autores que sobre esta presa han escrito lo han hecho basándose en los datos de los ingenieros Francisco Rus y Martínez, y Rafael López Egoñez, autores a principios de siglo de estudios y proyectos de rehabilitación de la presa. (**Aranda Gutiérrez F.** Op. Cit.)

Presa de Cornalbo antes de su reconstrucción

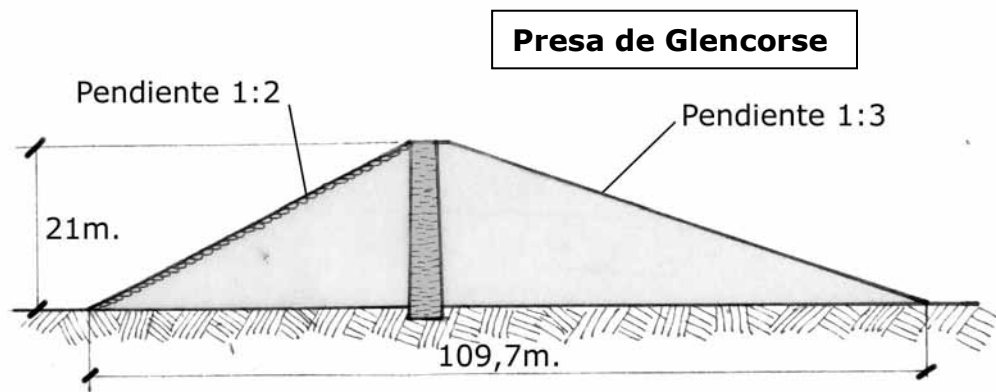
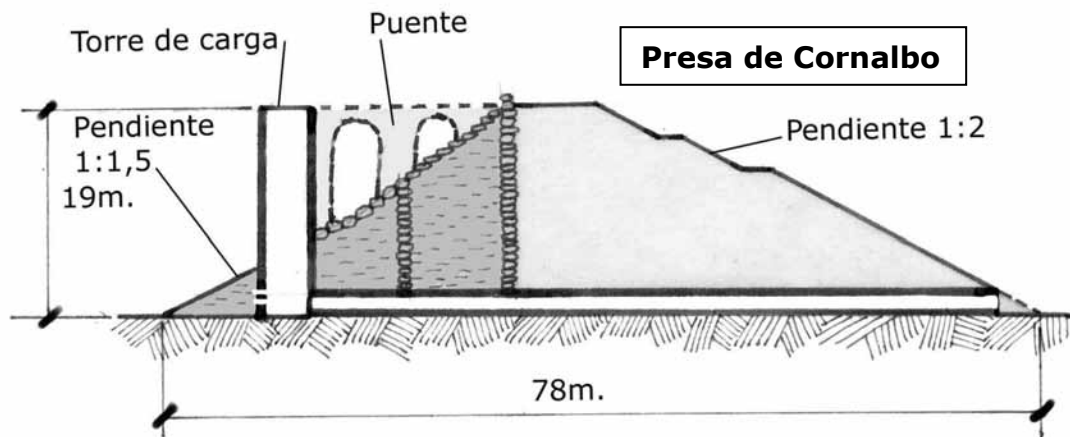


La presa tiene dos particularidades notables:

Una es la forma de talud del paramento de Aguas Arriba, algo insólito en las presas romas de esta época, como hemos visto.

La otra es la torre de toma, que se halla exenta del paramento de la presa, aguas arriba, caso inaudito y excepcional para una presa romana. Se accedía a ella desde el muro de coronación por medio de un pequeño puente.

La semejanza de esta presa con la primera que puede denominarse propiamente de Materiales Suelos (diseñada por el famoso ingeniero británico Thomas Telford, y construida en Glencorse, a unos 15 Km. al sur de Edimburgo entre 1819 y 1824, (*J. Shnitter. N. Op.Cit.*)) es asombrosa por lo que estaríamos ante un increíble alarde de diseño por parte de los ingenieros romanos.



La ubicación exenta de la Torre de toma se ha apuntado a la posibilidad de que obedezca a la posición de una antigua arqueta donde se reunían una serie de conductos de captación de aguas

subalveas, existentes en el vaso del embalse. Esta hipótesis enlaza con la de que primero se hizo la canalización y luego la presa. (**Aranda Gutiérrez. F.** *Op.Cit.*)

Se ha sugerido la posibilidad, de que la estructura de la presa de Cornalbo no tenga nada que ver con la que los romanos diseñaron en su momento, debido a la diferencia conceptual que hay entre las otras grandes presas de la zona, la de Alcantarilla y al de Proserpina. Sí se parece, sin embargo a otras más modernas, como la de El Ganso, construida en Madrid entre 1787 y 1799.

A partir de estos datos, puede suponerse que Cornalbo tuviese unos contrafuertes Aguas Arriba, a semejanza de los de Proserpina, para contrarrestar el empuje de las tierras del espaldón.

Pedro Rodríguez de Campomanes obtuvo permiso real (De Carlos III) en 1773 para utilizar el agua de Cornalbo para un molino de papel.

No parece improbable que Campomanes se encontrase la presa medio derruida, y la restaurase al estilo de su época, con forma reticular, aprovechando los contrafuertes que previsiblemente habría ya en la presa romana. (**Martín Morales. J.** *El sistema hidráulico de Cornalbo en Mérida.*)

La presa de Cornalbo, no tiene aliviadero. Sin embargo se ha descubierto que cerca de la cola del pantano, hay un collado que tiene 1m. menos de cota que la de coronación del embalse. Esto haría que fuese una aliviadero natural. El collado hace de divisoria entre el río Albarregas y el arroyo de Las Muelas, que también alimenta el embalse, por lo que el agua que resbale por este collado vuelve a su cauce natural. (**Aranda Gutiérrez. Op.Cit.**)

No sabemos si este cálculo fue hecho por los romanos en su momento o es fruto de la casualidad, sin embargo, dado el absoluto dominio de las técnicas topográficas de que hicieron alarde en otros lugares, no es descabellado pensar que la ubicación de la presa está pensada, precisamente con este fin.

El sistema hidráulico de Cornalbo es bastante complejo, pues consta de:

- La presa principal de Cornalbo sobre el río Albarregas.
- Un azud auxiliar sobre el arroyo de Las Muelas, desde donde se desvían al embalse principal los caudales de la cuenca alta del arroyo.
- El canal entre La Muelas y Cornalbo, de 10 Km. de longitud
- La captación-conducción de El Borbollón, aguas debajo de la presa, que desemboca en el acueducto.
- El acueducto propiamente dicho, de 18 km. entre Cornalbo y Mérida, con numerosos tramos en túnel.

Todo ello indica una depurada planificación de las obras, aunque es curioso constatar el hecho de que el canal de derivación de Las Muelas, podría haberse hecho aguas abajo, con lo que se hubiese aumentado la superficie de la cuenca de recepción de agua, y por consiguiente el volumen de agua a trasvasar, además de poder hacerse el canal más corto.

Esto indica que en época romana eran otros los factores que primaban sobre la construcción de embalses y canales. (**Martín Morales. J. Op.Cit.**)

La presa de Almonacid de La Cuba.

A esta presa se le ha atribuido durante mucho tiempo un origen medieval, de la época de Jaime I, según ya era tradición a finales del siglo XVIII.

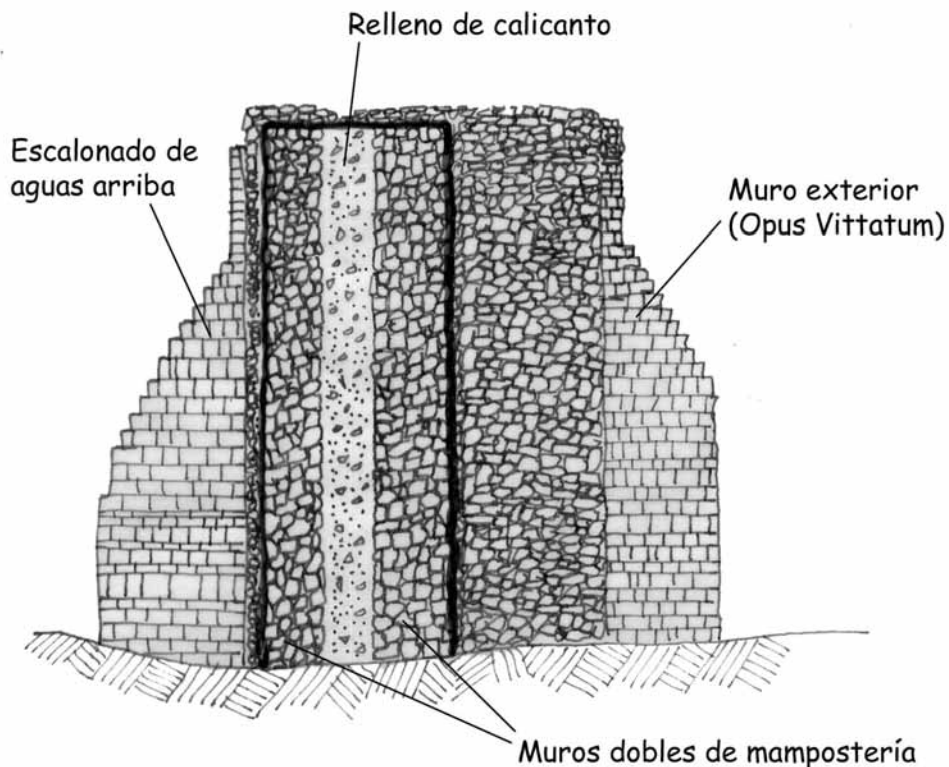
La causa de este error no es otra que las sucesivas reparaciones que la presa ha venido teniendo desde poco después de su primera puesta en funcionamiento.

La fábrica principal es romana, que a su vez cubre a otra presa, también romana, aunque de tipología muy distinta. (**Arenillas Parra. M.** *La presa de Almonacid de la Cuba*).

La presa está compuesta por un cuerpo central, de más de 100m. de longitud, con un aliviadero más esbelto, situado en la margen izquierda. La altura total en la parte central es de unos 34m.

Parece que los romanos asentaron la presa directamente sobre el terreno, pues al ser este rocoso, no necesita cimientos que permitan el asentamiento de la obra.

Como fecha más probable, se ha dado el año 9 d.C. para su construcción, por lo que el hecho de que ya en tiempos de Trajano, estuviese parcialmente atarquinada, da idea del volumen de agua que esta presa recibía, con una cuenca hidrológica de más de 1.000 Km² (**Arenillas Parra. M.** *Op.Cit.*)



La torre de toma está situada aguas arriba, y adosada al muro mediante un contrafuerte.

La presa tiene dos etapas constructivas:

1. En primer lugar se construyó una de altura equivalente a la actual. Esta presa, no pudo estar mucho tiempo en funcionamiento, por la sencilla razón de que el muro no podría soportar en la parte central 30 m. de carga de agua, por lo que se hacía necesario un refuerzo. Además, y por la orografía del lugar (un estrecho valle en V) no era viable la construcción de un espaldón de tierra, a semejanza de las grandes presas de Lusitana.
2. Después se realizó el refuerzo posterior de *opus vittatum*, dando lugar a una presa mucho más robusta.

El cauce sobre el que está construida (el río Aguasvivas) tiene un caudal medio de unos 30 Hm³ al año, cosa inusual en las presas romanas.

La capacidad de agua embalsada era de unos 4,6 millones de m³ lo que permitía regar una superficie de aproximadamente 500 Ha. que es lo que ocupa la zona susceptible de regadío próxima a Belchite.

En la actualidad se encuentra totalmente llena de sedimentos, debido a la gran cuenca de recepción de que dispone. (**Arenillas Parra. M. Op.Cit.**)

Desde el punto de vista ingenieril, la obra es importante, y tal vez sea la de mayor altura de las que los romanos construyeron nunca, pues los datos de la presa de Subiaco, en Italia, no se han podido explicar con rigor.

Es 13 m. superior a la de Proserpina, y sólo en el siglo XIV fue superada por la presa de Kunit en Irán.

En España, la primera que la superó fue la de Tibi (Alicante), con 46m., construida en 1594, es decir más de 1.000 años después de que la presa de Almonacid hubiese dejado de cumplir su misión original.

Esta presa es además una de las primeras grandes presas españolas (quizá la primera) que se construyó con el objetivo prioritario de dedicar el agua embalsada al regadío. (**Arenillas Parra. M. Op.Cit.**)

- **Las presas históricas en *Hispania***

Carlos Fernández Casado, estableció una clasificación de las presas romanas basándose en los materiales empleados:

- A) Las que utilizan de materia prima los materiales sueltos sin aglomerante.
- B) Las que utilizan una fábrica resistente. Estas se dividen a su vez en:
 - 1. De piedra pequeña y Calicanto.
 - 2. Mezcla de ambos.
 - 3. Formadas por un núcleo de materiales sueltos entre dos muros de fábrica.

En un elevado número de presas romanas, el muro de piedra no era autoestable, sino que cumplía básicamente meras funciones de impermeabilización. La función resistente la hacía un espaldón de tierra situada aguas abajo o a unos contrafuertes que se colocaban aguas abajo cuando el embalse no tenía espaldón.

En desembalses rápidos, las tensiones intersticiales no llegan a disiparse del todo, por lo que se provoca un mayor empuje en dirección al vaso. Sólo en las presas pequeñas, y en la mayor parte de los azudes, se mantuvo el muro simple.

Los tipos de fábrica que se emplearon se pueden resumir en tres:

- *Opus caementicium*.
- *Opus quadratum*.
- *Opus incertum*.

La combinación de estos tipos dieron lugar a gran número de configuración de muros, entre los que destaca el formado por dos paredes de *Opus incertum*, con *Opus caementicium* entre medias, con una capa de *opus quadratum* en el paramento de aguas arriba. (**Díez-Cascón Sagrado. J.** *Ingeniería de presas.*)

Es de destacar la calidad del hormigón empleado, muestra de gran experiencia en la elección de las cales y la elaboración de la mezcla.

En el aspecto hidráulico, las presas romanas se caracterizan por:

- La preferencia a cimentar y construir la presa en seco, lo que les llevó a utilizar vaguadas laterales, a las que se llevaba el agua mediante conducciones desde los cauces principales.
- Utilización de cauces con caudales estimables sólo para ubicar azudes, que se construían mediante muros de gravedad con vertido en toda su longitud.
- La preferencia por alejar en la medida de lo posible los vertidos de las avenidas de la presa.
Cuando era posible establecían el aliviadero en vaguadas laterales o en los extremos de la presa, encauzando el comienzo del vertido en la ladera.
- Utilización de cajetín de piedra labrada y rejuntada con mortero para las conducciones de agua a través de la presa.
Estas conducciones estaban dotadas de compuertas, de madera, generalmente, que se manejaban desde recintos a los que se accedía a través de torres situadas en el cuerpo de la presa o adosada a él. (El caso de Cornalbo es extraordinario).
- La utilización de plomo en los conductos es excepcional, al contrario de lo que ocurría en el resto de la ingeniería hidráulica.

En cuanto a la distribución en planta, tenemos:

- Planta recta de una única alineación, utilizada en las presas más altas.
- Planta recta de varias alineaciones, Utilizada en presas menores, buscando la adaptación al terreno. (**Díez- Gascón Sagrado. J. Op.Cit.**)