

LA FORMA CONSTRUCTIVA DE HERRADURA: SU FUNCIÓN EN LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HISPANO-MUSULMANA (puentes y acueductos)

José Manuel BERMÚDEZ CANO

Universidad de Córdoba

Resumen

En este artículo estudiamos los arcos de herradura de las obras de infraestructura hispanomusulmanas, en el ámbito cordobés. La base del estudio se centra en el análisis de sus componentes técnicos y constructivos. Hemos diferenciado dos modelos de arcos que desarrollan dos formas constructivas diferenciadas, modelos para los que hemos establecido distintas hipótesis sobre su origen técnico y evolución cronológica.

Summary

In this paper we study the horseshoe arches in the public infrastructure of the Córdoba zone in the Islamic period. The bail of the study focus on the analysis of its technical and building elements. We have distinguished had two arche models wich a two different building formes, models for which develop have established several hypothesis about its technical origin and chronological developement.

I INTRODUCCIÓN

Que el arco ultrasemicircular sea una de las formas constructivas más constantes en la arquitectura peninsular no ha propiciado, sin embargo, un estudio en profundidad de sus valores técnicos y funcionales. Los trabajos sobre el tema se centran, salvo raras excepciones, en rastrear su origen y desarrollo desde un punto de vista difusionista¹, basándose en aspectos formales o compositivos, obviando o cuando menos relegando a un plano secundario los valores constructivos.

Siguiendo la acertada delimitación de Caballero Zoreda (CABALLERO, 1978, 338-9), estudiaremos la evolución del arco de herradura constructivo, basándonos exclusivamente en obras de infraestructura -puentes y puentes-acueducto-, en las que el valor funcional prima sobre los componentes estéticos.

Es sintomática la ausencia de este tipo de arcos en obras de ingeniería en el mundo hispanovisigodo, a pesar de su proliferación como arco estructural en la arquitectura basilical², ausencia que contrasta con su relativa abundancia, al menos en el ámbito cordobés, para el período hispanomusulmán. Todos los ejemplares estudiados aquí son hispanomusulmanes, aunque su cronología y la función estructural, dentro de cada una de las obras donde se insertan, son muy distintas.

Para abordar el estudio de este tipo de arcos en las obras de infraestructura, hemos optado por incluir todos aquellos ejemplos conocidos en el entorno inmediato de Córdoba.

Fue necesario un estudio previo de cada obra de infraestructura, para aquilatar el valor de los arcos en sí, tanto de su función constructiva como de su inserción en el resto de la construcción. Además este estudio previo nos ha aportado una serie de cronologías relativas para cada obra (BERMÚDEZ, 1994).

En el análisis de cada ejemplar hemos optado por aislar las características estructurales: presencia y morfología de mechinales, dovelaje, enjarjes, curva del trasdós e intradós, capialzado, peralte del arco, metrología... agrupando los arcos atendiendo a su morfología estructural y modos de construcción. Estos grupos, basados en una tipología formal, no implican en principio una relación cronológica. De forma complementaria hemos estudiado someramente los componentes decorativos y estéticos de cada uno de los grupos, costatando que las diferencias técnicas coinciden con un tratamiento estético igualmente diferenciado.

El resultado ha sido el aislar una serie de “modelos tipo” atendiendo exclusivamente a su estructura y modos de construcción. Partiendo del análisis de las distintas soluciones técnicas que dieron como consecuencia la forma constructiva de herradura, esbozamos un proceso evolutivo de éstas.

(Nota pág. anterior) ¹ Según Gómez Moreno “...una forma artística así de inexplicable, por ajena a toda conveniencia de estructura, y desarrollada con cierta coordinación y exclusivismo, debe de tener un punto de partida único y una ruta de transmisión que abarque todas sus manifestaciones.” (GÓMEZ-MORENO, 1909,786). Por tanto estudia su origen como elemento iconográfico, sin tener en cuenta sus valores funcionales. Establece una teoría que apunta hacia una primera concepción indú o mesopotámica. Lamperez propone como vehículo de transmisión la expansión del culto a Diana y las migraciones judías (LAMPEREZ Y ROMEA, 1906, 125-130), para Creswell (CRESWELL, 1969, 198-199) el prototipo inicial es la arquitectura provisional de cañas de bambú y Mayet una traslación simbólica en esta forma de la cabaña sagrada de Buda.

Ignacio Olagüe, es uno de los pocos autores que considera que la forma de herradura tiene unos orígenes y un desarrollo Peninsular, muy relacionado con las corrientes gnósticas sincretizadas en el cristinismo unitario (OLAGÜE, 1974,545-549).

Torres Balbas, aunque no se aventura a proponer un origen preciso, incide nuevamente en una posible penetración del arco de herradura, al menos como modelo decorativo, a través de la difusión por el Occidente romano del tipo de estelas argumentadas por Choisy, (TORRES, 1965, 364).

² Quizás se deba a una fuerte carga de simbolismo religioso, aparecen en obras paleocristianas, pequeños mausoleos y en baptisterios (CORZO, 1978, 133). Olagüe pone en relación el hecho de su proliferación en la arquitectura basilical del VII con un resurgimiento de las corrientes unitarias en la Península (OLAGÜE, 1974,546). Aunque está por demostrar aún que el uso de este tipo de arcos sea privativo de la arquitectura religiosa en el mundo hispano preislámico.

II LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

Fue M. Choisy, ya en 1873, el primero en rastrear la filiación, tanto cultural como técnica, del arco de herradura. Basándose en la presencia de este tipo de arcos en las estelas funerarias frigias, presume un origen persa para esta forma decorativa. El mismo autor estudiando la estructura de los arcos del Palacio de Ctesifonte, desarrolla una hipótesis complementaria de orden técnico que explica su origen. Son arcos de medio punto peraltados y retraídos al interior de las jambas, en los que el espacio del intradós del arco que coincide con el peralte se rellena con un pastiche de argamasa, fingiendo la prolongación del intradós de un arco ultrasemicircular -Fig. 1, a y e- (CHOISY, 1970, vol.I 376).

Esta sugerente teoría, desestimada por Gómez-Moreno (GÓMEZ-MORENO, 1906, 787), y obviada por el resto de los investigadores que siguieron su línea³, fue retomada por Alpagó Novello y Ponsich (ALPAGO, 1971; PONSICH, 1971), quienes relacionan un tipo de arco, muy similar al descrito por Choisy, relativamente abundante en las basílicas armenias, al que Alpagó denomina "*arc à gouthières*" -Fig. 1, a-, con el origen del arco de herradura. Este tipo de arcos surgen inicialmente en Asia Menor o Irán, y se transmiten al mundo romano Occidental desde épocas muy tempranas ya en el s.III d.C.. Esta hipótesis sigue inalterada, aunque los pasos intermedios no han llegado a ser explicados con claridad.

Camps-Cazorla obviando la problemática sobre su origen iconográfico, para explicar la formación del arco califal canónico emplea únicamente algunos precedentes hispanovisigodos, centrando su evolución en las relaciones métricas y compositivas. Insiste en la preeminencia de los valores decorativos, considerando que el valor constructivo reside sólo en el semicírculo (CAMPS- CAZORLA 1940,503), igualando su funcionamiento técnico al de un arco escarzano o de medio punto (CAMPS-CAZORLA, 1953).

Caballero Zoreda, siguiendo a Camps-Cazorla, establece como modulación fundamental la relación entre la flecha y el diámetro de arco; argumentando que las necesidades estructurales determinarán tanto el tipo de arco como su despiece y forma constructiva (CABALLERO, 1978, 338-339).

El mismo autor es el primero que propone diferenciar en la "forma de herradura" tres usos fundamentales: como motivo decorativo, como arco constructivo y como proyección en las plantas absidadas, para poder reconstruir su evolución geográfica, cronológica y cultural (CABALLERO, 1978,234). A pesar de que el estudio moduladorio ha sido abordado con profusión, la proporción de los arcos no puede ser considerada como un índice cronológico de valor absoluto (HERNÁNDEZ, 1975,149).

³ Gómez Moreno desestima esta teoría puesto que tan sólo se basa en un ejemplar fechado en el s.IV d.C., mientras que existen en la misma zona numerosos ejemplos del s.III d.C., p. e. en el palacio de Firuzabad (GÓMEZ, 1906,7787). Este hecho no invalida la teoría sobre su origen técnico, tan solo introduce un considerable rebaje en la cronología, sin invalidar su origen técnico plenamente aceptado por A. Novello y P.Ponsich (ALPAGO, 1971; PONSICH, 1971).

Aún más sugerente es la teoría desarrollada por R. Corzo (CORZO, 1978,126-127), basada esencialmente en los componentes técnicos y funcionales. Centra su evolución en relación con los arcos de descarga sobre dintel, bien constatados en el mundo romano occidental en el s. II dC. -Fig. 1, c-. Relaciona la adopción posterior de dinteles monolíticos aligerados por arcos, con los primitivos arcos de descarga de herradura del Próximo Oriente de mediados del s. IV dC.⁴, -Fig. 1, b y f-.

Pavón Maldonado apunta hacia un origen romano de los arcos árabes rebajados con dintel adovelado, tomando como ejemplo el arco de la torre de la antigua Audiencia de Tarragona -Fig. 2, a- (PAVÓN, 1994,205): se trata de un arco rebajado que actúa como descarga a un dintel formado por tres piezas, las dos exteriores engatilladas y la central partida. Esta solución es muy similar a la adoptada en la puerta de San Miguel en la Mezquita de Córdoba -Fig. 2, c- o la de la puerta cegada en el muro Norte del patio de la misma Mezquita -Fig. 2, b-.

La concepción del arco de herradura como una estructura eminentemente funcional, abierta por R. Corzo, no ha tenido demasiada suerte. Pavón Maldonado mantiene la tesis de Camps-Cazorla para los arcos de herradura califales enjarjados. Cuando estudia el puente romano de Alconétar, como precedente de los mismos, dice: "...siguen el ejemplo romano al adovelar la curva escarzana superior, que es la fracción del arco que cumple un trabajo efectivo, mientras que las jarjas cumplen la misión complementaria de sostener aquella, y proporcionar la conjunto la forma decorativa de herradura" (PAVÓN, 1990,168).

Desde el punto de vista estructural existen, pues dos teorías: una iniciada por Choisy y continuada por Alpago y Ponsich que relaciona el origen con los arcos peraltados y retranqueados sobre sus jambas; y otra defendida por R. Corzo a través de los arcos de descarga sobre dinteles. En ambos casos su origen se centra en Oriente y penetran en el mundo romano occidental con posterioridad al s. II dC.. En ninguno de los casos los pasos intermedios hacia el arco de herradura están fijados con claridad.

III TENDENCIAS ESTRUCTURALES

En cualquier obra arquitectónica cuya base constructiva consista en el arco, se acentúan las tendencias hacia la racionalización; éstas tienden a economizar los esfuerzos y materiales empleados en la construcción (LIZ 1985, 27). Este fenómeno es más acusado en el caso de las obras de infraestructura, donde las necesidades funcionales irán modificando el trazado de los arcos, para adecuarlos a funciones cada vez

⁴ Toma como ejemplo los arcos de ladrillo con dinteles monolíticos de *Qasr Ib Wardan* y la Catedral del Bosra (MANGO, 1974, figs. 92 y 157), como paso intermedio hacia el arco de herradura adintelado, cuyo exponente será el arco de herradura adintelado del batisterio de *Mar Ya'qub* en Nísibe (CRESWELL, 1932 p.138). A pesar de ello es un salto cualitativo bastante importante, no avalado por pasos intermedios, puesto que como el mismo Gómez Moreno reconoce en la Persia musulmana no cuaja el desarrollo del arco de herradura, a pesar de su proliferación durante el Imperio Sasanida (GÓMEZ, 1906, 789).

más específicas. Estas modificaciones se introducen de un modo procesual, conjugando elementos y trazados ya ensayados en otro tipo de construcciones.

En el tipo de obras que nos ocupa la rasante plana, necesidad funcional insoslayable, junto con la búsqueda de la máxima estabilidad, con los mínimos apoyos y masa sustentada, es dónde se centra el proceso de racionalización. En el desarrollo de las soluciones y recursos técnicos empleados para lograr estas necesidades funcionales es donde hay que situar la aparición del arco de herradura “estructural”, como un hito más en la evolución de la arquitectura basada en el volteo del arco.

A continuación estudiaremos cada una de estas tendencias, con la finalidad de rastrear el origen de la forma constructiva de herradura.

Rasante plana

Por lo que respecta a la rasante plana, el sistema más sencillo es el empleo de arcadas iguales. Éste es el empleado en los “arcos gemelos” de la Puerta de Sevilla; sistema que responde a una larga evolución que puede rastrearse en la Península Ibérica desde el período romano. Una de las soluciones más primitivas, generalizada en época augustea (FERNÁNDEZ, 1980,sp), es la construcción de arcos de medio punto iguales sobre pilas muy robustas, en los que se aligera el peso de los tímpanos mediante aliviaderos. En un momento posterior, en torno al s. II dC., la sustitución de estos aliviaderos por pilares adosados, permitirá elevar aún más la construcción reduciendo sensiblemente el grosor de las pilas, y aumentando las luces de las arcadas. La descarga de los empujes laterales es aminorada por pilares adosados, sobre los que, además, cabalgarían los arranques de los arcos. Será esta la solución empleada en los puentes de Salamanca o de Alcántara⁵.

El hito fundamental es la solución empleada en el puente de Alconétar: pilas aligeradas progresivamente en altura, doble arcada con arcos rebajados en los que las pieza del salmer se enjarja en el plano vertical a la pila, en el punto de inflexión en que ésta disminuye de anchura, con dovelaje aparejado bajo el centro del arco. Solución muy similar es la empleada en el acueducto de los Milagros en Mérida -uso de pilas de escasa base y gran desarrollo en altura-, con los empujes contrarrestados mediante doble arcada, de menor luz la inferior, y arcos aligerados mediante el empleo del ladrillo en sus roscas. Además alternan verdugadas de ladrillo con sillares en las pilas. Serán estas soluciones estructurales el punto de partida hacia la concepción del arco de herradura⁶.

⁵ Hipótesis no muy bien documentada, como afirma J. Liz para el caso del puente de Alcántara, en el que los contrafuertes son adosados y no trabados con el resto de la construcción, hecho que aumentaría en lugar de contrarrestar los empujes laterales, aunque sí apunta a una cronología de principios del s. II para este recurso (LIZ, 1988,203-204).

⁶ Acertadamente B.Pavón en el puente de Alconétar reconoce, basándose en la sección biselada de sus mechinales, empleo de un arco escarzano y el enjaje de su primeras piezas, la misma solución técnica que los arcos de herradura enjarjados (PAVÓN, 1990, 168). Para el acueducto de los Milagros, la totalidad de los autores no dudan en relacionar sus arcadas con el sistema empleado en las de la primitiva Mezquita de Córdoba.

La superioridad funcional del arco de herradura estriba en una neutralización de los empujes y alineación de los elementos sustentados desde el comienzo de la construcción, y antes de cerrar la rosca completa del arco (CORZO, 1978- 133,134). El mayor vuelo de los salmeres, permite ampliar el ancho del vano, sin poner en peligro la solidez de la construcción, aumentando el peralte del arco. Este sistema no es más que el producto de la evolución de las soluciones arquitectónicas, ensayadas en la arquitectura basilical visigoda en las arcadas de San Juan de Baños de Cerrato⁷.

Otro sistema para lograr una rasante plana es emplear alturas variables en pilas y estribos. Éste provoca que los arranques de los arcos se coloquen a diferentes alturas, por ello, y para mantener una rasante plana es necesario equilibrar los empujes mediante el juego de luces de los arcos.

El esquema de un arco central de mayor luz y arcos laterales con luces progresivamente menores, que aumentan de igual forma la altura de sus arranques, está profusamente documentada en el mundo romano, Lo encontramos en los puentes romanos de Pedroches o Villa del Río. El valor constructivo de esta solución es evidente, en el caso de que la luz del arco sea considerable se emplea un arco rebajado y dos laterales peraltados. Esta es la solución adoptada para el puente hispanomusulmán del Guadiato. Aunque en esta misma obra nos encontramos con tres arcos de herradura en los laterales del mismo, actuando como aliviaderos, y funcionando prácticamente como un sistema de arcadas iguales -Fig.5 d-.

Es este sistema, ya con arcos de herradura, es el empleado en las obras de tres arcos hispanomusulmanas de Valdepuentes y Nogales -Fig.5 b y c-. El empleo de arcos de herradura permite, en este esquema, aumentar las luces de los arcos laterales, sin que aumente la anchura del vano en la línea de imposta. A esta ventaja hay que unir la estabilidad proporcionada por el sistema de enjarjes; con todo ello se consigue un considerable aumento del vano sobre el muro. Son estas ventajas técnicas las que provocan el abandono del arco central escarzano y laterales peraltados por los arcos de herradura, manteniendo el esquema de triple arcada romano.

Reducción de la cimbra

Es otra de las constantes fundamentales, más aún trascendental, si tenemos en cuenta que la cimbra en sí es el patrón del arco que se pretende construir. Y la responsable de los errores en la curva del arco y desajustes en el aparejo del dovelaje. La acusada tendencia a reducir tanto el número de cimbras, como la porción del arco en las que se emplean, responde a la doble necesidad de evitar errores en el volteo de los arcos y a economizar los costes de la obra.

⁷ Fechada mediante una dedicatoria en el año 661 dC. para Camps-Cazorla se trata de arcos en los que el funcionamiento efectivo está únicamente la zona adovelada, siendo meramente decorativa la forma de herradura tallada en el salmer y contrasalmer es puramente decorativo (CAMPS-CAZORA, 1953, 63). En lo que coinciden todos los autores centran esta solución en el concepto estructural del sistema constructivo despiece-equilibrio, de las arcadas primitivas de la Mezquita de Córdoba; que no es más que la reproducción del esquema normal en la arquitectura basilical visigoda (CORZO, 1978, 139).

La inexistencia de mechinales en los arcos del acueducto de Valdepuentes, el puente de los Nogales, en el de Cantarranas y posiblemente en el de Vallehermoso, apunta hacia un sistema constructivo basado en la propiedad de autoportar la cimbra en la curva del intradós del arco.

Otro dato a tener en cuenta es que cuando se emplean mechinales, éstos son de sección biselada, por lo que no soportan cimbras con puntales horizontales; situándose siempre bajo el centro del arco y por encima de la línea de imposta.

Es necesario estudiar el empleo y la función de las cimbras junto con la solución técnica que da la forma de herradura al arco. En los arcos conseguidos por un dovelaje inclinado y saliente progresivo (*ver infra*) es necesario el empleo de la cimbra desde el centro del arco, -como en los arcos peraltados-. A diferencia de éstos, en los arcos logrados mediante hiladas verticales y salientes progresivas (enjarjados), la cimbra sólo es necesaria en la zona adovelada -como en los arcos escarzanos-.

Podemos suponer una serie de titubeos iniciales que provocan el empleo de cimbras con mechinales, éstos desaparecieron en los ejemplares sin mechinales, donde se desarrolla la propiedad de auto portar la cimbra sin necesidad de los mismos. Si tenemos en cuenta, que en los casos estudiados, los arcos construidos con el primer sistema, -dovelaje inclinado y saliente progresivo-, son todos anteriores a la adopción del segundo sistema -enjarjado-; y que en ambos grupos aparecen ejemplares con y sin mechinales, hay que tener muy en cuenta el sistema con el que se realizaron los arcos antes de elaborar una seriación cronológica basada en la presencia o ausencia de mechinales.

Aumento de la resistencia estructural de la construcción

En construcciones que requieren gran solidez, como las que nos ocupan, es necesario aumentar la masa resistente y reducir los empujes. Uniendo esta necesidad a la constante de reducir la cimbra se emplean tradicionalmente dos sistemas, ambos basados en los “lechos horizontales de las bóvedas”. La evolución se centra en los salmeres construidos sobre hiladas horizontales o con un progresivo desplome. Con ello se tiende a elevar la zona adovelada por encima de los riñones, aumentando las condiciones de estabilidad (CHOISY, 1970, Vol.I 379). Estos dos sistemas son: a) Hiladas inclinadas progresivas -Fig. 1, d-; y b) Hiladas horizontales sobre las que se apoya el arco adovelado -Fig. 1, c-.

En ambos casos puede conseguirse la forma de herradura en el intradós de la bóveda, aumentando el vuelo de las primeras hiladas, sin poner en peligro la solidez de la construcción -Fig. 1, g y h-. La solución (a) fue ya ensayada en el mundo romano en arcos de medio punto peraltados, y empleada en el mundo visigodo (Puerta de Santa Eulalia de la Bóveda, con impostas reforzadas). La adopción del mismo sistema en los arcos gemelos de la Puerta de Sevilla, responde a la lógica evolución de un sistema estandarizado en la arquitectura basilical visigoda del s. VII. Quizás la originalidad consista en el empleo de hiladas horizontales enjarjadas con el paramento (sistema b) que prolongan en la curva del intradós hasta conseguir la forma de herradura. Su de-

sarrollo es más problemático, hay que ponerlo en relación con los arcos romanos escarzanos, con el salmer enjarjado (puente de Alconétar), o con las arcadas visigodas de herradura que, comparten el salmer y contra salmer para cada pareja de arcos (San Juan de Baños).

En ambos casos, serán las modificaciones estructurales provocadas por las necesidades constructivas descritas, las que provoquen la aparición del arco de herradura en obras de infraestructura.

IV TIPOS DE ARCOS ATENDIENDO A LAS FORMAS DE CONSTRUCCIÓN

IV.1 Arcos logrados mediante dovelaje inclinado y saliente progresivo

En este tipo de arcos el dovelaje es completo desde las impostas, en ellos impostas y salmeres actúan como dovelas. Las primeras de éstas, aparejadas a puntos equidistantes por debajo del centro del arco, mientras que el resto del dovelaje se apareja radialmente al centro del arco. No sobrepasan un peralte de $1/3$ del radio.

En esencia estamos ante un tipo de arco logrado a través de la modificación de un arco de medio punto peraltado y retranqueado sobre las jambas, en el que las últimas dovelas (salmer y contrasalmer), se inclinan y salen progresivamente, formando la curva de herradura en el Intradós.

El prototipo más antiguo en Hispania es el arco del pórtico del ninfeo de Santa Eulalia de la Bóveda, fechado a finales del s. III dC. (CAPMS-CAZORLA, 1953, 21 y 61-62). Este modelo constructivo que se repetirá con cierta profusión en el mundo hispanovisigodo, se generaliza a partir del s. VII dC. Lo encontramos ya plenamente desarrollado en los arcos de San Juan de Baños (toral), Cripta de San Antolín (arco del muro Norte), arco toral de San Pedro de la Nave etc...

En estos casos, como en el de la Puerta de Sevilla, la rosca es más ancha en la zona de la imposta y salmeres, coincidiendo con el peralte, para robustecer los salmeres y aumentar la estabilidad del arco (GÓMEZ, 1906, 801).

En los ejemplares hispanomusulmanes, a diferencia de los casos anteriores, el dovelaje es mucho más alto y estrecho, siendo todas las dovelas isódomas; y con un mayor peralte, en torno a $1/3$ del radio.

En este tipo de arcos podemos diferenciar dos grupos: a) el formado por los puentes de Cantarranas y arroyo del Moro, y b) en el que sólo está representados los arcos de la Puerta de Sevilla. Ambos grupos se diferencian técnicamente por la presencia o ausencia de elementos estructurales: a) Ausencia de mechinales, línea de imposta marcada por una hilada atizonada y retranqueada sobre el paramento; y b) Presencia de mechinales, dovelaje unido directamente a la pila sin que ningún elemento marque la línea de imposta.

Los elementos decorativos ligados a esta forma de construcción son simples, y muy relacionados con su estructura. En el caso de los arcos gemelos de la Puerta de Sevilla,

el dovelaje entero y partido⁸, el empleo de almohadillado, y el realzamiento de la clave, que sobrepasa el trasdós del arco, responden a modelos arcaizantes.

Arcos gemelos de la Puerta de Sevilla (Fig. 5-a. Lám. 1 y 2)

Se trata de dos arcos de idéntica factura y proporciones, adosados al Oeste a una torre terminal de planta cuadrada de 8 mts. de lado. Hacia el Este desconocemos su desarrollo, puesto que este lado del arco está embutido en la fábrica de la muralla "cristiana". Tanto los arcos como la torre terminal pertenecen presumiblemente a la misma construcción, ambos cuentan con la misma técnica edilicia a base de sillares de 1,20 por 0,40 por 35 cms. dispuestos alternadamente con una soga y uno o dos tizones, con sus caras almohadilladas.

Los arcos son ultrasemicirculares peraltados aproximadamente 1/3 del radio. Su dovelaje está formado 25 piezas, convergentes las cuatro primeras aparejadas a puntos intermedios y equidistantes bajo el centro del arco, y entre éste y la línea de imposta, el resto del dovelaje es radial (Fig. 3-f). El trasdós del arco descentrado, es más ancho a partir de la tercera dovela y hacia la línea de imposta. La pieza de la clave, sensiblemente más alta y ancha que el resto, sobrepasa el interior de la curva del intradós del arco. Las dovelas están almohadilladas y en su disposición se alternan dovelas enteras y partidas.

En el arco embutido en la muralla, se aprecian síntomas de reconstrucciones en el dovelaje, sus primeras dovelas rompen el trasdós e invaden el paramento de los tímpanos. En sendos arcos se aprecian cuatro mechinales de sección biselada situados a la altura aproximada del centro del arco para la sujección de la cimbra.

Son considerados como prototipo de arcos hispanomusulmanes de herradura, con una gran similitud con los arcos hispanovisigodos. Para Gómez-Moreno mantienen rasgos de clasicismo suficientes para demostrar su arcaísmo (GÓMEZ-MORENO, 1909, 795-796). Camps-Cazorla los encuadra perfectamente en los modelos hispanovisigodos, diferenciándolos por el distinto carácter del aparejo, y el tamaño proporcional del mismo con respecto al resto de la construcción; relacionándolos con el puente romano del Guadalquivir por la presencia de dovelas enteras y partidas en la rosca de sus arcos (GÓMEZ-MORENO, 1951, 21-23).

Por su parte Pavón Maldonado, duda de que sean verdaderos arcos de herradura, los define como arcos de medio punto peraltados, que descansan sobre sillares alargados que realizan la función de impostas y dovelas, sin anacelar. Igualmente considera que el descentramiento del trasdós y la convergencia del dovelaje a puntos equidistantes bajo la línea de imposta se debe, más bien a que son arcos de no muy buena factura, y a los posibles desajustes en su dovelaje por el paso del tiempo; fechándolo entre los ss. IX y X (PAVÓN, 1988, 194-195).

⁸ La alternancia del dovelaje entero y partido es común a puentes romanos e hispanomusulmanes de la zona (BERMÚDEZ, 1994, 136-135). Pensamos que el uso de este recurso, en obras hispanomusulmanas, responde a una imitación los cercanos modelos romanos, adoptados en las obras emirales.

Por lo que respecta a la funcionalidad, se han barajado tradicionalmente dos hipótesis, la primera de ellas, los considera como torre albarrana, de cronología cristiana (TORRES, 1942,216-219) y la segunda, como una doble puerta de acceso a la ciudad (GÓMEZ-MORENO 1906,795-805). Pavón Maldonado desmonta, a través del análisis del paleourbanismo de la zona, ambas hipótesis (PAVÓN,1988), apuntando hacia la posibilidad de que se trate de la *arcuatio* para salvar el arroyo del Moro de un acueducto hispanomusulmán (PAVÓN, 1988,193). Si aceptamos esta hipótesis, estaríamos ante el primer acueducto hispanomusulmán, construido para abastecer el Alcázar Califal por *'Abd al-Rahmān II* (ARJONA, 1982,34, Doc. 33a).

Puente del Arroyo del Moro (Lám. 3)

Muy similar, tanto en dimensiones como en composición a los cercanos arcos de la Puerta de Sevilla. El arco es ultrasemicircular con un peralte de 1/3 del radio. Está formado por una imposta retranqueada con un vuelo de unos 20 cms., sobre la que se desarrolla un dovelaje compuesto por 21 piezas (de 110 por 20-30 por 40 cms.), en el que se alternan las dovelas enteras y partidas. Como en el caso de la Puerta de Sevilla, la clave sobresale del intradós del arco.

Sobre su funcionalidad Pavón Maldonado afirma que se trata de una canalización abovedada del arroyo del Moro. Lo describe como un arco de medio punto, situado sobre un basamento de grandes sillares aparejados a soga y tizón; fechando la construcción entre los ss. IX al XI (PAVÓN, 1988,189 y 1990,106).

Pero el basamento del arco no es de grandes sillares dispuestos a soga y tizón, tiene una línea de imposta formada por una hilada de sillares atizonados sobre los que se apoya directamente el dovelaje, y bajo ésta se sitúa los estribos igualmente atizonados, de los que es visible su primera hilada. Por otra parte existen noticias sobre la presencia de un puente, con al menos dos arcos, situado en el acceso a la antigua puerta de los sacos, en el antiguo camino que comunicaba los molinos de la ribera con el Alcázar (DE LOS SANTOS, 1958)

Se diferencia estructuralmente de los arcos de la puerta de Sevilla, en la ausencia de mechinales, y en su línea de imposta atizonada, característica que se repetirá como constante en las obras pontoneras califales.

Como en el caso de la puerta de Sevilla la estructura de los arcos responde a modelos hispano visigodos tardíos. Por ello lo fechamos en el emirato de *'Abd al-Rahmān II*, quien según *Ibn 'Idārī*, fue el primero en acometer las grandes reformas urbanas en la zona (ARJONA, 1989, 33-34, Doc.32).

Puente de Cantarranas

En la solución propuesta por Pavón (PAVÓN, 1990,107, Lám. 107) el intradós del arco presenta el mismo plano que la imposta, dando como resultado un arco peraltado y retranqueado sobre los estribos.

Por nuestra parte pesamos, dado que una sección transversal del arco presenta tres planos, el del intradós del propio arco, el formado por la pieza biselada y el de la imposta

(CASTEJÓN, 1924, Lám.8), que se aproxima más a la factura de un arco de herradura, que a un simple arco peraltado y retranqueado sobre los estribos.

Si esto es así, estaríamos ante una estructura de arco ultra semicircular, prácticamente idéntica a la de los arcos Gemelos de la Puerta de Sevilla (Fig. 3-a).

Desgraciadamente carecemos de planimetría y metrología adecuada, que requeriría la previa limpieza y excavación del cauce del arroyo.

Sobre la cronología, a parte de las posibles analogías estructurales con respecto a los arcos gemelos de la Puerta de Sevilla, pocos son los datos que podemos aportar: Castejón lo considera califal, relacionándolo con el camino que unía las almunias de la margen Derecha del Guadalquivir con *Madīnat al-Zahrā'* (CASTEJÓN, 1924, 164), Pavón Maldonado asume esta hipótesis tanto en su funcionalidad como en su cronología (PAVÓN, 1990,106-107).

La cronología de la obra hay que ponerla en relación con la construcción de la almunia de *al-Nā'ūra*, situada en sus inmediaciones, e identificada por R. Castejón con los restos exhumados en la zona del Cortijo del Alcaide a unos 200 mts del puente (CASTEJÓN, 1959-60, 164). La construcción de la almunia se realizó durante el jefato del emir *'Abd Allāh*, aunque las principales realizaciones sobre la misma se centran en torno al año 941 dC., momento en que se dota de un acueducto propio y de un camino arreficado que la uniría con *al-Zahrā'*. Por otra parte los restos de decoración arquitectónica son fechados por Felix Hernández en el califato de *al-Ḥakam II* (HERNÁNDEZ, 1985,176-177).

IV.2 Arcos logrados mediante hiladas horizontales y salientes progresivas (enjarjados)

El empleo del sistema de enjarjes en las obras de infraestructura es una constante generalizada para los arcos de herradura hispanomusulmanes. La adopción de este sistema responde únicamente a condicionamientos técnicos. Este modo de construcción de los arcos implica un levantamiento simultáneo de los basamentos (pilas y estribos), y de gran parte del volteo de los arcos, dado que tan sólo se adovelan a partir de los riñones. El sistema de enjarje permite voltear hasta la mitad de la flecha del arco, sin necesidad del empleo de cimbras. En el caso de obras con más de un vano es fundamental para asegurar la estabilidad de la obra. En definitiva se trata de una solución ya ensayada, parcialmente, en los casos de arcadas corridas sobre columnas (San Juan de Baños), en las que los salmeres y primeras dovelas son comunes para cada pareja de arcos. En los puentes y acueductos, aunque cada pareja de arcos apoyados sobre la misma pila no comparten las mismas piezas, mediante el sistema de enjarje el funcionamiento de los empujes es similar.

La codificación califal de los elementos decorativos la encontramos plenamente desarrollada en este tipo de arcos. En la decoración subyacen unos valores expresivos que enmascaran la verdadera composición estructural de los arcos:

a) El trasdós del arco se realza mediante una doble moldura a modo de arquivolta tallada en el dovelaje y el los sillares enjarjados, fingiendo un arco de herradura completo en el trasdós, que enmasara la estructura del arco enjarjado y logra la sensación de un arco con una rosca completamente adovelada. Este efecto se remarcaría muy probablemente mediante un dovelaje fingido a través de pintura o placas decorativas.

b) Cada arco está enmarcado por una moldura a modo de alfiz desde la línea de imposta a la clave de los arcos. Esta moldura responde al esquema moduladorio de un círculo (el del arco) inscrito en un cuadrado (el del alfiz). Este esquema compositivo armoniza la unión entre el muro y el vano.

c) El trasdós descentrado con respecto al intradós, no responde a una función constructiva, puesto que la curva efectiva desde el punto de vista de los empujes es la del intradós. El descentramiento del tradós se logra mediante la talla del dovelaje y responde más a motivaciones estéticas que a condicionamientos constructivos. Se puede apreciar cierta evolución atendiendo al descentramiento del trasdós. En los ejemplares más antiguos el trasdós es concéntrico, pero pronto tienden a un capialzamiento cada vez mayor, logrado por el descentramiento de las curvas del tradós e intradós

En los casos del puente acueducto de Valdepuentes y de los Nogales, la curva del trasdós está descentrada con respecto al intradós. El centro del intradós está situado bajo el del trasdós, con lo cual la rosca del arco es más ancha en la clave y su tamaño desciende progresivamente hacia la línea de imposta.

A pesar de las similitudes de los arcos enjarjados podemos dividir dos tipos: a) Arcos con un peralte de $1/3$, con mechinales biselados y rosca no descentrada; son los ejemplares más antiguos (Bembezar y Guadiato); y b) Arcos con un peralte de $1/2$, sin mechinales y con la rosca descentrada, ya plenamente califales (Valdepuentes, Vallehermoso, y Nogales), en los que se conjugan además una serie de valores expresivos como las arquivoltas realizadas, alfiz etc...

Puente sobre el Bembezar (Fig. 3-d)

En la restitución del tercer arco aguas abajo realizada por Pavón Maldonado, los arcos presentan la siguiente factura: arco ultrasemicircular peraltado algo más de $1/3$ del radio, enjarje formado por el salmer, dos piezas más y una tercera triangular de ajuste con el dovelaje. El dovelaje está formado por 19 piezas aparejadas al centro de la línea de imposta, presentando una rosca de unos 93 cms. Los sillares de las pilas, incluido el salmer, están dispuestos a tizón en el intradós.

En el intradós del arco y por encima del centro del mismo presenta cinco mechinales de sección biselada para la sujección de la cimbra. El salmer presenta una moldura de sección biselada sin anacelar. En los sillares enjarjados se aprecian una serie de pequeños orificios circulares (10 cms. de diámetro) similares a los existentes en la puerta de San Esteban en la Mezquita de la Aljama cordobesa. Este hecho, junto con las líneas paralelas del trasdós e intradós, nos indican que se trata de arcos trazados

con el mismo modelo. La diferencia más apreciable es el aparejo de las dovelas que, en nuestro caso, a diferencia del arco de la Puerta de San Esteban, es a línea de imposta.

Puente del Guadiato (Fig. 5-d, Lám. 7-8)

Parece responder al mismo esquema que el anterior a juzgar por la metrología y dibujos aportados por Pavón Maldonado (Fig. 5-d), aunque carecemos de datos sobre su trazado como para poder afirmarlo con rotundidad. El hecho de emplear arcos de herradura sólo en los laterales del puente, y el mantenimiento de elementos arcaicos, como las dovelas enteras y partidas son datos que apuntan a una cronología similar al arco del puente del Bembezar.

Puente acueducto de Valdepuentes (Fig. 5-b y 4-c, Lám. 6)

Es un puente de tres arcos ultrasemicirculares de idéntica composición y factura: el arco central con una luz de 5,58 mts., tiene un peralte igual a $1/2$ del radio. El salmer, y las cinco piezas restantes enjarjadas con el paramento de las albanegas dispuestas a soga y tizón. Una pieza más, tirangular durmiente, ajusta esta zona enjarjada con el dovelaje. El dovelaje está formado por 32 piezas aparejadas al centro de la línea de imposta. La imposta está formada por piezas dispuestas a tizón con una moldura anclada en el intradós. El arco está trasdosado, y remarcado por una doble moldura a listel, a modo de arquivolta realizada, que abarca todo el desarrollo del arco, incluida la zona sin adovelar. El trasdós del arco está descentrado siendo la rosca más ancha en la clave que en los contrasalmeres. El arco está enmarcado por un alfiz a listel. Desde la zona adovelada y hacia la línea de imposta este alfiz es sustituido por la moldura exterior de la arquivolta. No presenta mechinales ni elementos de sujeción para la cimbra.

Los dos arcos laterales son de idéntica composición y factura, se diferencia por su menor tamaño 2,88 mts. de radio para el izquierdo -aguas abajo- y 2,40 mts. para el derecho, ambos enjarjados y con un dovelaje radial a línea central de la imposta, formado por 19 dovelas. El trasdós completo enmarcado por una doble moldura a listel, y por un alfiz, que a diferencia del arco central, no se superpone a la arquivolta.

Entre el alfiz del arco central y el de los laterales tiene una especie de pilastra fingida mediante artificio de labra que enlaza con el tablero.

Las claves de todos los arcos están situadas a la misma altura, para ello los arcos laterales han sido sobreelevados sobre el central, haciendo coincidir el radio del arco central con la línea de imposta de los laterales. Es de factura similar a los arcos del patio de la Mezquita de la Aljama cordobesa, rehechos en el año 952 dC. por '*Abd al-Rahmān III* (PAVÓN, 1990, 239). Este hecho unido a su función de abastecimiento de agua a *al-Zahrā'* (VENTURA, 1993, 117-120), fechan la obra a finales de la primera mitad del s. X.

Puente de los Nogales (Fig. 4-d y 5-c, Lám. 5)

El puente presenta tres arcos ultrasemicirculares, con un peralte de $1/2$ del radio. Las luces de los arcos son de 2,77 mts. para el central y 2 mts. para los laterales. Las flechas de los arcos son de 2,30 mts. para el central y 1,80 mts. para los laterales.

El enjarje de los arcos está compuesto por tres piezas; una más triangular durmiente ajusta la zona enjarjada con la adovelada. Esta zona enjarjada está dispuesta en hileras atizonadas en el intradós del arco. Las proporciones medias del salmer y contrasalmer son de 30 cms. de ancho por 40 cms. de alto. Los sillares del salmer son de unas proporciones poco mayores (30 por 40 cms.) y el salmer del arco sobre el plano marcado por el interior de las pilas tiene un vuelo de unos 15 cms.

El dovelaje está formado por 27 piezas en el arco central, 21 para los laterales y las proporciones medias de las dovelas son: 90 cms. de alto por 20-30 cms. de ancho y 40 de grueso. La profundidad de las pilas es de unos 5 mts...

En las dovelas del arco central aguas arriba, la arquivolta del arco se encuentra marcada por una moldura a listel de unos 11 cms de ancho a modo de arquivolta y tallada en el dovelaje.

El esquema de los arcos es idéntico, son untrasemicirculares peraltados $1/2$ del radio. Podemos restituir la fisonomía total del arco, en la actualidad colmatados a la altura del salmer. Para ello hay que sumar a la altura de los arcos la altura de las pilas y estibos, éstas estarían formadas por tres hiladas de unos 40 cms. de alto lo que nos da una altura para las pilas de unos 120 cms. a los que hay que sumar la flecha del arco central 230 cms.

Puente de Vallehermoso

Aunque no disponemos de datos sobre su metrología, sí podemos restituir su fisonomía a través de la documentación fotográfica existente (LEVI-PROVENÇAL, 1957, Lám.434). Es un arco ultrasemicircular enjarjado de fisonomía similar a la de los arcos del cercano puente de los Nogales. La rosca contaba con 27 dovelas, aparejadas radialmente, al centro de la línea de imposta. En la zona enjarjada eran visibles tres piezas, y una más triángular durmiente de ajuste con el dovelaje.

V CONCLUSIONES

La adopción de la foma constructiva de herradura, en las obras de infraestructura hispano musulmanas, responde a un largo proceso de mejoras técnicas en el volteo de los arcos. Estas mejoras están provocadas por una serie de tendencias estructurales: rasante plana, reducción de la rosca del arco, de la planta de las pilas etc...

En las obras estudiadas, existen dos soluciones técnicas diferenciadas: dovelaje inclinado y saliente progresivo, e hiladas horizontales y salientes progresivas. De estas dos soluciones derivan dos modelos de arcos: arcos de herradura con la rosca completa y arcos de herradura enjarjados. Ambos conseguidos a partir de modelos evolutivos cuyos hitos fundamentales los encontramos en las obras de infraestructura hispanas desde época romana. A estas dos formas constructivas hay que unir una más, no empleada en obras de infraestructura: la de los arcos de descarga sobre dinteles, que dará como consecuencia los arcos de herradura que descargan sobre dinteles adovelados.

Por lo tanto podemos diferenciar al menos tres formas de construir arcos de herradura, cada una de ellas con un origen técnico diferente. La adopción de distintos modelos de arcos, responde a diferentes funciones constructivas.

Los arcos conseguidos a través de un dovelaje inclinado y saliente progresivo, derivan directamente de modelos visigodos tardíos, y cronológicamente representan la solución más antigua. Los arcos logrados a través de hiladas horizontales y salientes progresivas, representan un gran salto cualitativo, provocado por la adopción y reelaboración de múltiples avances técnicos. Su empleo no se generaliza antes de *'Abd al-Rahmān II*, y su aparición hay que centrarla en el gran auge constructivo, que toma sus modelos referenciales en las obras romanas. La adopción de este sistema es paralelo al de los arcos de descarga sobre dinteles en las portadas, que igualmente tiene un origen romano (CORZO, 1978,126-128). Ambos tipos de arcos presentan una evolución idéntica en lo que respecta a sus componentes decorativos, estandarizados en época de *'Abd al-Rahmān III*.

Es posible, de esta forma, rastrear cambios evolutivos en cada uno de los sistemas constructivos adoptados en los distintos arcos de herradura en otros de infraestructura. Esta evolución puede compararse igualmente a la de los arcos de herradura en otro tipo de construcciones (portadas y arcadas corridas), que mantienen un sistema decorativo similar.

LIZ, J. (1985): *Puentes romanos en el convento jurídico Caesaraugustano*, Zaragoza.

— (1988): *El puente de Alcantara: arqueología e historia*, Madrid.

MANGO, C. (1975): *Arquitectura Bizantina*, Madrid.

OLAGÜE, I. (1974): *La revolución Islámica en Occidente*. Barcelona.

PAVÓN, B. (1988): “Entre la historia y la arqueología. El enigma de la Córdoba Califal desaparecida (I)”. *Al-Qanṭara*, IX, 69-198.

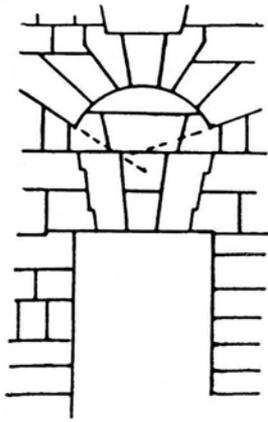
— (1990): *Tratado de arquitectura hispano-musulmana. I El agua*. Madrid.

— (1994): “Arte, arquitectura y arqueología hispanomusulmana (I)”. *Al-Qanṭara* XV, 201-240.

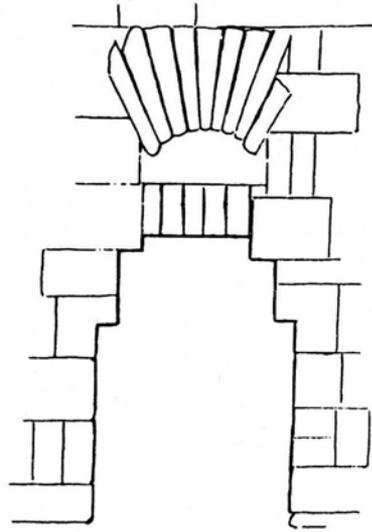
PONSICH, P. (1971): “L’architecture prerromana de Saint-Michel de Cuxa et sa véritable signification” *Caier de Saint Michel de Cuxa*, 2.

TORRES, L. (1957): “Arte hispano-musulmán hasta la caída del Califato de Córdoba” *Historia de España V*. Madrid.

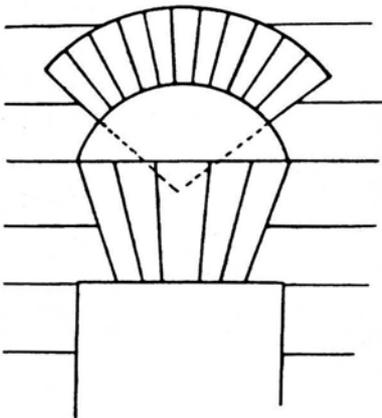
VENTURA, A. (1993): *El abastecimiento de agua a la Córdoba romana. I El acueducto de Valdepuentes*. Córdoba



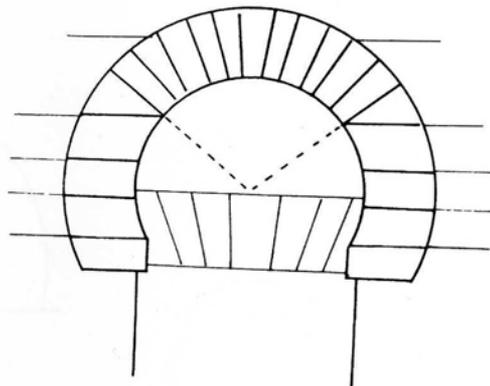
A



B



C



D

Fig.2.- a) arco de descarga de la torre de la antigua Audiencia de Tarragona, b) Puerta Norte de la Mezquita de Córdoba, c) esquema constructivo del arco escarzano de descarga sobre dintel adovelado, d) esquema de un arco de herradura enjarjado con dintel adovelado.

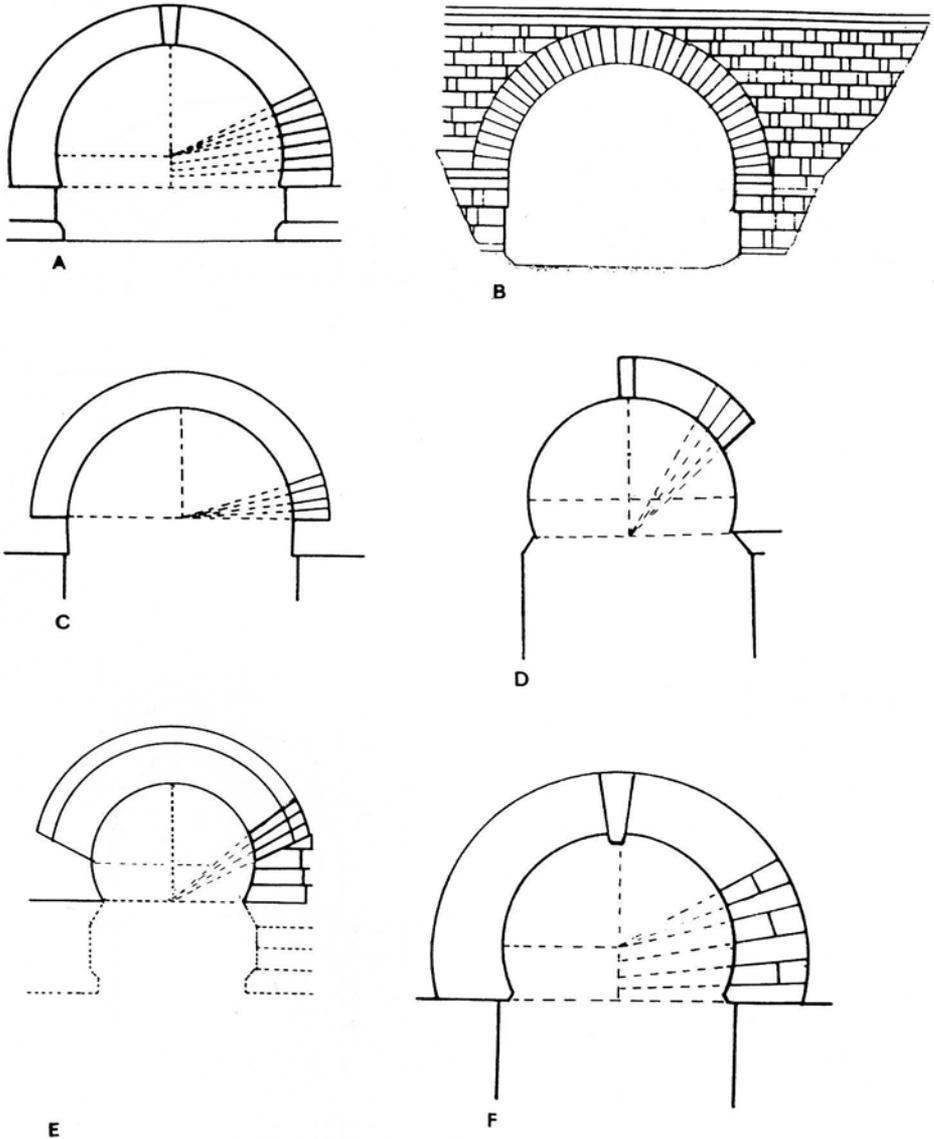


Fig.3.- a) esquema del puente de Cantarranas b) puente de Cantarranas según Pavón Maldonado, c) esquema constructivo del puente de Cantarranas, según Pavón Maldonado, d) esquema del trazado del puente del Bembezar, e) esquema de la restitución arco del de herradura empleado en el puente de los Nogales, f) esquema del arco de la Puerta de Sevilla.

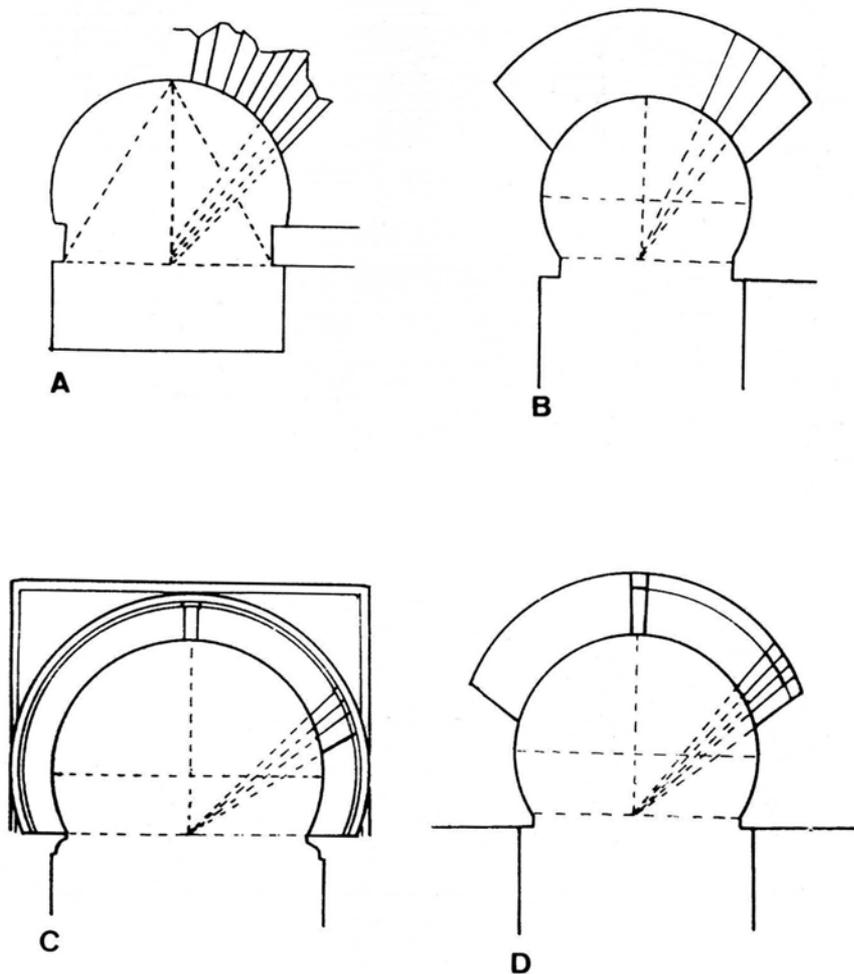


Fig.4.- a) Trazado del aliviadero del puente de Guadalajara, b) trazado del arco del pasadizo del puente de Alcántara en Toledo, c) trazado del arco central del acueducto de Valdepuentes, d) Trazado del arco central del puente de los Nogales.

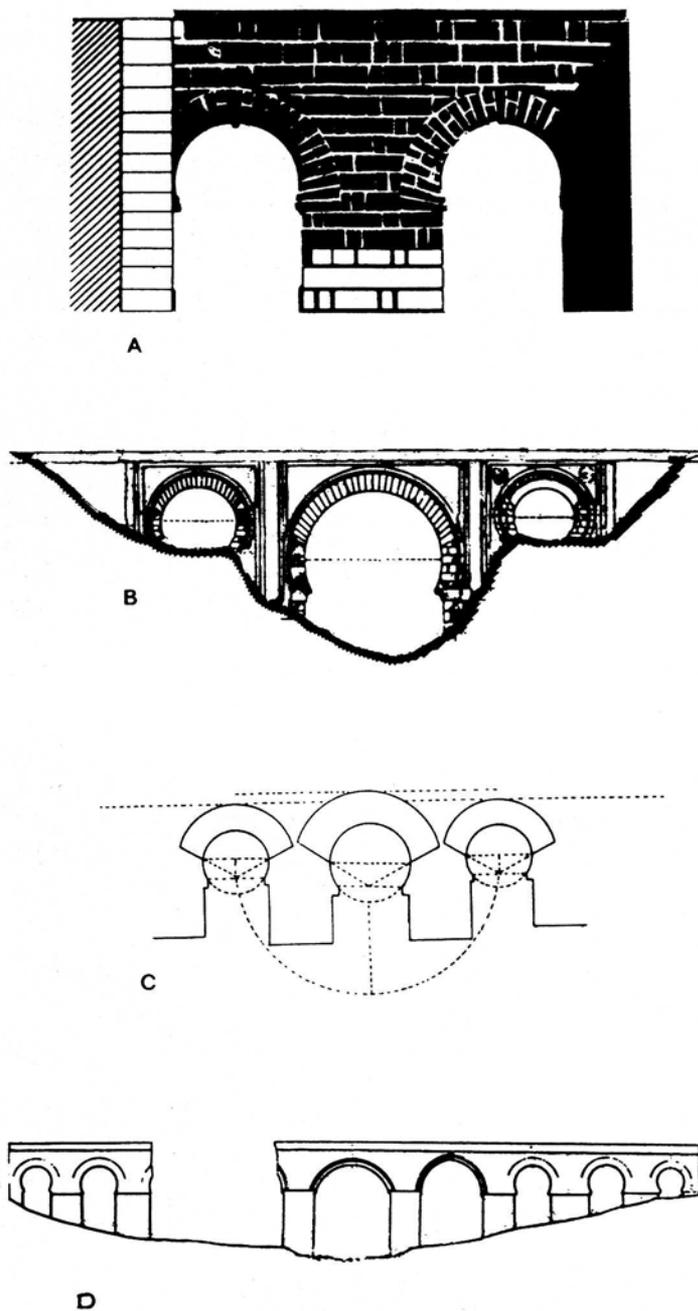
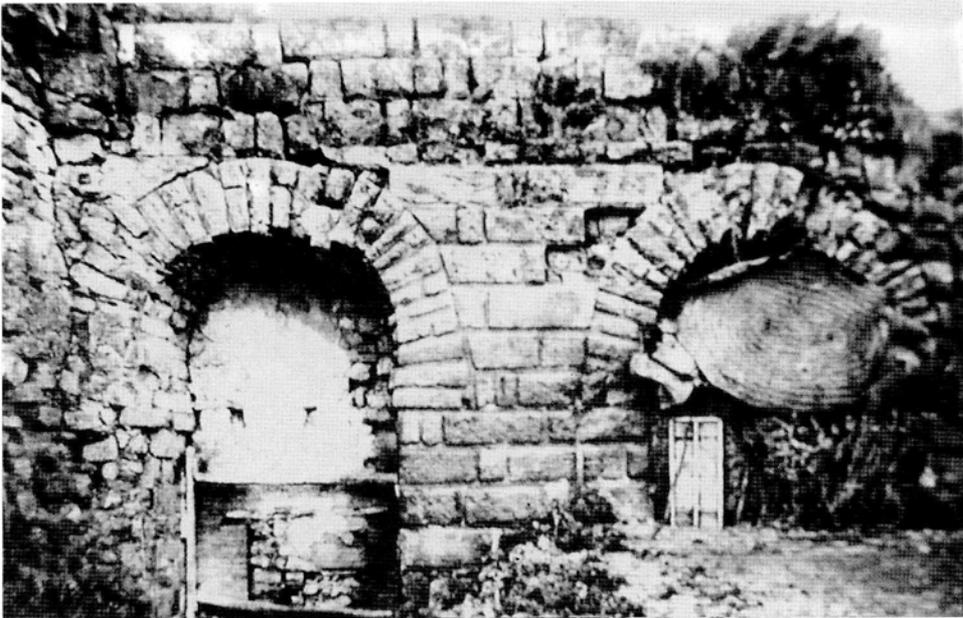


Fig. 5.- a) Arcos gemelos de la Puerta de Sevilla, b) Acueducto de Valdepuentes, c) trazado compositivo del puente de los Nogales, d) Puente del Guadiato.



Lám. 1.- Aspecto de los arcos gemelos de la Puerta de Sevilla en los años veinte (CASTEJON, 1924, Lám. 4).



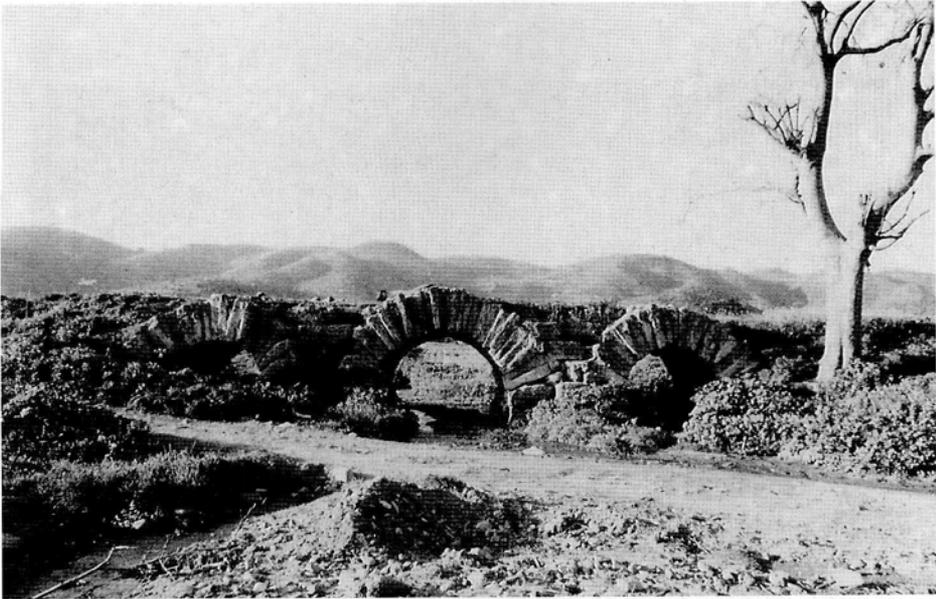
Lám. 2.- Detalle de los arcos de la Puerta de Sevilla (CASTEJON, 1924, Lám.5).



Lám. 3.- Arco del puente del Arroyo del Moro.



Lám. 4.- Arco del puente de Cantarranas.



Lám.5.- Aspecto actual del puente de los Nogales.



Lám.6.- Arco lateral izquierdo del acueducto de Valdepuentes.



Lám.7.- Tercer arco del puente del Guadiato.



Lám.8.- Detalle del arco anterior.