

Ingeniería hidráulica en Aragón durante el siglo XVI

CARLOS BLÁZQUEZ HERRERO (*)

RESUMEN Este título corresponde al trabajo realizado para el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU), que ha sido galardonado por el Gobierno de Aragón con el premio "Ramón de Pignatelli", otorgado anualmente al mejor trabajo acerca de la historia y aprovechamiento del agua en la comunidad autónoma.

El siglo XVI se mostraba especialmente atractivo para realizar un amplio trabajo de investigación al respecto, puesto que era muy poco lo que se sabía, más bien nada que no fuese a través de los conocidos "Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas" y dos estudios que la fundación Juanelo Turriano nos encargó al autor de estas líneas y a Severino Pallaruelo, coautor del citado trabajo. La envergadura de lo que se apuntaba a través de lo hallado, motivó la presentación de un proyecto más amplio, que fue finalmente el aprobado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU).

HYDRO-ENGINEERING IN ARAGON DURING THE 16th CENTURY

ABSTRACT This title corresponds to the work carried out for the Public Works Study and Experimentation Centre (CEHOPU), and for which the Regional Government of Aragón has awarded the "Ramón de Pignatelli" prize, awarded annually to the best work relating to history and the exploitation of water in this autonomous region.

The 16th century proved especially attractive for the realization of a thorough investigation of this subject, given that very little was known, or rather nothing at all, apart from what was known by way of the famous "Twenty-one Books of Engineers and Machines" and two studies which the Juanelo Turriano Foundation commissioned to myself and Severino Pallaruelo, co-author of the above work. The importance of what was revealed from these earlier works prompted the presentation of a more widespread project, which was finally the one approved by the Public Works Study and Experimentation Centre (CEHOPU).

Palabras clave: Ingeniería hidráulica; Obras hidráulicas; Aragón; Siglo XVI; Renacimiento.

LAS OBRAS HIDRÁULICAS EN EL RENACIMIENTO ARAGONÉS

Las causas que impulsaron la fiebre constructora que caracteriza al renacimiento aragonés, no están aún totalmente definidas, puesto que únicamente fuese producto de una situación económica especialmente propicia, pero el resultado es que todos los estamentos sociales, en función de su capacidad económica, se embarcaron en proyectos de mayor o menor envergadura. Concejos, Diputación del Reino, Iglesia, aristocracia y pequeña burguesía se ocuparon de levantar puentes y azudes, abrir acequias tan importantes como la Imperial, Tauste y Cívica; los concejos llevaban el agua hasta las poblaciones y la hacían surgir mediante fuentes más o menos ostentosas, construían molinos municipales para abaratar el pan e introducían en ellos la novedosa tecnología de regullo. La burguesía y aristocracia construía "pesqueras" para disfrutar observando los peces y "burladores" para mojar a sus invitados. En definitiva, el dinero estaba en constante movimiento.

LOS MAESTROS

La mayor parte de los artífices que llegaron a maestros de obras, ocuparon un lugar de relativa importancia en la es-

cala económico-social de la época; algunos incluso tuvieron un lugar destacado en el Aragón renacentista. Otros no fueron tan afortunados e incluso tuvieron que soportar la cárcel por no hacer frente a una fianza. Los hubo que murieron sin apenas recursos o en la ruina, como Jaime Fanegas, una de las personas con mejor historial y reputación profesional, que, tras ganar mucho dinero en algunas obras, lo arriesgaba en otras, con la mala fortuna de que sus dos últimos negocios (los puentes sobre el Ebro y Gállego) le dejaron prácticamente en la indigencia.

Sin duda, el dato hallado en el transcurso de la investigación que puede resultar más significativo, a la vez que controvertido, puesto que pone en entredicho toda una tradición investigadora, reside en el hecho de que los maestros que realizaron las obras hidráulicas de mayor envergadura, se habían formado en trabajos de arquitectura o artísticos, que abandonaban una vez eran considerados capaces de realizar obras hidráulicas, mucho mejor pagadas y de mayor prestigio que cualquiera de los trabajos de otra índole, que en muchos casos son los únicos porque son conocidos.

Los ejemplos los tenemos a docenas: Aracil, Landerrí, Monter, Zamista y un largo etcétera, que podemos ampliar a casi todos los maestros, lo demuestran. Esta madurez profesional, en los pocos casos en que se había detectado, se había achacado a la "vida bohemia" de los artífices y su necesidad de ejecutar trabajos de inferior categoría para subsistir.

(*) Investigador. Zaragoza.



La fuente de San Francisco, en Barbastro, es obra de Juan de Aracil en 1553.

Los grandes maestros fueron personajes muy solicitados en su época, puesto que las grandes obras, en que se invertían cantidades ingentes de dinero, únicamente estaban al alcance de unos pocos. Estos, por otra parte, no sólo tenían que ser grandes profesionales, sino que además debían parecerlo, puesto era un requisito imprescindible en aquel tiempo depositar una fianza por el mismo valor de la obra. Por ello tan sólo los más afamados constructores podían gozar de la confianza de unas personas (generalmente artesanos y comerciantes) que arriesgaban su patrimonio a cambio de algo que aún no hemos podido saber pero presumimos que importante, puesto que, en caso de fracasar la obra por deficiente ejecución, si no se concluía o si la impericia del maestro provocaba su ruina prematura, sería reclamada al maestro la cantidad percibida más una indemnización. Si éste no disponía de bienes, que era el caso más frecuente, puesto que siempre los ocultaban en forma de ventas falsas y otros artificios legales, se acudiría a los fiadores, quienes tendrían que aportar la cantidad avalada. En caso de no disponer de ella, eran enviados a la cárcel hasta que, mediante donativos y limosnas, era saldada la deuda.

En este trabajo hemos localizado cerca de dos centenares de artífices que realizaron obras en el ámbito de las construcciones hidráulicas, desde pequeñas fuentes ornamentales a grandes puentes, azudes o molinos.

LAS OBRAS

La adjudicación de las obras se hacía por convocatoria pública, en la que cada maestro presentaba su proyecto, y una comisión de expertos se encargaba de valorar y adjudicar en función de la experiencia y calidad del proyecto presentado. También se utilizaban las cartas de referencias.

La organización de las obras sorprende por su semejanza con las actuales. Existía un maestro de obras que era el máximo responsable, cargo que algunas veces también recaía en el contratista que se ocupaba de su ejecución. Además era el responsable de contratar los diferentes suministros con los proveedores (cal, yeso, hierros, etc) y pactar con ellos las cantidades y los plazos de entrega. Asimismo se ocupaba de la contratación de los especialistas en cada trabajo (subcontratistas) como eran los carpinteros para las cimbras, labradores que cavaban las cimientos y desviaban los ríos, canteros que suministraban sillares, etc.

Los pagos a los proveedores se realizaban según lo pactado en las capitulaciones previas; generalmente se les adelantaba un porcentaje variable del contrato (entre el quince y el cincuenta por ciento). Por lo general, a los subcontratistas y maestros se les abonaban sus trabajos mediante certificaciones, excepto que se hubiese pactado lo contrario y los pagos fuesen por períodos de tiempo.

Por lo general todas las obras y muy especialmente las promovidas por la administración, contaban con unos libros de obra en los que se hacía constar minuciosamente todos los trabajos realizados, junto con el personal colaborador día a día.

LOS PUENTES

Los avances en las técnicas de edificación respecto a los siglos anteriores, junto con una situación económica especialmente brillante, motivó la construcción de numerosos puentes, muchos de los cuales, al contrario de como se había hecho hasta entonces, no se realizaron en los lugares que la anchura del río o características del terreno eran propicias, sino que, además de tener en cuenta lo anterior, se prestó especial atención a otras circunstancias como la seguridad y comodidad de paso o la proximidad a poblaciones y caminos principales. Posiblemente ésta sea una de las razones por las que un gran número de ellos no haya sobrevivido al paso del tiempo y especialmente a las grandes avenidas, puesto que la buena marcha de la economía hizo que se arriesgara mucho más en este tipo de obras.

La construcción de un puente (al igual que cualquier obra de cierta envergadura) no fue ni mucho menos un trabajo, individual producto de la mayor o menor genialidad de su maestro, sino una obra colectiva en la que participaron diferentes gremios y en la que cada uno tenía su responsabilidad. Es por lo tanto una imagen muy alejada de lo que puede parecer observando únicamente las capitulaciones o contratos de la época, únicos documentos que suelen publicarse y a través de cuya lectura parece que nos encontramos ante un pintor o escultor que realiza su obra en solitario.

Un detalle importante que hemos advertido, es que a pesar de ser varios los maestros cualificados para construir puentes de piedra de nueva planta (al menos una decena), para reparar los dañados el asunto se complicaba bastante. Entre las personas con probada capacitación para estas tareas, sobresale (mejor dicho era, al parecer, el único capacitado para ello) Domingo Bachiller, maestro gascón que trabajó en las reconstrucciones de los puentes sobre el Gállego y Ebro en Zaragoza; a los que incluso hubo de ir a buscar a Francia y entablar arduas negociaciones, puesto que ni en



Todos los puentes construidos en la época del estudio poseían los cuchillos o tajamares en ángulo obtuso o en redondo, decían al respecto los "Ventilón libros...". "...en ninguna manera se hagan acúlos porque se rompen con las cosas que traían las rias con las crecidas...". En el siglo XVI no se tuvo en cuenta el reformar el puente de Piedra de Zaragoza, como podemos ver en la imagen.

Aragón ni en Castilla encontró especialistas el concejo zaragozano.

Vemos, por tanto, que la construcción de puentes estaba reservada a unos pocos maestros y la reparación a muchos menos, razón por la que estos maestros cobraban muy alto precio por su trabajo; no sólo debido a la superior cualificación profesional que se les suponía, sino también por que el riesgo que asumían era mucho mayor, puesto que un error en la ejecución de la obra significaba la ruina económica y/o un largo período en la cárcel.

La cimentación de los puentes, cuando no había roca viva en que sustentarlos, era el principal reto a que se enfrentaban los constructores. Las técnicas para cimentar se basaban en los mismos principios, sobre los que se realizaban variantes, como veremos a continuación.

En un puente sobre el Queiles en Tarazona se pacta con el maestro que: "si no se hallare cimiento o penya o por salir mucha agua, es obligado a hechar y heche sus culebras de pino o faya o roble verde bien enclavadas y enpalmasadas sobre la hechura y manera del pilar y entre las dichas culebras heche sarmientos y sobre los sarmientos su lechada de ripio menudo con su cal buena encima de los sarmientos y dende allí arriba principiá el dicho cuchillo de la manera y traça susodicha. Y aquel hazer con su buena cal y las piedras de agua abaxo labradas a pico y las del agua arriba a escoba así et segun esta en las otras".

En el puente sobre el Huerva en Zaragoza se haría una zampea de: "buena fusta, poniendo los fustes de a tres pies y la trabiezas asimesmo bien juntadas a media muesca⁽¹⁾, con sus estacas de dos a dos palmas y hinchir los vazios de cal y de piedra y fundar sobre ello el dicho edificio...". Los pilares debían subir "con muy buenas ligazones hasta donde se ha de comenzar la buelta del arco" que se haría subiendo los "senos y los pilares" a medida que cerrasen los arcos "porque pueda fraguar y se haga todo un cuerpo".

Cuando se construyó el gran puente sobre el Gállego en las inmediaciones de Zaragoza, todas las partes eran cons-

cientes de la dificultad que entrañaba, por ello se prestó especial atención a la cimentación en un lecho de grava, que se haría excavando hasta hallar buen firme, en una profundidad de hasta unos dos metros y medio; en caso de no encontrarlo, debían hacer un zampeado en la excavación clavando estacas a una vara de separación (770 mm) "...y así mesmo otras trabajando las primeras teniendo agujeros que del un agujero al otro aya un pie y poniendo en ellos buenas estacas de gorgas o de pino, entrando todo lo que les diere lugar la disposicion de la tierra".

Las reparaciones que tuvieron lugar cuando la riada destruyó el puente también son interesantes, puesto que para reforzar la dañada cimentación, resolvieron hacer un zampeado entre pilar y pilar, igual al anterior. En el caso de los pilares, la reparación era más complicada. En primer lugar debían nivelar la excavación alrededor del pilar, que tenía 8 palmas de profundidad (1,5 metros). A continuación tenían que construir un enrejado de madera o tablestaca relleno de arcilla o cualquier otro material que impidiese la entrada de agua y más tarde hacer una caja alrededor del cuchillo otros cuatro palmas más baja.

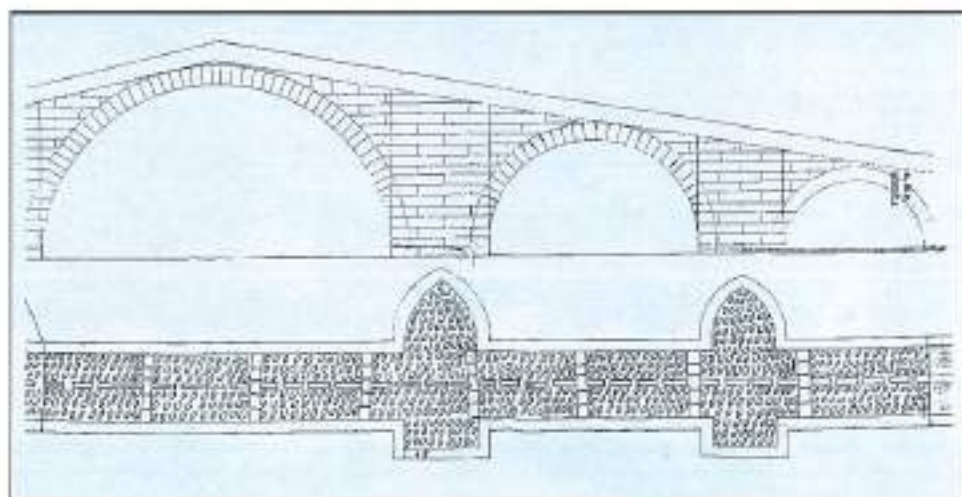
La siguiente operación era drenar el agua de la excavación y mantenerla en seco hasta que quitasen la tierra, clavarán las estacas (llamadas "pelotines") y estuviera asentada la zampea, tras lo cual, una vez colocadas dos hiladas de piedra, podían dejar que entrase el agua dentro.

Tan sólo para un pilar debían clavar 1.300 estacas como mínimo, las cuales se hincaban en presencia del maestro o de sus delegados, teniendo expresamente prohibido que éstos fuesen cortados sin que cualquiera de los citados responsables diesen su autorización. En caso de contravención, tendrían una multa de doce reales por cada una que cortasen sin su consentimiento. Para evitar engaños cada estaca tenía marcada en el extremo "la señal del reyno". Dato este, que nos indica la meticulosidad con que se realizaban estos trabajos.

Una vez que todas las estacas con el citado sello estuviesen clavadas a la profundidad que les indicara el maestro Bachiller, que debía inspeccionarlas, tenían que cortarse al mismo nivel para asentar sobre ellas la zampea que previa-

(1) Significa hacer un cojedo hasta la mitad de la pieza.

"Trazo" o plano que acompaña el contrato de construcción del desaparecido puente de Montecragón, obra de Bartolomé Hermosa y Diego Ibarra en 1604. (Archivo Histórico de Protocolos de Huesca.)



mente se había armado en los arenales de las márgenes del río para ser posteriormente montada en su lugar.

Trabajos similares se realizaron en el famoso puente de Piedra sobre el Ebro, dañado también por la misma época. La única diferencia estriba que en este caso se dice que sobre el zampado se colocarían grandes sillares bien asentados y nivelados, con sus buenas juntas "agafadas con varras de hierro y emplomadas".

Para la reparación de los arcos, tras colocar las cimbras, se debería ir poco a poco, no quitando las dovelas de una sola vez, sino primero quitando dos y asentando una posteriormente, de tal forma que nunca faltase más una para no afectar la integridad del arco.

Las argamazas también suelen estar definidas en los contratos. Por ejemplo, en uno de ellos se dice que debía de ser de dos partes de cal y una de arena, desde los cimientos hasta dos codos por encima del nivel del agua, en tanto que la mezcla para fijar los sillares y zohorras sería a partes iguales de cal y arena.

En otro caso, el aparejo a usar estaría compuesto de dos partes de cal y tres de arena, obligándose al constructor a cerner la cal que se emplease en la unión de las piedras y utilizar más cal para ello. En otros casos se indica incluso la longitud de las dos dovelas externas del puente, que "para la seguridad y perfección de dicha obra" tendrían 4 palmos y medio (864 mm).

Puentes de Madera

La construcción de puentes de madera de cierta importancia, era un trabajo tan sólo al alcance de unos pocos maestros, puesto que, a juzgar por los datos obtenidos, en tanto que los grandes especialistas en la construcción de puentes de piedra eran al menos una decena, únicamente encontramos dos expertos carpinteros: Jaime Fanegas y Juan Villareal.

Un dato al que hasta ahora no se había prestado suficiente atención, es la importancia de los carpinteros, o mejor dicho, la carpintería, en la edificación de puentes, que podía ser incluso mayor que la de los propios canteros, cuyo trabajo más comprometido era la cimentación. A partir de ese momento, los trabajos de carpintería eran la parte fundamental de la obra, puesto que, una vez construidas las bases de los pilares y montada la cimbra, cualquier mediocre cantero podía terminar el puente.

Resulta particularmente gráfico al respecto, observar algunos puentes de atrevida luz en sus arcos que, además, salvan profundos barrancos. Hemos de pensar que para cuando los canteros que lo realizaron comenzaron a colocar los sillares, ya trabajaban sobre un puente de madera cuya ejecución era, sin duda, de mayor dificultad que el de piedra al que sustentaban.

Los puentes de madera presentan, además, una notable característica, como es su empleo preferente para la circulación del tráfico pesado, puesto que a las vibraciones de las llantas metálicas de los carros y galeras se achacaban buena parte de las causas de deterioro de los puentes. Por ello, en 1585 nos dice E. Cock⁽²⁾ que el río Ebro tenía dos puentes "la una de piedra, por la cual no pasan mas que gente de a pie y de a caballo, la otra de madera por la cual pasan todos los coches y carros...".

La madera que se empleaba para la construcción de puentes debía ser minuciosamente elegida, puesto que encontramos frases como: "...toda muy buena y de buena luna cortada... de buena ley y cortada en buena luna y men-guante...".

Algunas partes de los puentes ligneos se construían con madera seca, en tanto que otras la necesitaban verde. Las partes que debían estar enterradas eran sometidas a la siguiente operación: "...toda esta madera que ha de yr en tierra, que sea socarrada con fuego o la redonda a causa que haze una teja con el fuego, la cual teja no dexa penetrar la humedad y conserva la madera mas largo tiempo en tierra sin corromperse".

Diques y Encauzamientos

Es también muy interesante la información que nos aportan los documentos renacentistas acerca de la protección de taludes y encauzamiento de ríos mediante técnicas que hoy llamamos ecológicas o blandas, de nulo impacto visual y que, una vez cumplida su misión de consolidar el terreno y fijar la vegetación, desaparecen totalmente. Esta era la técnica del "encauchado", que se realizaba sobre los taludes clavando estacas y tramándolas con vigas o tan sólo con ramas, "céspedes" y tierra, sobre el cual se añadían dos palmos de grava o "glera".

(2) Anales del año ochenta y cinco.

En el caso de construir diques, contamos con el informe de Joan Inglés⁽³⁾, cuyas indicaciones para el realizado en la margen derecha del Ebro, junto al Pilar de Zaragoza, son claras y concisas.

Para su realización se abría una zanja, en la que se montaba un zampeado de madera, y sobre éste se levantaba un muro con estribos hacia el lado de la tierra, excavando en el talud cada treinta varas (23 metros) y bien trabados al muro, que no debía ser perpendicular, sino con una caída del 10% hasta llegar al nivel de la tierra, a partir de la cual se haría un antepecho con asientos.

Este muro se haría con hormigón de cal, *"una piñonada de cal y cascajo con sus tapias (encofrado) y bien pisado con pisones de tapiar y desta suerte sera firmisima y de mucha dura"*. Aconseja no retirar la tierra que quedase entre el muro y el río antes de un año, tras lo cual se echaría al cauce para que éste la arrastrase, *"hiziendolo así la obra quedara enjuta y será perfecta y de grande efecto pa el provecho de la puente y de la ciudad"*.

Otras obras de este tipo en la citada época fueron los muros de contención de la localidad algaronesa de Biescas, que protegen la población de las, por entonces, muy frecuentes avenidas del Gállego.

Los problemas fueron constantes desde el comienzo y provocaron incluso la intervención del gobernador de Aragón. Gracias a ellos conocemos la intervención de peritos que dieron su opinión acerca de la obra e informan de sus detalles constructivos como, por ejemplo, la cimentación. En un lecho de grava se acuerda que no se haga zampeado, sino únicamente una estacada a lo largo, de un metro y medio de ancho y tan espesa que debían tocarse entre ellas.

Los muros se fabricaron de mampostería rellena de grava o arena gruesa, con mortero que contenía dos partes de arena y una de cal. Para asegurar su buena realización se

prohíbe a los maestros levantar más de cinco palmos cada vez (90 cm).

LOS MOLINOS DE REGOLFO

Una de las sorpresas que ha deparado el trabajo realizado, ha sido la constatación documental de la existencia de unas turbinas rudimentarias, pero turbinas en definitiva, que gozaron de gran popularidad en el Aragón de la segunda mitad del siglo XVI.

Esta difusión podemos explicarla debido a las características de buena parte de las acequias aragonesas, de muy poca pendiente y grandes caudales. Con las tecnologías convencionales de la época, los desniveles menores de tres metros eran aprovechables, pero con un rendimiento mínimo. Uno de los sistemas era por medio de las aceñas (molinos de rueda vertical), que necesitaban grandes caudales para su funcionamiento, pero eran muy frágiles. Quizá por ello estaban en franca decadencia para la época. En los molinos de rodezno el caudal importaba poco, puesto que necesitan fundamentalmente altura o presión, ya que el rodezno, debido a su configuración, únicamente admite una cantidad limitada de agua.

Los molinos de regolfo permitieron aprovechar la energía disponible en los considerables caudales de algunas acequias, pero que, debido a la escasa altura de salto que podían conseguir, no tenían opción alguna de instalar molinos, hasta que la aparición del sistema de regolfo hizo posible extraer la, hasta entonces, inútil potencia contenida en los saltos menores de tres metros con grandes caudales.

En resumen, los molinos de regolfo se construían en lugares en que un molino convencional no funcionaría o lo haría con tan poca potencia que, en su caso, tan sólo movería muelas muy pequeñas y su coste no sería rentable.

Una de las principales aportaciones del trabajo realizado, ha sido demostrar la existencia de estos molinos, de los que únicamente se tenía noticia por "Los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas" y acerca de cuya existencia se había llegado a dudar.

(3) AMZ 1582. Insertado en el "Libro de la fábrica del Puente de Piedra".



Durante más de cuatro siglos, el modelo de rodezno de la imagen se ha mantenido vigente en Aragón.

En el Aragón renacentista llegaron a funcionar al menos seis de estos molinos (Zaragoza, Daroca, Huerto, Calatayud, Pina y Tauste) y en 1600 se construyó otro en Tudela.

La novedad de este tipo de molino, radica en su accionamiento, un rodete como el de la figura de los Veintín Libros (de seis álabes), aunque en la misma obra se nos dice que en caso de tener mucha agua se utilizan de 5. Sin embargo, en el molino de Zaragoza, podemos aventurar que posiblemente estos rodetes fuesen de tan solo 4 álabes, por lo tanto tenían un enorme parecido con los rodetes Kaplan o de hélice actuales, contruidos casi cuatro siglos antes de los que se les supone.

EL CANAL IMPERIAL

La historia de Canal Imperial es sobradamente conocida, sin embargo la fuente de la que se ha partido en la práctica totalidad de los escritos, es la obra del Conde de Sástago y los informes de Badín. En el primero de ellos, la apología que se hace de Pignatelli oculta deliberadamente las obras realizadas en el siglo XVI y las afirmaciones de Badín contiene inexactitudes que pueden ser fruto de lo escaso de sus conocimientos o bien eran afirmaciones con las que pretendían aumentar el volumen de las obras con fines que no están demasiado claros por el momento.

Un buen ejemplo lo tenemos en los pretextos para el abandono del primer azud y discurso de la acequia Imperial, cuando construyeron el nuevo canal a causa de la supuesta errónea nivelación y la imposibilidad de su llegada a Zaragoza. Esta cuestión es tan evidente, que tan sólo hace falta comprobar dos o tres detalles recorriendo las obras del siglo XVI y las del XVIII. Uno de ellos lo encontramos una vez pasado el Jalón, al final del famoso acueducto. En ese punto, la acequia de Pinseque e Imperial, poseían (y poseen) el mismo nivel. Tanto es así, que cuando para su limpieza o realización de obras, se cierra anualmente el Canal en su toma, es la acequia de Pinseque (que parte del Jalón), la que aporta sus aguas desde el citado punto, como puede ser fácilmente comprobado todos los años.

Durante algún tiempo, la acequia Imperial y la de Pinseque discurrieron paralelas (si es que no compartieron curso). Puesto que en principio tan sólo se pretendió verter sus aguas en el Jalón, recogerla por los azudes de este río y hacerla llegar hasta las puertas de Zaragoza. Pero, a causa de problemas con los regantes, se decidió llevarla hasta Zara-

goza por un trazado nuevo. Posteriormente, debido a la inutilización del paso subterráneo o sifón bajo el río, fue la acequia de la Almozara la receptora del agua de la Imperial y, a pesar de su baja nivelación, ésta sería suficiente para acercar el agua, sin problemas, hasta la capital renacentista (la Puerta de Baltax, actual Puerta del Carmen).

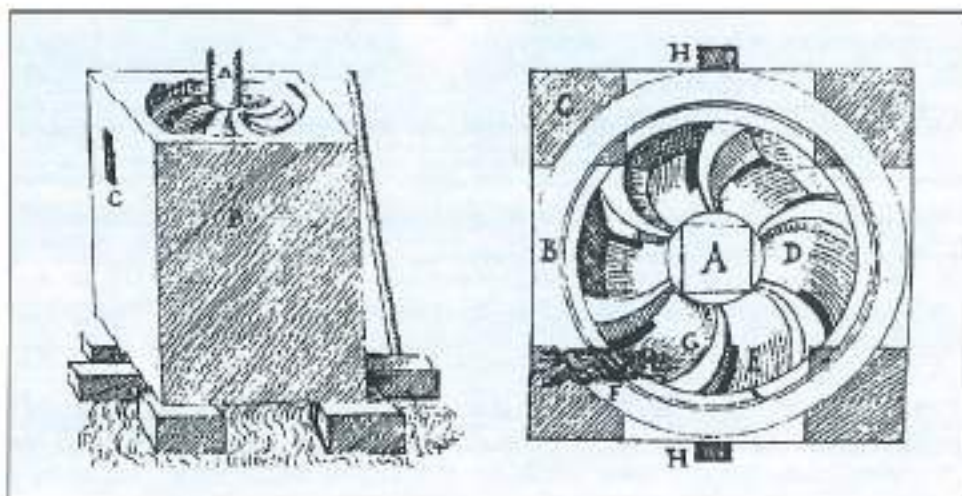
Debido a estas razones, habría que replantearse las razones que movieron a los ingenieros de la ilustración a ejecutar una nueva presa, cuando la nivelación primitiva era correcta. Para ello se hará necesario analizar todo el proceso de su ejecución, con unos planteamientos mucho más críticos de lo que se ha hecho hasta ahora, e investigar más profundamente los trabajos realizados en régimen de semi-esclavitud, con prisioneros, soldados y jornaleros reclutados mediante levas al más puro estilo medieval, junto con algunos labradores voluntarios, con lo cual es más que probable que fuese imposible un control mínimamente aproximado de los gastos.

Muy contrariamente a lo que se daba por cierto hasta ahora, el agua de la acequia Imperial llegaba hasta Zaragoza en 1560, puesto que, tras echarse en el Jalón, era recogida por el azud de Centén y conducida por la acequia de la Almozara, tal como ha quedado registrado en documentos tan fiables como varias actas notariales en las que se expresa claramente el caudal aportado por la Acequia Imperial al Jalón y recogido más tarde por el citado azud.

En 1568, llega a Zaragoza Juan Francisco Sison, el ingeniero de Felipe II, que junto a Guillén Bertox (maestro mayor de la acequia), se ocuparon de su continuación hasta Zaragoza mediante la construcción del sifón y su discurso por los llanos de Pinseque, en un tramo de unos cinco kilómetros a partir del citado punto. Esta acequia, conocida en Pinseque con el nombre de "Revieja", no llegó nunca a transportar agua. Tampoco fue aprovechada posteriormente y nadie se ha hecho eco de dicha obra.

En el transcurso de la investigación también se ha encontrado la respuesta al porqué las acequias abiertas en la época, tenían lo que se ha tomado posteriormente como pendientes negativas, como tenemos al menos en la acequia Imperial y la del Rabal. A la vista de algunos contratos con "maestros de cequias" o "banqueros de cequias", nos encontramos con que los primeros cientos de metros de la acequia del Rabal se construyeron con pendiente 0. Se decía entonces que no era necesaria dicha inclinación, y por lo tanto ga-

Cubeta de molino de regallo y planta de un cubete de regallo en los "Veintín libros..."





Azud Pueyo, obra de Juan de Aracil en 1578.

naban algo de altura, debido a que en este primer tramo el agua discurría "por la fuerza del corriente del azute".

Esta es la razón por la cual, pasado cierto tiempo, adquirieron pendiente negativa, ya que la fuerza del agua al penetrar en la acequia, no permite la decantación de las partículas en suspensión en los primeros metros, sino que se van depositando a medida que la corriente pierde velocidad en la parte final del primer tramo. Por ello, transcurrido cierto tiempo sin limpiarse, la acequia adquiere pendiente negativa, como la que apreciaron Badín y compañía en el Canal Imperial, aunque no tan exageradamente como pretendían.

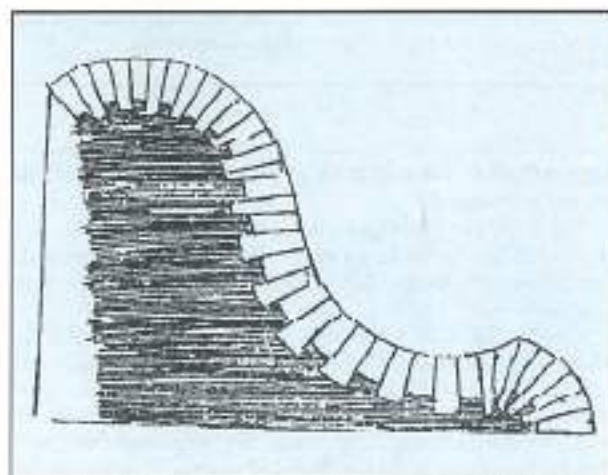
En la acequia del Rabal podemos advertir esta circunstancia cuando se cierran las compuertas de la toma para su limpieza y el agua retorna al bocal desde algo más de un kilómetro.

AZUDES

Hace más de dos milenios que la construcción de azudes está documentada en Aragón. Desde entonces la técnica ha progresado notablemente. Sin embargo, los azudes más simples continúan realizándose del mismo modo, apartando la grava del curso del río y dirigiendo la corriente hacia la toma de la acequia. Los de escollera, evidentemente, tampoco han sufrido cambios apreciables y, curiosamente, los más recientes azudes presentan un perfil, cuyos orígenes se remontan al siglo XVI; es el azud de triple curva que podemos ver en los "Veintiún Libros..." y en el contrato que firmó Miguel de Betania con los monjes de Montearagón y el concejo de Huesca, pero que no parece ser que respondiese a las esperanzas depositadas, puesto que pocos años más tarde estaba en muy mal estado.

Otro perfil de azud de forma sorprendente para la época, lo encontramos en el Ebro y en un contrato para su reparación, en el que se dice que debía ser reparado de la siguiente forma:

Primo que la obra se a de reparar en arco y a de tener por medio de gordor treinta y seis palmos de bara conforme a la



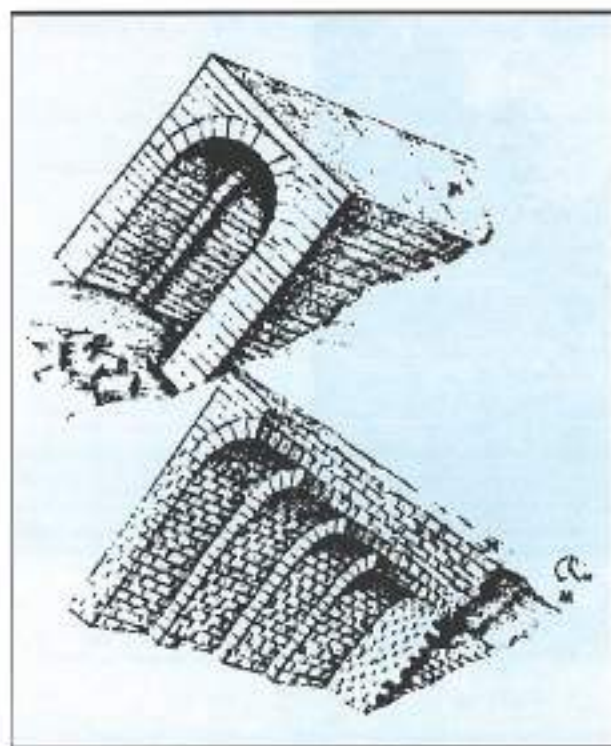
Trozo del azud de Montearagón, en el Flumen, por Miguel de Betania en 1563. [Archivo Histórico de Protocolos de Huesca.]

buelta del arco; ase de hazer el arco de piedra picada y de la parte de abaxo a regla conforme a la obra vieja.

Lamentablemente, al no disponer de restos que nos permitan entender exactamente cómo era el resto de la obra, no podemos adjudicarle con seguridad ninguna tipología, tan sólo que tenía un arco transversal de casi 7 metros de luz. Podría pensarse que esos 7 metros de arco eran referidos a un perfil de presa de esa forma pero macizo, asunto que vemos claramente en las siguientes condiciones.

Item que la obra vieja del cabo de aco del lugar se han de quitar hasta doze piedras de la primera filada y tornarlas a picar y asentar y encarnar en ellas la obra nueva.

Item en la obra vieja del cabo de aco faltan ciertas coberteras o losos en la fila de encima, que las haya de poner el maesso de nuevo que en la misma obra vieja de la parte de



Puede que el azud del Ebro tuviese una forma similar a ésta.
(*"Veintidós libros..."*)

abajo fulan no se que piedras y otras que estan movidas que las ponga y repare.

Por estas últimas disposiciones tenemos la certeza de que el azud no era curvo en su perfil, puesto que las coberteras también son llamadas losas, signo inequívoco de que eran planas.

Cuando los azudes contaban con una buena cimentación y una esmerada ejecución, comprobamos que su longevidad es más que notable, como aún se puede comprobar en el azud que construyeron sobre el río Aguasvivas tres de los más grandes canteros de la época, los hermanos Zumista y Sancho García de la Cueva. Estos afamados canteros fueron llamados porque las frecuentes avenidas del pequeño río desbarataban continuamente el azud. Hicieron honor a su fama y construyeron una obra tan perfecta que aún hoy podemos apreciarla.

El "secreto" puede estar en un detalle importante que se hizo constar en el contrato. El azud disponía de gradas, hoy muy desgastadas, sobre las cuales se asentaban las nuevas losas *"ochaveando estas piezas para que no pueda el agua cuando viene una benida grande hazer daño en el golpe ni sacar ni romper ninguna de las dichas piezas"*.

El ochaveado a que se refiere el contrato consiste en realizar un entrante en las caras verticales de los sillares de la coronación o dejando una ranura entre dos de ellos, en la que posteriormente se introducía un paralelepípedo de piedra a modo de claveta. Con ambos sistemas se conseguía lo previsto, que el agua no pudiese mover los sillares de la coronación del azud.

También se construyeron azudes con una técnica tan eficaz, que no sólo han llegado hasta nuestros días en buen estado, sino que (hasta la realización del trabajo de referencia), habían sido tomados por romanos, como es el caso del

azud Pueye o de San Marcos, obra del maestro Juan de Aracil en 1576.

Está construido conforme a las obras romanas, cimentado sobre roca, con sillares en ambas caras y un núcleo central de hormigón. El ancho de su base mide 20 palmos (3,8 metros), que debía ir reduciéndose hacia la coronación (de 1,9 metros de ancho), mediante escalones. La última hilada del azud debía estar formada por dos tipos diferentes de grandes sillares: unos de 1,9 metros y otros de 0,90.

Para reforzar el azud tenía que construir tres contrafuertes, uno más grande en el centro y dos menores a los extremos: *"en medio de la dicha azut haya de hazer y haga el dicho maestro una torrezica de piedra picada de la manera que pareciera al dicho maestro convenir para seguridad y fortaleza de la dicha açut y yendo trabada con la dicha obra así mesmo otra media torrezica al cabo de la dicha açut de la otra parte del río hacia el castillo de Pueye y otra media torrezica y embocage a la parte de la vequia"*.

Esta forma de construir al estilo de los romanos, también se manifiesta a la hora de levantar presas para riego, puesto que no parece ser que en la época estudiada tuviesen demasiado interés en cerrar directamente el paso a los pequeños o grandes ríos, pero sí lo hicieron derivando caudales y cerrando pequeñas vaguadas. Así se construyeron embalses en Chimillas, Loreto o Castiliscar, con obras de importancia que se alimentaban con el agua proveniente de acequias y llegaban a contener capacidades cercanas a los quinientos mil metros cúbicos. Las dos primeras (Chimillas y Loreto) están muy cerca de Huesca y almacenaban el agua que, procedente del Isuela se tomaba mediante un azud en Nueno. La estancia de Castiliscar, en la provincia de Zaragoza, lo hacía de un pequeño río, cuyas aguas son conducidas a través de una complicada acequia.

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

El siglo XVI se caracterizó por el interés de los poderes públicos en hacer más cómodas y bellas las poblaciones, conduciendo el agua desde los manantiales tradicionales o haciendo nuevas captaciones, hasta llevarla a los vecinos mediante largas y costosas conducciones. De la popularidad de las fuentes renacentistas, hasta decir que la mayor parte de las fuentes anteriores al siglo XX que existen en Aragón, posiblemente se deban a tan generosa centuria. El modelo que siguen, salvo en fuentes ornamentales como la del Vivero en Barbastro y la de Fonz, ambas en Huesca, es siempre el mismo: primero una construcción de sillería con un arco en su frente, bajo el que brotan dos o más caños; a continuación estaba el abrevadero y, por último, las aguas llegaban al lavadero. Esta misma disposición se repite en decenas de fuentes repartidas por todo Aragón y cabe la posibilidad de que fuesen "importadas" desde Cuenca por dos maestros fonteros formados en dicha ciudad y artífices de la construcción de su abastecimiento de aguas: Juan Velez de Hontanilla y Juan del Camino.

De entre todas las obras destinadas a conducir el agua potable a las poblaciones, destaca el abastecimiento de Teruel, obra del que quizá fuese el más completo de los constructores de mediados de siglo: Pierres Vedel.

Al igual que en Cuenca, las conducciones de Teruel han permanecido en servicio hasta después de mediados de nuestro siglo, aunque no así las fuentes públicas de la época, de las que únicamente perdura la existente en la fachada de la catedral. Sin embargo se mantiene intacto y en perfecto estado el que posiblemente sea el mejor acueducto español de dicha época, el acueducto de "los Arcos".



La fuente de Barbuñales, se construyó durante 1572 por Rodrigo del Camino y Simón del Corne.

OTRAS OBRAS

Otra obra muy curiosa que apareció en el transcurso del trabajo, fue la construcción de un "burlador" o juego de agua que, oculto en el suelo, se empleaba para "burlar" o gastar bromas a los invitados. En este caso era el conde de Aranda el que contrata dos artífices para su realización

mediante tuberías de plomo de 37 mm de diámetro interior.

Una de las obras públicas más importantes del mundo en su época, puede que fuese la mina de Daroca, enorme túnel que sirve para evitar que en época de grandes lluvias o trombas de agua, las avenidas de un barranco discurren por la calle Mayor de la localidad zaragozana y que hasta entonces causaba, periódicamente, graves inundaciones.



Acueducto de "Los Arcos" en Teruel, obra de Pierres Vedel en 1558.
Fotografía de Mariano Condial.



Fuente ornamental para Francisco de Herbas, por Pedro de leiza y Domingo Gilbete en 1602. [Archivo Histórico de Protocolos de Zaragoza.]

El único remedio posible a estos cíclicos desastres, era la titánica obra de hacer pasar las riadas a través de la ladera de uno de los montes que circundan la ciudad, después de ser conducidas mediante un largo muro. Este trabajo también le fue encomendado al maestro Vedel.

La mina presenta una longitud de unos 600 metros y una pendiente aproximada del uno por ciento. Sus dimensiones son de 6 metros de ancho, por 7 y 8 de altura (7 en la entrada y 8 a la salida). El trabajo de Vedel no sólo se limitó a excavar el gran túnel, sino que hubo de reforzarlo en nume-

rosos puntos, en unos tapando grietas de la roca y en otros reforzando muros y bóveda.

Las obras no terminaron con la apertura del túnel, sino que, entre otros trabajos, se acometió en 1578 la construcción de un nuevo dique más alto para evitar que el agua entrara en la ciudad (como sucedió en 1575).

A pesar de sus notables dimensiones iniciales, la mina tenía un tamaño demasiado ajustado para las grandes avenidas (aún recuerdan algunas personas en Daroca haberla visto casi al límite de su capacidad). Por ello la "Junta del Aguaducto", que fue la entidad creada para la construcción de la mina y el gobierno de todo lo relacionado con el agua en Daroca, acordó en 1578 aumentar su altura para ampliar su ajustadísima capacidad inicial. De esos trabajos se ocupó el cantero Miguel de Rexil.

En 1585 el rey Felipe II visitó la mina y la atravesó completa junto con toda la corte, puesto que a pesar de su actual abandono y del desconocimiento general, esta fue una de las mayores obras públicas de su época.

Entre 1591 y 92 se hizo un enorme acueducto o "gallipiente" (conocido como "las Rodadas") a la salida de la mina, sobre el que discurría la rambla que estaba canalizada hasta el Jiloca. Esta obra se encomendó a los canteros Joan de Mora y Joan de Marrón⁽⁴⁾.

Probablemente de la misma época sean los diques existentes entre el citado gallipiente y la salida de la mina, que fueron construidos para evitar la erosión del barranco frenando la velocidad del agua, puesto que en ese punto la pendiente es mucho mayor que en la mina.

La mina continúa siendo hoy día una obra sorprendente, tanto por el trabajo que supuso, como por lo espectacular del paisaje, especialmente en su salida. Pero en tanto que la ciudad de Daroca tiene un monumento al ruego (muela de moler olivas) que, según la tradición, evitó una gran inundación, no existe ni un indicativo ni el más mínimo cuidado hacia una obra que hace cuatro siglos que les protege.

Quizá sea este el ejemplo más elocuente de la atención que se presta a unas obras que, en casos como el citado, han sido vitales para una población. En otros lugares han apagado su sed durante más de cuatro siglos con su fuente renacentista, hasta que la "modernización" del pueblo la convirtió en un símbolo de su duro pasado y por ello fue destruida o enterrada bajo toneladas de tierra. En el mejor de los casos la mantienen despojada del abrevadero y lavadero, sus importantísimos elementos adicionales.

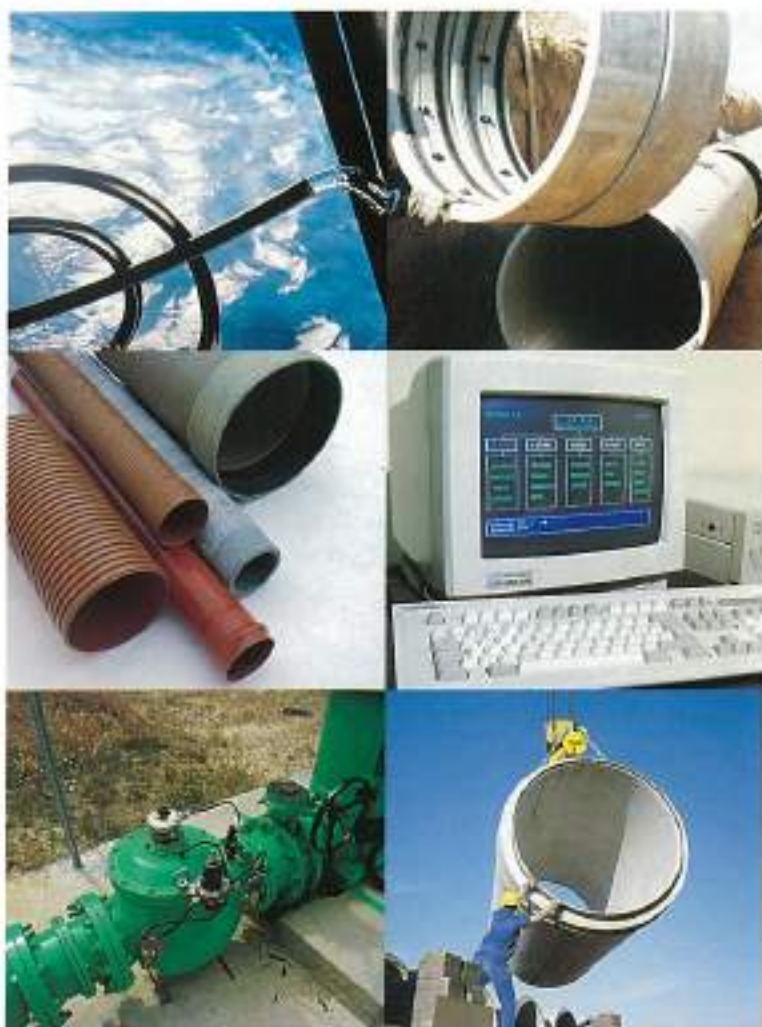
Así podemos continuar relatando el triste destino de los azudes, molinos y demás obras cuyo pecado ha sido no resultar bellas o "artísticas", pero sobre todo, algo que un concepto de cultura que continúa anclado en los postulados más peyorativamente "clásicos" no ha perdonado: han sido útiles.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN • Aragón en el siglo XVI. LOS MAESTROS • Posición social. LAS OBRAS • Organización. PUENTES DE CANTEHÍA • Detalles de cimentaciones. PUENTES DE MADERA • Algunos datos. DIQUES Y MUROS DE CONTENCIÓN • Proceso constructivo. MOLINOS DE REGOLPO • Principios básicos. EL CANAL IMPERIAL • La historia desconocida del canal Imperial. AZUDES • Detalles. AGUA POTABLE • Generalidades sobre abastecimientos. OTRAS OBRAS • Burladores y la "Mina de Daroca". CONCLUSIONES.

(4) J. A. Mateos Rey. "La Junta del Aguaducto de Daroca 1555-1675". Revista "Espacio, Tiempo, Forma", 1993.

PORQUE EL AGUA ES FUENTE DE VIDA



URALITA-OBRA CIVIL

participa activamente en el Abastecimiento, Riego, Saneamiento y Depuración de aguas.

Pionera en este campo, confirma su liderazgo innovando y mejorando su oferta de Productos y Servicios.

La calidad de sus instalaciones viene avalada por su pertenencia al primer Grupo español de Materiales de Construcción.



OFICINAS CENTRALES:
Mejía Lequerica 10 • 28004 MADRID
Tel.: (91) 448 10 00 - 448 11 00
Fax: (91) 446 91 07 - 447 11 26

URALITA



POLYFELT TS®

EL GEOTEXTIL DE LA CARRETERA

POLYFELT TS, se ha convertido en el geotextil líder de la carretera.

Es la alternativa mejor y más sencilla. Sus excepcionales características como geotextil "no tejido" de filamentos continuos de polipropileno agujeteado por ambas caras, le confieren unas muy elevadas prestaciones como geotextil anticontaminante y de drenaje.

■ ALTAS PRESTACIONES

- Elevada resistencia a la tracción
- Óptima resistencia a perforación
- Alta elongación
- Gran permeabilidad vertical y horizontal (ausencia de colmatación)



■ FUNCIONES

El efecto filtrante de POLYFELT TS impide la penetración de los finos del subsuelo y estabiliza el sistema, subsuelo, geotextil y material de relleno, al dar salida al agua sobrante. POLYFELT TS aumenta la resistencia de corte y disminuye la posibilidad de deslizamiento. Actúa contrarrestando la tracción y aumenta la estabilidad del terraplén debido a sus características ideales de tracción-dilatación.

■ GARANTÍA

3.500.000 m² de POLYFELT TS instalados en carreteras durante 1994 y la pertenencia al Grupo URALITA.

POLYFELT TS®
La Tecnología en vanguardia.

Solicite información
llamando al teléfono
91-448 10 00

URALITA
PRODUCTOS Y SERVICIOS S.A.
OBRA CIVIL



Diseño Sur M-40 Madrid Acceso Puerto de Valencia

Ahorramos
tiempo, ganamos
en seguridad.



CUBIERTAS

Y MZOV, S.A. CIA. GRAL. DE CONSTRUCCIONES