

Las presas de arcos y contrafuertes de Villarreal de Berriz. Una innovación tecnológica en el País Vasco en el siglo XVIII

José María Izaga Reiner

A comienzos del siglo XVIII, Pedro Bernardo Villarreal de Berriz, 1670–1740, propietario de ferrerías, molinos y montes en Bizkaia, empresario preocupado por la gestión y rentabilidad de sus propiedades, y con una inclinación muy acusada por la mecánica práctica, buscaba entre lo escrito orientaciones para mejorar el funcionamiento de sus ingenios y la reducción de los costes de su construcción.

Al no encontrar algo que le pudiera ayudar dedicó parte de su tiempo a mejorar el diseño de presas y a realizar en sus ingenios numerosas experiencias sobre el funcionamiento de ruedas hidráulicas y de molinos. Como consecuencia de ello diseñó un nuevo modelo de presa consistente en uno o varios arcos rebajados apoyados en contrafuertes intermedios y estribos laterales con el que sustituir a las tradicionales presas de gravedad.

Dentro de un ambiente de renovación Villarreal describió este modelo de presa en el libro *Maquinas Hidráulicas de Molinos y Herrerías...*, publicado en 1736 (Villarreal [1736] 1973) La importancia de esta obra radica en ser la primera obra escrita en castellano en la que se dan reglas sencillas basadas en proporciones para dimensionar las tradicionales presas de gravedad y las del nuevo modelo, y se describen con detalle estas presas de arco.

PRESAS DE GRAVEDAD

Las presas que se construían en los ríos de Gipuzkoa y Bizkaia a comienzos del siglo XVIII con objeto de

derivar agua para suministrar fuerza motriz a molinos y ferrerías, consistían en fábricas de sección trapecoidal con el paramento aguas arriba inclinado y frecuentemente de mampostería, y el de aguas abajo vertical, de sillería o mampostería. El interior estaba formado por un aglomerado de cantos con mortero de cal. Se construyeron a partir del siglo XVI sustituyendo en muchos casos a las anteriores de estructura de madera.

Estas presas soportan el empuje del agua por su propio peso y por su cimentación en el lecho del río, que necesariamente debía ser rocoso. Son presas transversales a la corriente que vierten por toda su coronación que podía ser del orden de 10 a 60 metros, y con salto entre 1,60 m y 5,50 m. La longitud del remanso oscila entre 150 y 300 m, y permite acumular agua para algunas horas de trabajo. Disponen de desagüe de fondo.

Villarreal manifiesta conocer bien estas presas de piedra. Nos dice que se construían así desde tiempo desconocido, no sabe si «porque aprendieron nuestros padres con las continuas experiencias; o porque algún Matemático dio la forma». Posiblemente eran consecuencia de numerosas construcciones levantadas empíricamente por maestros canteros creando un modelo experimentado y difundido.

A partir de las que conoció, las describe y extrae criterios y normas para su dimensionamiento que por experiencia garantizan su duración. Es una norma basada en proporciones tomando como referencias la altura del dique y la altura de una avenida esperada.



Figura 1.
Presa de Oxillain. Construida por Villarreal. Puede considerarse representativa del tipo de presas de arcos

Considera que la sección de un muro construido para soportar el empuje del agua debía ser un triángulo rectángulo con su base igual a la altura deseada, pero para mayor seguridad recomienda aumentarla en un 20%. Para soportar las avenidas que vierten en su totalidad por la coronación, esta, y por lo tanto también la base, debe ser aumentada en la misma medida que la altura de la lámina de la crecida máxima esperada, que él mismo estima para los ríos en que trabajó, de 6 a 8 pies (1,70/2,20 m) o 2 a 3 pies si se construyeran en cauces menores.

Recomienda que el frente vertical se construya de sillares bien labrados y rejunteados. El talud, de mampostería debía forrarse en su totalidad con tablas, a las que llama colomas, con sus juntas bien calafateadas para evitar que durante los primeros meses tras su construcción pasara el agua al macizo de cantería recién hecho y arrastrara aglomerante de cal aún sin endurecer.

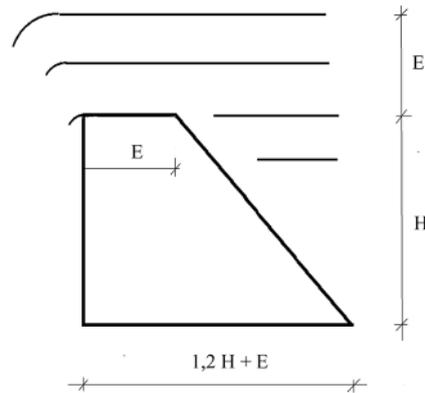


Figura 2.
Norma de dimensionamiento de presas de gravedad

EL NUEVO MODELO DE PRESAS DE ARCOS APOYADOS EN CONTRAFUERTE

En esta situación de los conocimientos Villarreal se plantea buscar un modelo más firme, más económico y reducir el riesgo de arrastre durante los primeros meses tras su construcción. Realmente aparece como un hombre que persigue la innovación.

Desarrolla un nuevo modelo de presas de uno o varios arcos escarzanos sucesivos apoyados en contrafuertes intermedios y en estribos laterales. Tras el arco y aguas arriba coloca un paramento en talud. Es un nuevo modelo que desarrolla basándose en su intuición y conocimientos.

Lo describe detalladamente en su libro, dibuja su planta, da criterios para determinar su dimensiones, expone detalles constructivos, su replanteo y forma de levantarlos. Nos dice que el número de arcos deberá establecerse en función del álveo, con una cuerda del orden de 30 a 40 pies (8,34–11,12 m) con dovelas de pie y medio o de dos pies de lecho, menciona hasta cinco arcos por lo que puede conseguirse una longitud de presa de más de 60 m. Entre ellos se construirán contrafuertes cuya anchura será la cuarta parte de la cuerda del arco. Los factores que determinaran en cada caso concreto la cuerda del arco serán el ajuste al álveo y la posibilidad de asentar los contrafuertes intermedios sobre un buen lecho de roca.

Podemos ver estas presas como un puente de arcos rebajados girado 90° y pilares de espesor igual a $\frac{1}{4}$ de la luz de los arcos.

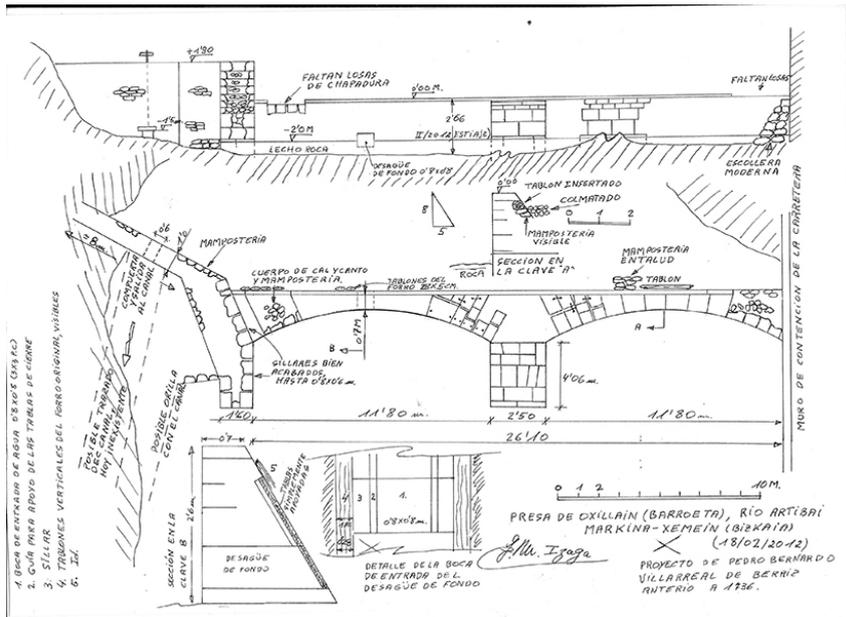


Figura 3. Oxillain

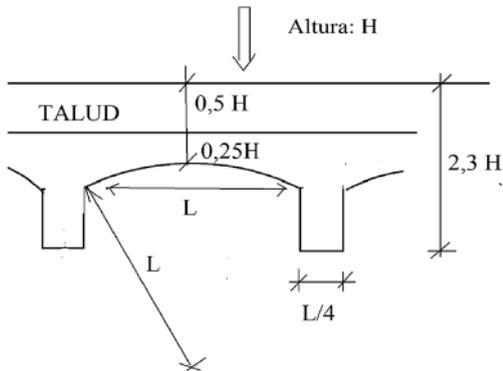


Figura 4. Norma para dimensiones de presas de arcos

Establecida la geometría del frente de aguas abajo determina el fondo del dique en función de la altura necesaria. El de los contrafuertes debe ser el doble de la altura pero para mayor seguridad lo incrementa un 15%. Recomienda que la anchura del arco en la clave sea un cuarto de la altura, y que la base del talud sea la mitad de la altura de la presa.

Así como en el diseño de las presas de gravedad tiene en consideración la altura de la lámina vertiente sobre coronación, este factor no es mencionado en la presa de arcos, aunque soportan bien importantes avenidas.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Villarreal da recomendaciones para la buena ejecución de la obra y detalla las partes más importantes. Para su replanteo se colocarán sobre el lecho del río los salmeres de la primera hilada alineados y a las distancias de las cuerdas. Previamente deben haberse tallado con un ángulo de 150°, siendo este el formado por el eje de la presa y la superficie de apoyo del arco.

Con centro en los vértices tallados y con una vara o cintrel de longitud la de la cuerda se determina sobre el terreno el centro del arco escarzano, en ese punto se clavará una estaca y girando sobre ella el cintrel se marcará dicho arco sobre el lecho, que tendrá por lo tanto un radio igual a la cuerda.

La construcción del arco se comenzará tallando a pico en la roca del lecho del río los asientos de la pri-

mera hilada de dovelas y dando a cada una de ellas el espesor necesario para que las sucesivas hiladas de sillares resulten horizontales. Los sillares deben ser muy bien tallados y escuadrados.

A continuación debe hacerse una hilera de mampostería en lo que será la base del paramento ataluzado, y a medida que se van levantando las hiladas y el talud de mampostería se debe ir macizando el interior con piedra menuda y mortero de cal y polvo de vena haciendo la mezcla con una palada de la primera y dos escasas de la segunda. Prefiere este polvo a la arena. La vena es un óxido férrico con una ley metálica del 60%, era el mineral de gran calidad que utilizaban las ferrerías para la obtención de hierro. Hoy se observa este mineral en el conglomerante de las presas por él construidas.

Las juntas de las dovelas en el trasdós deben ser impermeabilizadas con betún cuidadosamente con objeto de evitar filtraciones de agua que puedan dañar al cuerpo de la presa y arrastrar el mortero de cal antes de su fraguado total, «porque no penetrando el agua por las juntas de las dovelas, el macizo hace cuerpo maravillosamente, ayudando a ello el agua del río... que sirve para fortificarle», nos muestra que comprende el funcionamiento del arco con sus dovelas trabajando a compresión.

El betún debe hacerse con dos partes de cal viva y una de vena calcinada bien mezcladas con aceite y emplearse seguidamente. Recomendamos rematar la coronación con dovelas de mucho fondo, o con losas con el mismo corte.

Los contrafuertes centrales y los estribos deben tener verticales su paramento aguas abajo, y el lecho debe picarse con rebajes en los que introducir la primera hilada de sillares con sus superficies de contacto talladas en diente para evitar deslizamiento. Toda la piedras de la coronación deben unirse con grapas de hierro introducidas sus puntas en orificios y emplomadas.

Cuando en una de las orillas existiera roca Villarreal dice que no hay necesidad de construir estribo y que el extremo del arco se puede apoyar directamente en la peña labrando a pico el asiento de cada hilera de dovelas con la superficie de apoyo alineada al centro del arco.

Las presas de arcos disponen de desagüe de fondo, es una galería de sección cuadrada o rectangular formada por sillares bien trabados entre sí. Una acanaladura asciende por la superficie del talud desde



Figura 5.
Desagüe de fondo de la presa de Oxillain

la boca de entrada hasta la coronación. El cierre se conseguía con tablas cortas colocadas horizontalmente y simplemente apoyadas sobre dos rebajes tallados en los lados de la embocadura, superponiéndose hasta alcanzar la coronación. Entre las tablas y el talud quedaba un espacio de no más de 10 cm por donde el agua podía introducirse y caer a la boca del desagüe.

En la foto se aprecian los rebajes a ambos lados para asiento de las tablas, «...se labraron las piedras de la llave con el escarpe dicho, y con dos dientes, el uno para las llaves y el otro para el hueco por donde ha de ir el agua, cuando se quiere desaguar la presa» (Villarreal [1736] 1973) El paramento en talud permite que las tablas se mantengan simplemente apoyadas. El autor dice que es uno de los motivos para construirlo con escarpe. La apertura se realizaba manualmente retirando la tabla superior y sucesivamente las inferiores a medida que se iba desaguando el embalse y arrastrando los tarquines.

Con la construcción recién hecha el mortero de cal tardaba semanas en fraguar totalmente y una avenida imprevista podía arrastrar la masa y destruir la obra. Para evitarlo el frente aguas arriba, debía ser forrado con tabla en su totalidad y calafateadas sus juntas para impedir la entrada de agua a la fábrica. En la foto vemos a ambos lados de la boca las tablas, colomas, que se colocaron durante su construcción en el primer tercio del siglo XVIII tal como su constructor lo recomienda.

ANÁLISIS DEL MODELO DE PRESAS DE GRAVEDAD TRADICIONALES

En estas presas con el talud aguas arriba a 45° la componente de la presión hidrostática se sumaba al peso propio del macizo y contribuía a su fijación al lecho del río, el valor de esta componente vertical es del orden del 40% del peso propio de la fábrica. Esta disposición le parecía natural y no se planteaba construir el talud hacia aguas abajo para reducir el efecto de la caída del agua y el riesgo de socavación.

Las presas de piedra debían construirse directamente sobre lechos de roca, en caso de no haberlo debían ser de madera incando pilotes. Un lecho de piedra contribuía al anclaje y reducía la posibilidad de deslizamiento y la subpresión.

Para el dimensionarlas toma dos datos de partida: la altura de la presa y un espesor de la lámina vertiente de 6 u 8 pies para situación de avenidas, que para los ríos y modelo de presas en las que él trabaja equivale, con los conocimientos actuales, al de avenida con periodo de retorno de 100 años, Q 100.

Las presas diseñadas con sus criterios son muy seguras. Sin tener en cuenta el criterio de avenida la resultante de las fuerzas que actúan pasa por el tercio central de la base cerca del límite hacia aguas abajo. Y si se diseñan incluyéndolo aumenta la presión hidrostática pero también la masa de la fábrica, y la resultante se mantiene en ese tercio central. Para la avenida que propone, 6 a 8 pies, la relación entre los valores de las acciones resistentes y las de deslizamiento es del orden de 2 y a vuelco 3,30. Para un caudal Q500, las presas así diseñadas están en el límite de ser arrastradas.

El criterio parece acertado, da lugar a presas seguras y no excesivamente sobredimensionadas. Villarreal no nos presenta ningún cálculo ni razonamiento, nos dice que es así como se construye desde hace tiempo sin que sepa desde cuándo ni de dónde surgen esos criterios. ¿Es la experiencia acumulada tras muchos años de construcción? Es Villarreal quien por primera vez da forma numérica a esa experiencia y la publica para que sirva a otros constructores.

ANÁLISIS DEL MODELO DE PRESAS DE ARCOS Y CONTRAFUERTE

No procede analizar desde los conocimientos actuales el nuevo modelo de presas del siglo XVIII dise-

ñadas con criterios sencillos. Una primera aproximación a la mecánica de la estructura nos lleva a pensar que los arcos reciben el empuje horizontal de la presión hidrostática actuando con sus dovelas sometidas a esfuerzos de compresión, que los transmiten a los contrafuertes laterales quienes mantienen su posición por su peso y anclaje al lecho rocoso.

Aún teniendo en cuenta la dificultad de determinar los esfuerzos en una estructura de fábrica con la geometría de estas presas, un análisis aproximado permite hacer algunas valoraciones.

Para ello se ha elegido la presa prototipo que Villarreal describe en su libro cuyas dimensiones son similares a la de Oxillain. Para una altura de avenida de 2,20 m, Q100, cada uno de los arcos junto con el material que dispone tras de sí incluido el talud, soporta los empujes del agua por su propio peso, actúa como una presa de gravedad, no transmite esfuerzos a los contrafuertes intermedios pero está cerca del límite de esta situación.

Para incrementos del nivel de agua el arco comienza a transmitir empujes a los contrafuertes y a los estribos laterales y actúa como tal arco con las dovelas sometidas a esfuerzos de compresión, con una componente perpendicular al frente de la presa.

Para un caudal con lámina vertiente de 3,00 m, equivalente a Q500, la presa en su conjunto está cerca de ser desestabilizada por deslizamiento, menos por vuelco. La altura de la avenida es tal que la presa queda prácticamente sumergida. Aún así mantiene una relación entre los valores de las acciones resistentes y las de deslizamiento que varía de 1,20 si no tomamos en consideración el peso de la lámina de agua sobre la coronación, a 1,60 si lo hacemos. La realidad es que todas las presas construidas por Villarreal han soportado bien las importantes avenidas ocurridas en trescientos años, especialmente las conocidas de 1983 y 1953.

Las presas de Villarreal no son únicamente arcos que actúan mecánicamente como tales. En su parte posterior poseen un macizo en talud con una contribución importante a su estabilidad, por su masa y por la presión hidrostática sobre el plano inclinado que ayuda a fijarla al lecho.

El interés de las presas de uno o varios arcos del modelo que tratamos, se incrementa cuando los arcos se pueden apoyar directamente por sus extremos en orillas rocosas que les permitan soportar los esfuerzos que les son transmitidos, de forma tal que consti-

tuyen unos estribos naturales preexistentes por lo que no es necesario construirlos, con la consiguiente economía.

Cuando esta situación natural no se da es preciso construir estribos laterales que deben tener suficiente peso para soportar por gravedad el empuje de los arcos laterales, y es necesario un volumen de obra de fábrica total entre arcos, contrafuertes centrales y estribos similar al de las tradicionales presas rectas de gravedad. En esta situación las presas de arcos y contrafuertes no presentan especiales ventajas económicas sobre las de gravedad.

Villarreal diseña y construye sus presas para los ríos de la vertiente cantábrica en los que frecuentemente al menos una de las orillas bordea una ladera rocosa lo que le permitió construir sobre ellas estribos ligeros o apoyar directamente el extremo de uno de los arcos. «Quando por alguno de los costados hubiere peña...no ay sino labrarla a pico en cada hilera» De esta forma reduce el volumen y el coste de la obra.

Dice que ha construido cinco presas, todas ellas se conservan. La primera, Errotabarri de Gizaburuaga apoya sus tres arcos directamente sobre rocas intermedias que sobresalen del lecho y actúan como contrafuertes, también el arco izquierdo se apoya sobre el talud rocoso de la orilla. En las cuatro restantes por él diseñadas al menos uno de los arcos apoya sobre orilla rocosa sin necesidad de estribo.

Si comparamos el volumen de la obra de fábrica entre la presa de gravedad tradicional y la de arcos, contrafuertes y estribos, para una misma ubicación esta última precisa un 20% menos. Se debe a que ha adoptado una norma de dimensionamiento que origina fábricas menos sobredimensionadas que las de gravedad, aproximando sus medidas a las necesarias y económicas. Como consecuencia el índice entre los valores de las acciones resistentes y las de deslizamiento se reduce de 2,00 en las rectas de gravedad, a 1,45 para las de arcos, aunque sin hacer peligrar la estabilidad de la obra. La reducción del volumen pasa al 30% si no es necesaria la construcción de uno de los estribos laterales al poder apoyarse directamente el extremo del arco en la roca de la orilla. En esta posibilidad está unas de las grandes ventajas de las nuevas presas de arcos. Villarreal se aproxima con su nuevo modelo a valores más cercanos a los óptimos.

«Qualquiera que quisiere hacer el tanteo del coste de presas antiguas y de este genero de presas hallara que las de arco tienen mucho menos coste, por ser po-

cos los macizos de mampostería, y escusarse madera y tabla, y la firmeza, quien entendiere de obras, conocerá es mayor sin comparación» (Villarreal [1736] 1739)

Nos plantea un nuevo modelo, no sabemos que conocimientos aplicó, menciona a Pascal, Mariotte Ozanan y Tosca en sus tomos 3 «Estática» y 4 «Machinaria» y disponía de una biblioteca con cerca de mil libros y documentos entre ellos de geometría, construcción, navegación y arquitectura naval. Da criterios de diseño basados en la geometría y proporciones, no menciona fuerzas. Sabe que la altura del agua es el dato que condiciona toda la fábrica.

De su libro no se deduce el alcance de su formación autodidacta, pero nos dice: «He procurado explicarme con los términos más inteligibles, y comunes, evitando theoremas, que prueben lo que se enseña, porque solo servirían para los que saben Geometría y Maquinaria...» Además de empresario era un ingeniero con conocimientos de matemáticas y construcción que pretende dar solución a problemas concretos, muy práctico, con buen sentido e interés por la mejora. La experiencia adquirida en la construcción de su primera presa, la de Errotabarri en Gizaburuaga puede ser el inicio de la idea original de las presas de arcos con contrafuertes.

PRESAS CONSTRUIDAS POR VILLARREAL DE BERRIZ

Son las presas mencionadas en su libro, anteriores a 1736. Todas de arcos escarzanos, transversales a la corriente y vertiendo por coronación. De buena sillería caliza en el paramento aguas abajo y en talud y de mampostería el de arriba, con relleno entre ambos de mortero de cal y canto. Todas en Bizkaia. Las de Errotabarri, Errotazar y Oxillain tienen el carácter legal de Monumento con nivel Especial.

Errotabarri

Está situada en Guizaburuaga, en el río Lea, a unos 300 metros aguas abajo de su ferrería de Bengolea, deriva agua a un molino. La forman por tres arcos escarzanos de cuerdas desiguales y no alineados apoyados en piedras que asoman del lecho rocoso del río, no dispone de contrafuertes, esta función la efectúan las mismas rocas que quedan embebidas en las uniones de los arcos.



Figura 6.
Errotabarri

Nos lo describe con claridad: «y yo edificué en Guizaburuaga otra en la misma forma con tres arcos de desiguales cuerdas, por aprovechar unos peñascos levantados; y no llegando a la altura, que necesitó la presa, sirvieron de estribos unas piedras grandes de una vara de alto encarceladas en la peña haciendo el juego de dobla y salmer por ambos lados» La presa actualmente en buen estado responde exactamente a esta descripción, sobre las rocas destacan las piedras labradas de una vara con función de salmer para arcos consecutivos.

Tiene de altura sobre el lecho entre 1,50 y 1,90 metros, las cuerdas son 7,80 m, 3,90 m y 5,00 m. con una luz total de 15,70 m, la anchura de los arcos en coronación es de 1,10 m. El arco extremo derecho se apoya en estribo, y el izquierdo en un estribo y roca de donde arranca el canal al molino. Sobre la orilla derecha existe un muro de encauzamiento. Dispone de desagüe de fondo en el arco derecho.

Esta descripción ha sido identificada erróneamente con la presa de Arancibia situada 4 km aguas abajo. Errotabarri es posiblemente la primera construcción de Villarreal. Elige una ubicación en la que existen varias rocas que emergen, decide aprovecharlas y levanta tres arcos de una a otra en posición y longitud condicionada por las piedras. El ancho de los arcos es todavía grueso, el doble de la que correspondería según el criterio que él da en su libro. El resultado es una presa de sucesivos arcos, y origen de otras que posteriormente decide desarrollar incorporando contrafuertes de obra, llegando al modelo que analizamos.

Oxillain

Está situada en Markina, en el río Artibai. Desvía agua a una ferrería y molino. Consta de dos arcos escarznos iguales de 11,80 m. de cuerda, un contrafuerte intermedio de 2,50 m. y un estribo en la orilla derecha

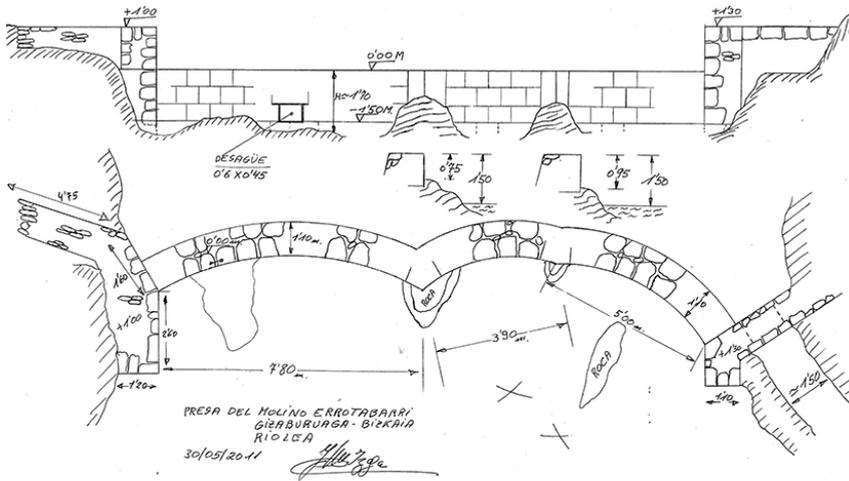


Figura 7.
Errotabarri

de 1,60 m. El arco izquierdo apoya directamente sobre la roca caliza. Está construido sobre roca con una altura de 2,66 m en el centro. Estas medidas son las que se obtienen por las normas publicadas por Villarreal.

La coronación está recubierta de losas de medio pie de espesor y 0,7 m de fondo unidas por grapas de hierro de unos 35 cm emplomadas en los orificios, aunque faltan losas en los extremos derecho e izquierdo.

En 2014 fue abierto el desagüe y vaciado el vaso lo que permitió ver detalles constructivos como las tablas del forro original con el que se le protegió durante su construcción. La presa destaca por su esbeltez, y cuidado diseño.

Errotazar o Lariz Aurre

Está situada en Gizaburuaga, río Lea. Se encuentra inundada en el remanso originado por la presa de Lariz. Se trata de la presa que describe como modelo y que representa dibujada en su libro con un molino a pie de ella. Del molino quedan la base y los muros, y la presa se hace visible en parte. La de La-

riz, visible, de dos arcos no fue construida por Villarreal, aunque así ha sido identificada erróneamente por otros autores.

Está formada por dos arcos rebajados aparentemente iguales de cuerda 8,30 m, 30 pies, igual al radio y un contrafuerte central de 2,5 m de frente. El arco derecho se encuentra en parte recubierto por acarreos y se apoya directamente sobre peña sin necesidad de estribo. El espesor del arco en la clave es de 0,8m. No es posible medir su altura.

Ansotegui

Está ubicada en Etxebarria. Deriva agua a la ferrería del mismo nombre. Es de un solo arco de 11,90 m, 43 pies, la mayor luz de las construidas por Villarreal. Su altura es de 3,40 m y la anchura en la clave de 0,80 m. En el extremo derecho dispone de un estribo de 3,30 m de grosor que se prolonga en muro de encauzamiento. El extremo izquierdo se apoya en un estribo y roca, con arranque del canal. Se conserva en muy buen estado.

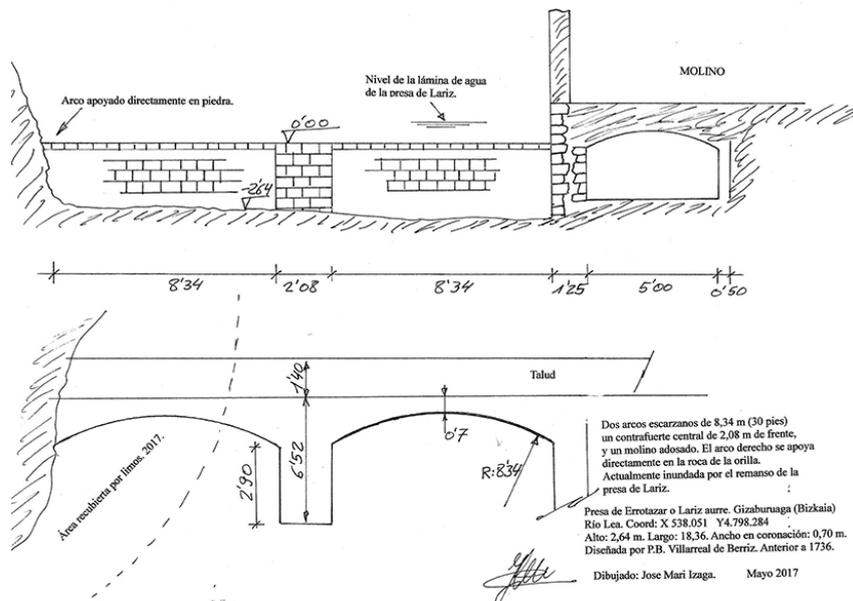


Figura 8.
Errotazar



Figura 9.
Ansotegui

Barroeta

Está situada en Bedia, río Ibaizabal. Derivaba a ferre-
ría y hoy central eléctrica. Consta de cinco arcos, tres
de 9,20 m de luz y dos de 7,50, con contrafuertes de
2,50 m, en total 52,60 m. y una altura en su parte cen-
tral sobre el lecho de piedra de 3,80, el espesor del

arco en la clave es de 0,8 m. ajustándose a las propor-
ciones propuestas por su constructor. Muy posterior-
mente fue realizada más de 0,5 m con un muro recto y
unos pequeños contrafuertes. El paramento aguas abajo
es vertical, de buena sillería y el de aguas arriba en
talud y de mampostería. En su extremo derecho dispo-
ne de un muro de encauzamiento y de formación del
canal con dos compuertas de entrada. El extremo del
arco izquierdo se apoya directamente sobre la roca de
talud de la orilla sin necesidad de estribo.

**OTRAS PRESAS DE ARCOS Y CONTRAFUERTE
INTERMEDIOS EJECUTADAS POR OTROS CONSTRUCTORES**

El libro de Villarreal se difundió entre los propieta-
rios y otros constructores siguieron su modelo y sus
directrices, cincuenta años después de su publicación
seguía consultándose aunque algunos no debieron
confiar totalmente en su esbeltez y realizaron presas
con espesores del arco superiores a los recomenda-
dos, algunos hasta el doble.

Han sido localizadas las presas de arcos que se re-
lacionan seguidamente:

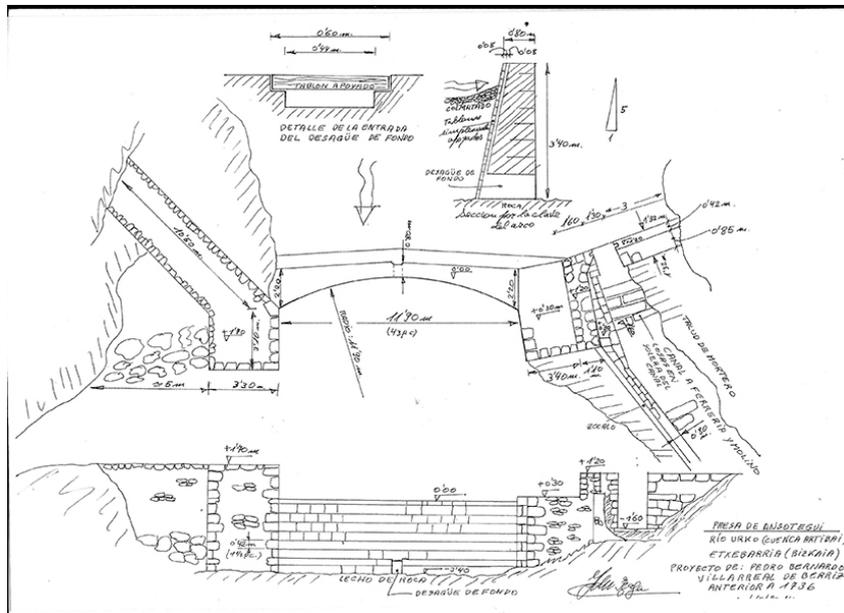


Figura 10.
Ansotegui

| Nombre | Ubicación | Coord. UTM ETRS89/ H30 | Río | Arcos | Cuerdas (m) | Altura m | Ancho arco |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|-------------|---------------|
| Errotabarri | Gizaburuaga. Bizk | X 537.395 Y 4.797.850. | Lea | 3 | 7,80/3,90/5,00 | 1,90 m | 1,10 |
| Errotazar | Gizaburuaga. Bizk | X 538.051 Y 4.798.284 | Lea | 2 | 8,30 m | ? | 0,95 |
| Lariz | Gizaburuaga. Bizk | X 538.131 Y 4.798.421 | Lea | 2 | 12,90 | 3,10 | 1,50 |
| Arancibia | Amoroto. Bizk | X 539.491 Y 4.798.544 | Lea | 3 | 11,7/11,1/6,81 | 1,90 | 1,20 |
| Angiz | Aulesti. Bizk | X 536.686 Y 4.794.473 | Lea | 2 | 11,40/11,50 | 1,70 | 1,10 |
| Amulua | Aulesti. Bizk | X 535.803 Y 4.794.066 | Lea | 1/ rect | 13,81 | 1,33 | 1,10 |
| Ibeta | Aulesti. Bizk | X 535.739 Y 4.793.865 | Lea | 3 | 6,95/6,10/6,80 | 2,50 | 1,24 |
| Bolintxu | Aulesti. Bizk | X 532.730 Y 4.792.738 | Lea | 1/rect | 5,10 | 1,60 | 1,10 |
| Agorria | Munitibar. Bizk | X 532.730 Y 4.788.732 | Lea | 1 med punto | 12,10 | 2,90 | 0,80 |
| Ansotegi | Etxebarria. Bizk | X 541.591 Y 4.789.431 | Urko | 1 | 11,90 | 3,40 | 0,80 |
| Oxilogin | Markina. Bizk | X 540.854 Y 4.791.478 | Artibai | 2 | 11,80 | 2,60 | 0,70 |
| Bolu | Berriatua. Bizk | X 543.026 Y 4.788.723 | Artibai | 2 | 8,70 | 2,80 | 0,70 |
| Urtubiaga | Ea. Bizkaia | X 533.842 Y 4.802.294 | Ea | 1 | 10,10 | ? | 1,20 |
| Añabarri 1784 | Aramaio. Araba | X 536.469 Y 4.767.440 | Arama-io | 2 | 6,15 | 4,20 | 0,70 |
| Gabiola | Mendaro. Gipuzkoa | X 550.237 Y 4.788.770 | Aran- erreka Lastur | 2 | 8,10 | 5,50 | 0,70 |
| Goikola | Deba. Gipuzkoa | X 554.542 Y 4.788.570 | Sasta-rain | 1 | 6,50 | 1,90 | 0,65 |
| Lili. 1768 | Zestoa. Gipuzkoa | X 559.461 Y 4.787.316 | Altzola-ras | 1 | 9,70 | 8,40 | 2,20 |
| Bekola | Aia. Gipuzkoa | X 563.907 Y 4.788.611 | Leitza- ran | 1 | 18,60 | 4,50 | 2,30 |
| Ollokiegi 1760 | Elduaen. Gipuzkoa | X 584.585 Y 4.780.340 | Ibaiza- bal | 2 | 13,10 | 4,10 | ? |
| Bolintxu | Berriz. Bizkaia | X 533.997 Y 4.779.190 | Ibaiza- bal Miera | 1 | .... | .... | .... |
| Arandia | Iurreta. Bizkaia | X 528.605 Y 4.779.190 | Clarín | 3 | 9,45 | .... | 1,10 |
| Liérganes | Liérganes. Cantabria | X 440.051 Y 4.479.573 | Indusi | 2 | 13,40 | 4,50 | 1,50 |
| Riocorto. | Voto. Cantabria | X 458.968 Y 4.800.820 | Ibaiza- bal | 3 | 8,90 | 1,90 | 0,50 |
| Bengoetxe | Dima. Bizkaia | X 520.821 Y 4.775.047 | Altube | 1 | .... | .... | .... |
| Barroeta | Bedia. Bizkaia | X 516.686 Y 4.783.812 | Armauri | 5 | 9,2/9,2/9,2 7,5/7,5 | 3,80 | 0,70 |
| Olabarri | Orozko. Bizkaia | X 506.736 Y 4.771.455 | Armauri | 1 | 11,90 | .... | 1,10 |
| Usuleze | Orozko. Bizkaia | X 508.837 Y 4.772.110 | Aretxa-balgana | 1 | .... | .... | .... |
| Lekubarri | Orozko. Bizkaia | X 509.321 Y 4.771.843 | | 1 | .... | .... | .... |
| Ugalde | Larrabetzu. Bizkaia | X 518.217 Y 4.791.189 | | 1 | .... | .... | .... |

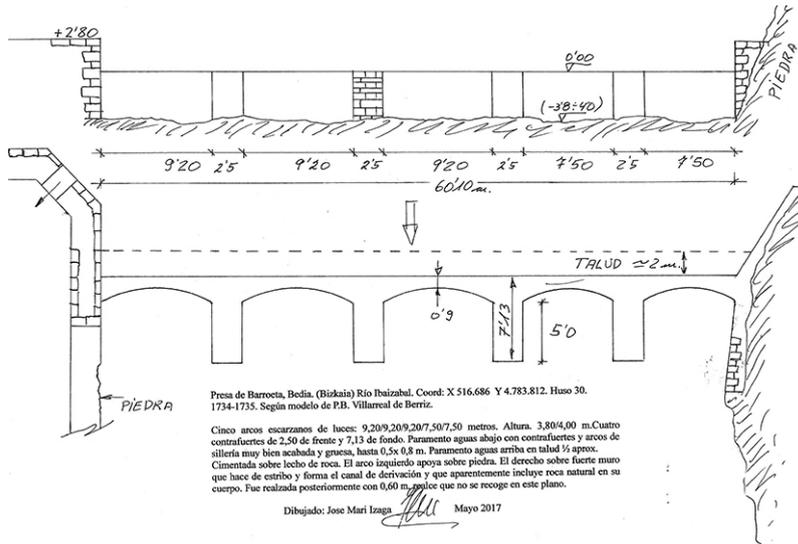


Figura 11. Barroeta

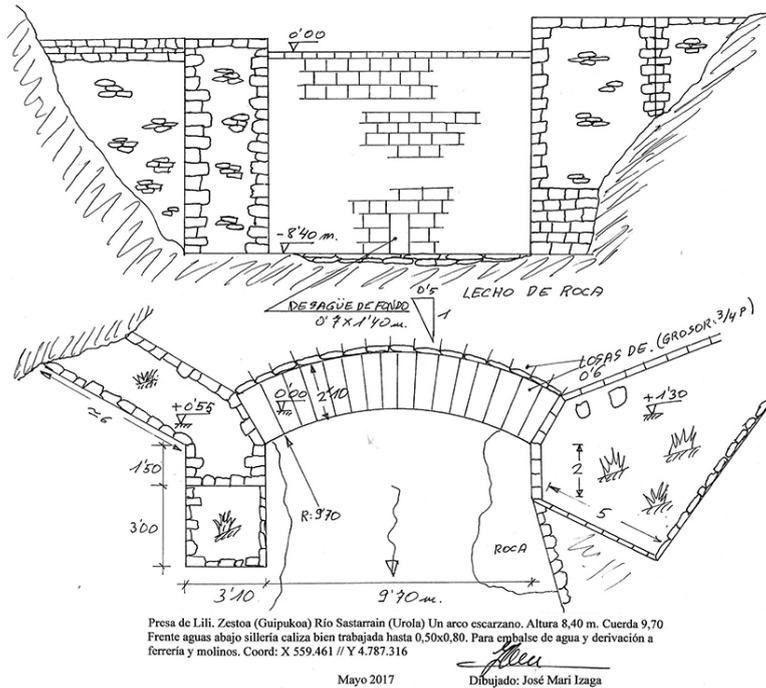


Figura 12. Lili

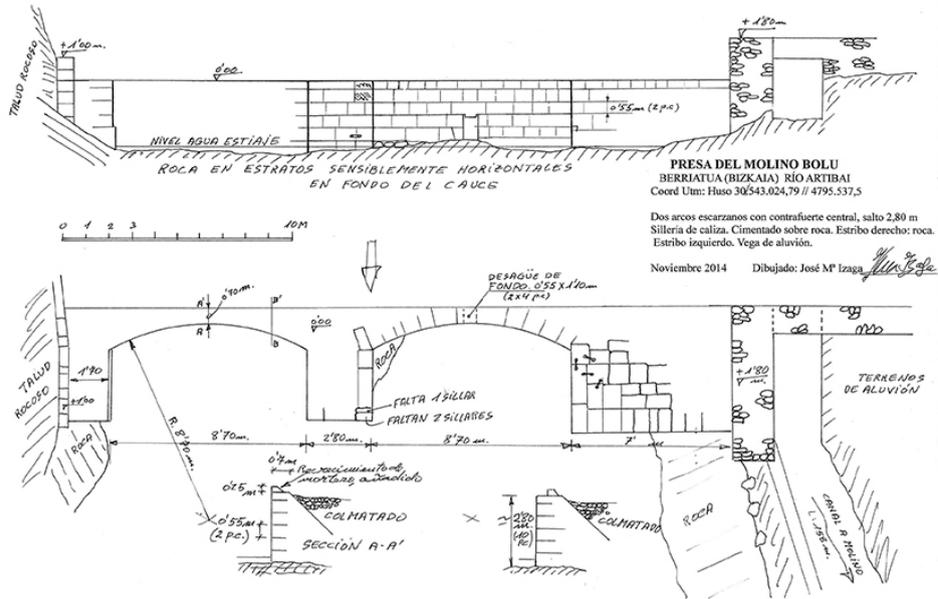


Figura 13.
 Bolu

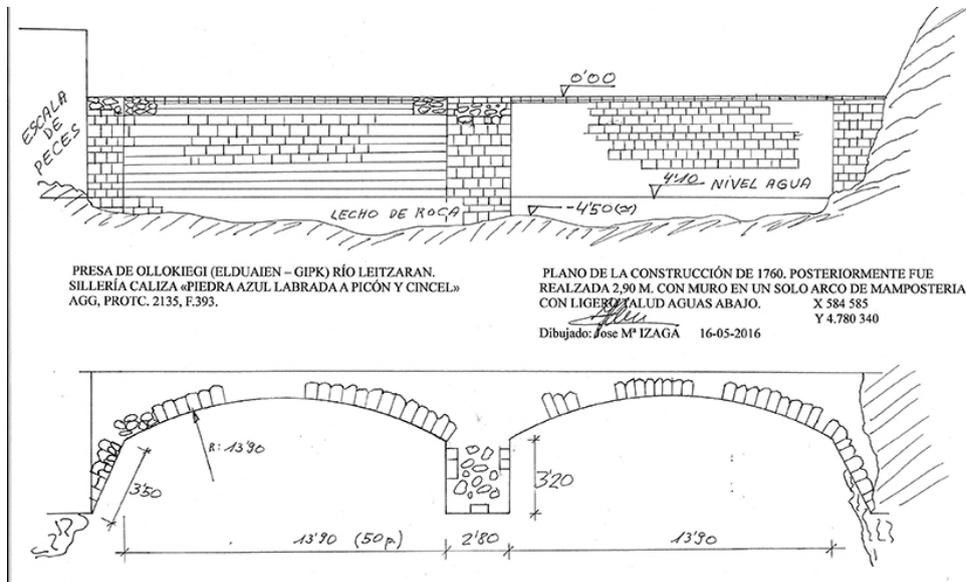


Figura 14.
 Ollokiegi, prevista su demolición parcial por la Diputación de Gipuzkoa

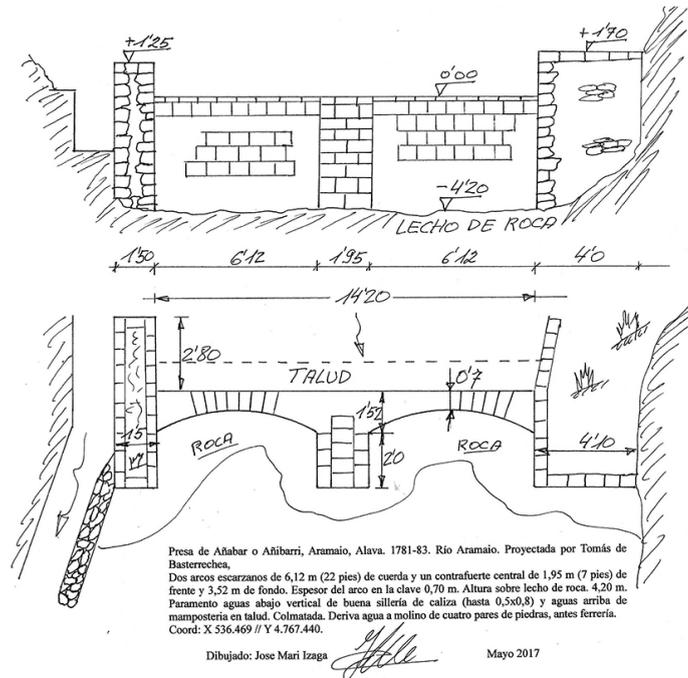


Figura 15.
Añibarri

BIBLIOGRAFÍA

- Apraiz, A. Izaga, José M. Martínez, A. Protección de las Cuencas Fluviales del País Vasco. 8º Congreso de Molinología. Pontevedra: Diputación de Pontevedra.
- Bueno Hernández, F. ed. 2002. *I Congreso Nacional de Historia de las presas*. Actas. Badajoz: Diputación de Badajoz.
- Casanovas, T. ed. 1990. *Presas de Bizkaia*, Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia.
- Diez-Cascón Sagrado, J y Bueno Hernández, F. 2001. *Ingeniería de Presas. Presas de Fábrica*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Fernandez Ordoñez, José. 1984. *Catálogo de noventa Presas y Azudes Españoles anteriores a 1900*. Madrid: CE-HOPU.
- García-Diego, José A. 1971. Pedro Bernardo Villarreal de Berriz y sus presas de contrafuertes. *Revista de Obras Públicas 3076*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- García-Diego, José A. 1991. Villarreal de Berriz: desde una exposición a la conservación de monumentos de interés tecnológico. *Revista de Obras Públicas 3303*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Izaga Reiner, José María. 2011. El Sendero del Río Lea. Naturaleza e Ingenios. *Euskonews 526*. San Sebastián: Euzko Ikaskuntza.
- Nordon, Marcel. 1985. *L'Hidraulique d'un gentilhomme Basque*. Madrid: Biblioteca de la Fundación Juanelo Turriano.
- Ruiz de Azua, E; Llombart Palet, J.M.; Valle de Lersundi, J. 1990. *Pedro Bernardo Villarreal de Berriz. La aportación vasca a al ingeniería del XVIII*. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia.
- Ruiz de Azua, E. 1990. *Pedro Bernardo Villarreal de Berriz. Semblanza de un vasco precursor*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.
- Villarreal de Berriz, Pedro B. [1736] 1973. *Máquinas Hidráulicas de Molinos y Herrerías y Gobierno de los Árboles y Montes de Vizcaya*. San Sebastián: Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones.
- Schnitter, Nicholas J. 2000. *Historia de la presas*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Smith, Norman A.F. 1992. *The Heritage of Spanish Dams*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

