

ción D. Elías, les lanzó la siguiente perorata: «Ya ven ustedes cómo, discurrendo, de un jalón se hace un ingeniero, y cómo los que no discurren, aun siendo ingenieros, se convierten en jalones.»

Lo decía muy serio, pero si no le reían la ocurrencia se ponía de mal humor.

En las clases de los profesores externos no guardaban los alumnos la compostura y corrección debidas, y no ciertamente porque a los profesores faltase competencia en las enseñanzas de que estaban encargados, sino porque entonces, como ahora y siempre, los alumnos de Caminos han sentido con viveza eso que se ha dado en llamar espíritu de Cuerpo, que no les permite reconocer autoridad más que en aquellos que saben han de estar delante en el escalafón.

Había un profesor de Geología, que era un eminente ingeniero de Minas, el cual, inconscientemente, había escrito en unos Apuntes lo siguiente: «Al soplete, cuando es puro, sin fundirse se ennegrece; con el bórax se entumece y da un vidrio pardo oscuro», que es una perfecta redondilla. Pues bien: advertidos de ella los alumnos se propusieron escribir toda la lección en verso y darla en clase en tal forma.

No hay para qué decir que la dieron perfectamente, y admirado el profesor, pero algo escamado, porque aunque trataron de disimular no pudieron evitar por completo el sonsonete, les dijo: «Muy bien, muy bien; hoy explican ustedes muy bien la lección; pero no sé que tienen ustedes, que parece que todos están hablando en verso.»

La nota de exagerada disciplina que algún profesor quiso dar para mantener las tradiciones de la Escuela, fué motivo de más de una ridiculez, como la siguiente:

Éra un profesor de mucho mérito, pero que hablaba muy mal, y al reprender a un alumno que quiso poner algunas excusas a su falta, le interrumpió diciéndole: «Silencio, no se replica; aquí se manda despóticamente y...», no sabiendo cómo terminar, terminó con este desatino: «Sí, señor, se manda despóticamente y se obedece lo mismo.»

* * *

Se ha dicho siempre que la Escuela de Caminos, por ser Escuela de ciencias positivas, es refractaria a todo alarde artístico, oratorio y literario, y aun cuando es cierto que en su primera época adoleció de este defecto, perfectamente explicable, ya que se quiso con ella, en cierto modo, reaccionar contra las

aficiones y gustos dominantes, en los tiempos a que ahora nos referimos, y en los siguientes hasta el día, ha sido y será siempre la Escuela una entusiasta admiradora de las bellezas artísticas en todas sus manifestaciones.

Claro es que la especial educación intelectual que en ella se adquiere no se presta al cultivo del arte, y por eso pocos han sido los ingenieros que en él han sobresalido; pero de eso a ser refractaria, y mucho menos enemiga, como algún *maese* crítico supone, hay un abismo.

Precisamente en el período que recordamos estudiaban la carrera Echegaray y Brookman, poeta de grandes vuelos el segundo, más que el primero, a quien supo estimular, despertando en él su verdadera vocación de literato. Porque sabido es que Echegaray jamás escribió un verso hasta los cuarenta años; pero mascullándolos estuvo desde que salió de la Escuela, siempre acuciado por Brookman, su colaborador en algunas obras, que muchos años después entusiasmaron al público.

Y cómo no citar también, en este orden de manifestaciones artísticas, a Saavedra y a Gabriel Rodríguez!

En aquellos años del 50 al 55 empezaron a asistir los alumnos de Caminos, los sábados, y alguna vez entre semana, al paraíso del Teatro Real. Allí, entre acto y acto, se estudiaba la lección del día siguiente, y casaban perfectamente los cálculos algebraicos con las arias y romanzas.

Indudablemente, hay una gran afinidad entre las matemáticas y la música. En último análisis, las combinaciones armónicas, que son orden y medida, combinaciones matemáticas son, y nada tiene de extraño que los cerebros organizados para el estudio del cálculo perciban sin esfuerzo la composición musical y sientan vivamente la emoción estética del divino arte.

Un eminente ingeniero, Morer, tradujo en fórmulas matemáticas las reglas de la armonía y, valiéndose de una notación musical, explicó Echegaray a Arrieta la imposibilidad de la cuadratura del círculo:

«¿Qué es eso de la cuadratura del círculo?», preguntaba Arrieta; y Echegaray le contestó: «Por muchos puntos que ponga usted a una negra, ¿llegará a valer una blanca?» Arrieta, que era un hombre muy inteligente, meditó un momento y le dijo: «No siga usted; ya sé lo que es la cuadratura del círculo.»

Carlos de ORDUÑA

Profesor-Secretario de la Escuela de C., C. y P.

SIFÓN DEL GUADALETE

Con el título «Sifón de hornigón armado» hube de presentar al Congreso de Oporto de las Asociaciones española y portuguesa para el Progreso de las Ciencias (1), una nota, que la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS comenzó a publicar en el número 2 379, correspondiente al mes de abril de 1922.

(1) Sesión del 30 de junio de 1921. La nota se publicó en el tomo del Congreso referente a Ciencias aplicadas, págs. 179-190.

El objeto principal de aquella nota era dar a conocer la solución adoptada en el sifón del Guadalete, correspondiente a los canales del Pantano del Guadalcacín para atravesar dos ríos, por medio de arcos formados con el mismo sifón, dando a éste la forma precisa para poder resistir las cargas normales del peso propio y del agua, sin más que utilizar la resistencia a la compresión del hornigón en el sentido de

la longitud del tubo, resistencia que, de otro modo, quedaría por aprovechar.

Al efecto, se estudiaba con algún detalle la forma de la curva, su ecuación analítica y los métodos de

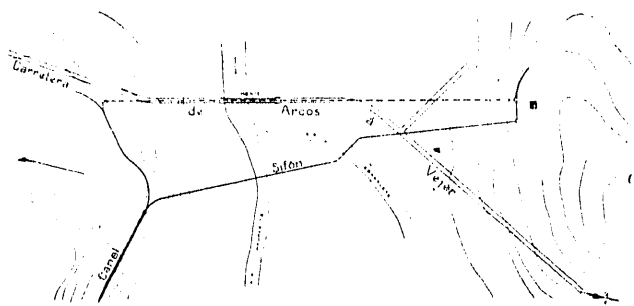


Fig. 1.ª: Croquis de la confluencia.

cálculo que podrían servir para determinarla y para calcular el espesor que a las paredes del tubo debería darse en cada punto. La obra se encontraba por aquel

términos municipales de Arcos y Jerez que, desde aquí y hasta buen trecho más arriba, quedan separados por el río. El volumen del embalse actual es de 76,5 millones de metros cúbicos y el canal de conducción arranca de la misma presa (1).

La superficie regable se divide en tres principales zonas: sigue una por la margen izquierda del Majaceite y Guadalete; la segunda se encuentra a la derecha, formada por las vegas del último río, y la tercera y más importante (constituye por sí sola más de 4 000 hectáreas) comprende los llanos de Caulina, situados también a la derecha, aunque separados de las vegas del río por un contrafuerte no muy elevado, pero que hay que atravesar por medio de un túnel. Entre los dos ríos se encuentra, además, una pequeña zona de unas 400 hectáreas.

A la salida de la presa, el canal es único y sigue la ladera izquierda de la Angostura, derivando de él, a unos 5 kilómetros de recorrido, otro pequeño canal que pasa el río en sifón sumergido y va a regar la zona intermedia. Es precisamente al llegar a la confluen-

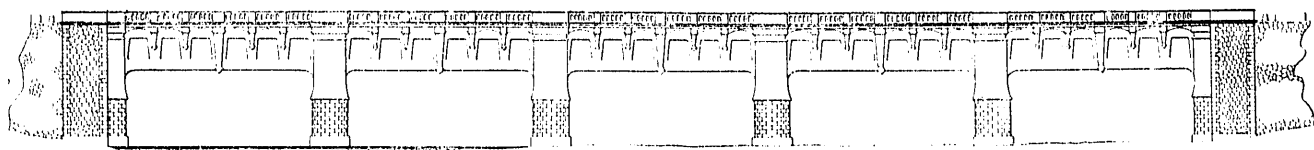


Fig. 2.ª: Alzado general del puente proyectado.

entonces en plena construcción, respecto a la cual no se adelantaban indicaciones, que hubieran podido ser prematuras. Terminada hace ya cerca de dos años,

cuando es necesario dividir las aguas para suministrar su dotación a las zonas que se encuentran a la derecha del Guadalete. Antes habría que atravesar

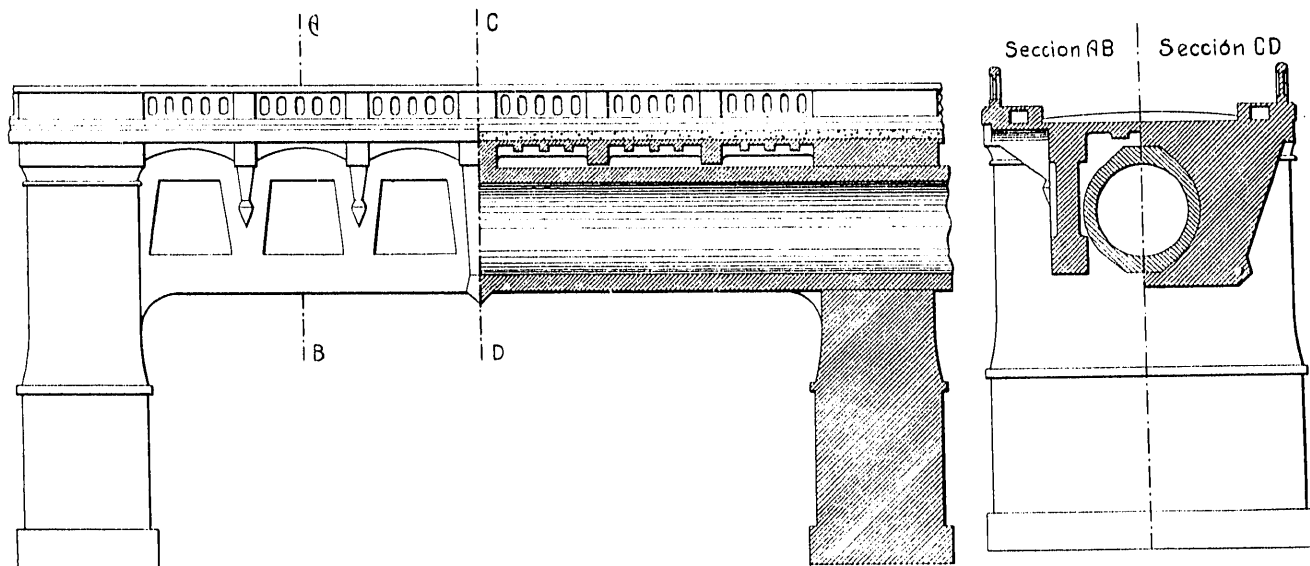


Fig. 3.ª: Puente proyectado. Detalles de un tramo.

probada y en servicio, será tal vez interesante dar algunos más detalles sobre la misma, a cuyo objeto dedico el presente artículo.

El pantano, que se destina al riego de una superficie de más de 12 000 hectáreas, se encuentra sobre el río Majaceite o Guadalcaacín, el afluente más importante del Guadalete, en el cual vierte por la margen izquierda. La presa está situada a unos 8 kilómetros aguas arriba de la confluencia, en el sitio denominado Angostura de Arcos, precisamente en el límite de los

separadamente los dos ríos con obras distintas, indistintamente más caras en su conjunto; después, las vegas ensanchan, y algunos estrechamientos que se encuentran agua abajo presentan condiciones mucho menos favorables. Además, a medida que se alejara la obra de paso, quedaría por encima una mayor

(1) El embalse puede ampliarse hasta más de 100 millones, elevando el umbral del aliviadero (medida prevista y para la cual no habría que reforzar la presa) y estableciendo alzas móviles sobre el umbral. Para más detalles sobre el pantano, pueden verse mis conferencias en el Instituto de Ingenieros Civiles de mayo de 1915. (REVISTA DE OBRAS PUBLICAS números 2 070 y 2 071.)

extensión de zona, que habría que regar en dirección contraria a la pendiente del terreno, con la consiguiente pérdida de superficie dominada.

No podía, pues, haber vacilación sobre la elección de sitio; sólo faltaba acabar de localizarle, aprovechando lo mejor posible las circunstancias del terreno. La figura 1.^a da el croquis de la confluencia. Por ella misma pasa la carretera de Arcos a Vejer, que atravesaba el río por un puente de fábrica de 5 claros de 18 metros de luz cada uno, prolongado a uno y otro lado de los estribos por muros de acompañamiento.

Una primera idea fué aprovechar este puente para el paso del sifón. Se evitaba así toda obra en el cauce, siempre costosa y expuesta a retrasos o averías durante las crecidas del río; pero colocar el sifón encima del puente hubiera obligado a elevar mucho la rasante de la carretera. Había, pues, que desmontar los arcos y, del puente, no se podían aprovechar, en definitiva, más que estribos y pilas; la economía quedaba, pues, reducida a las cimentaciones.

Para poder juzgar con pleno conocimiento, se desarrolló el proyecto, y las figuras 2.^a y 3.^a dan el alzado general y los principales detalles de la solución estudiada. Sobre las pilas se proyectaban dos vigas de hormigón armado que, en su parte superior, sostenían el piso y, en la caja así formada, alojaban el tubo del sifón. Este quedaba empotrado en las pilas y en tabiques que, en la mitad de los arcos, arriostaban viga con viga.

Las armaduras longitudinales de los tubos les permitían salvar, como vigas rectas, los vanos de 8,50 m que así resultaban.

Esta solución no inspiraba, sin embargo, confianza plena. El emplazamiento del puente era poco afortunado.

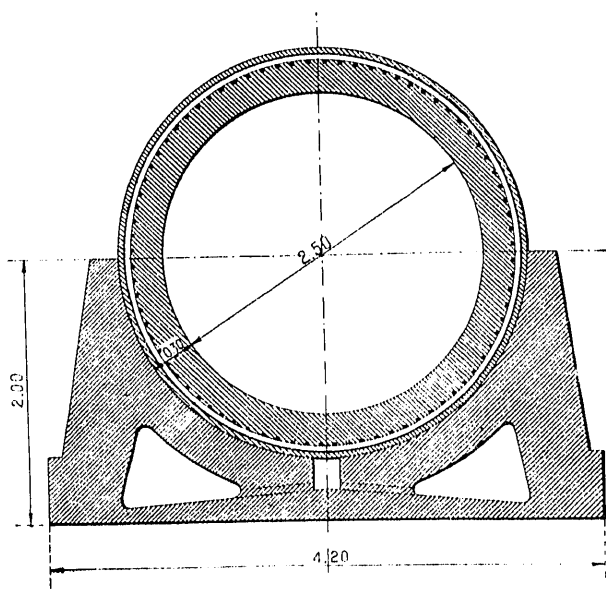


Fig. 4.ª: Sección del sifón sobre su cama.

nado. Situado en la misma confluencia, estaba expuesto a las avenidas de una y otra corriente, no siempre completamente concordantes, lo que podía hacer variar y reforzar, en condiciones difíciles de prever, la fuerza de socavación. Ya una vez el río había destruido un arco, reconstruido hacia 1906. Al practicar las nuevas cimentaciones, se observó la escasa

profundidad de las antiguas y se hicieron algunos trabajos de defensa de las pilas que habían quedado en pie; pero todo esto parecía muy poco satisfactorio.

No existían, probablemente, tan desfavorables condiciones cuando se construyó la obra, hace ya cincuenta años. Parece que entonces hubo de estar la confluencia unos 200 m más agua arriba, como re-



Fig. 5.ª: Vista del conjunto de la obra.

sulta de planos del Instituto Geográfico y Estadístico, cuyos datos se tomaron por aquella época, que confirman referencias de gente anciana y de lo cual aún se encuentran indicios en las *madres viejas* o antiguos cauces, casi del todo cegados hoy, que surcan los tarajales de la inmediata vega de la Pedrosa.

Para completar estas impresiones, se hicieron sondeos por el Servicio Central Hidráulico, en los que intervino el entonces ingeniero de aquel servicio D. Vicente Puente, y cuyo resultado coincidió con las previsiones, encontrándose, además de la escasa profundidad de la cimentación, que el hormigón, fabricado con cemento de fraguado rápido, dejaba también algo que desear, no por la escasez de aglomerante, sino por las dificultades indudables que se debieron ofrecer para su empleo eficaz. Y si, en estas condiciones, todavía la obra resistía bien, se consideró que era por lo menos peligroso aumentar las presiones en el suelo de cimentación, con el incremento de carga que el peso del sifón suponía.

Por eso, aunque, como término de comparación, se elevó también a la Superioridad el proyecto de paso por el puente, proponía adoptar la solución que al fin se ha ejecutado y que describiré ligeramente en este artículo, dejando, tal vez para otro, detalles que hoy nos ocuparían demasiado espacio.

Las previsiones de entonces fueron dolorosamente confirmadas en marzo de 1917, en que una avenida extraordinaria del Guadalete, como no se recordaba otra en más de un siglo, arrastró el puente y con él otros dos del mismo valle, entre ellos el puente sifón del abastecimiento de aguas de Jerez.

El nuevo trazado que, como definitivo, aparece en el croquis de la figura 1.^a, corre un poco agua arriba del destruido puente, correspondiendo a la menor distancia entre las dos laderas, con una longitud total de 724 metros. Situado agua abajo del puente, tenía, aparentemente al menos, la ventaja de una obra de paso única; pero aparte de que se aumentaba la longitud total del sifón y también la luz del arco, y con ella la altura, de adoptar el tipo de obra propuesto, las divagaciones posibles del cauce, atestiguadas por el ancho cascajal que hoy atraviesa, y la falta de sitio bien definido para estribar la obra, que además

podía verse afectada en su día por la eventual rotura del puente, aconsejaban prescindir de aquella muy dudosa ventaja.

El paso de los ríos ha exigido así dos arcos: el del Majaceite, situado en la dirección general del sifón, que atraviesa normalmente el río, y el del Guadalete, un poco desviado, aunque ligándose al resto del trazado, por amplias curvas, obteniéndose de este modo, no sólo la conveniente normalidad, para el completo aprovechamiento del desagüe, sino también un punto de suficiente solidez, para la construcción de los estribos, y que, en caso necesario, sería un obstáculo más a las socavaciones, por existir allí, un poco abajo, restos de cimentaciones de una antigua presa.

Entre los ríos, y a uno y otro lado, el sifón se apoya sobre el terreno natural, por intermedio de una cama

parte que reposa sobre las camas es de 0,30 m. Este espesor, algo superior al empleado en otras obras españolas de la misma clase, y aun de mayor diámetro, tiene por objeto resistir el peso del terraplén, que actúa en sentido contrario de la presión del agua y que constituye la carga principal en el caso de sifón vacío. Para resistir la presión, el tubo va provisto de armaduras transversales, constituidas por aros de sección en T, mantenidos a las distancias requeridas por rondos longitudinales de 5 mm de diámetro. Todo ello puede verse en el corte de la figura 4.^a. Las T son de 20, 25, 30, 35 y 40 mm de cabeza, para acomodarse a las distintas presiones, en forma que, en ningún caso, la distancia entre dos aros inmediatos exceda de 125 mm ni baje de 100.

En los arcos, cuya luz, según el eje de la curva, es

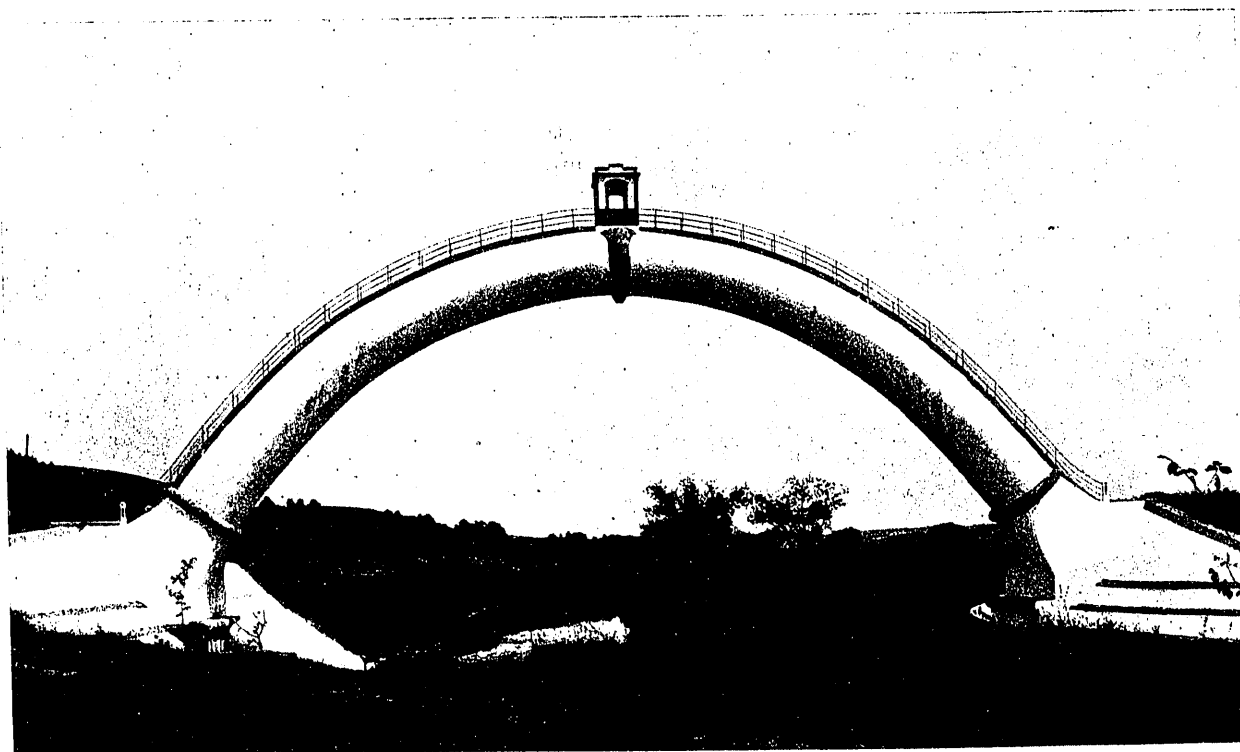


Fig. 6.^a: Arco sobre el río Majaceite.

cuya sección puede verse en la figura 4.^a. A lo largo de ella, corren drenes destinados a recoger y desaguar las posibles filtraciones, impidiendo que, acumulándose, pudieran ser causa de movimientos o arrastres superficiales del terreno. Hasta rebasar el nivel de máximas avenidas, el sifón va cubierto por un terraplén insumergible que, además de defenderle contra las variaciones excesivas de la temperatura, impide que las aguas puedan verter por encima y previene, de este modo, las divagaciones de los cauces, puesto que la luz de los arcos, dejando íntegro su ancho, es más que suficiente para dar desagüe a los mayores caudales.

La altura del canal de llegada es de 23,32 m sobre el nivel del río, y ésta es también, aproximadamente, la carga sobre el punto más bajo del sifón. La sección interior del tubo es de 2,50 m que, con una velocidad media de 1,43 m, da paso a un caudal de 7 metros cúbicos por segundo. El espesor de las paredes en la

de 40 m, el espesor varía entre 0,28 m en la clave hasta 0,46 en los arranques, siguiendo la ley deducida de los cálculos indicados en la nota que citaba al principio de este artículo, y en la que podrán encontrarse más detalles. Hállase aquí el tubo expuesto ya, sin defensa especial, a variaciones de temperatura mucho más considerables; pero, en este caso, las compresiones longitudinales que produce el peso propio de la obra y el del agua son un obstáculo a la formación de grietas. Todavía, para reducir en lo posible estos efectos, y en especial el de los fuertes calores del verano, se ha blanqueado con cal (enlucido que resulta bastante adherente) toda la superficie del tubo en esta parte, lo que contribuye, además, al buen aspecto de la obra.

Los estribos son de hormigón en masa, en el cual vienen a anclarse las armaduras longitudinales de que hablaremos luego. Se cimentaron por aire comprimido, empleando el tren del servicio central hidráulico y llegando a atravesar toda la capa de acarreo, hasta

empotrarse sólidamente en la arcilla azul, que las socavaciones en toda época han respetado. Unas alas contribuyen al encauzamiento del agua en las proximidades de los arcos.

Una vista del conjunto de la obra aparece en la figura 5.^a, y en la 6.^a, la del arco del Majaceite, ya en mayor tamaño. El del Guadalete se construyó y des-cimbró entre la presentación de la nota al Congreso de Oporto y su publicación en el tomo correspondiente, donde ya apareció una fotografía.

Los arcos, dada su forma, expresamente calculada para poder resistir por su propio peso, no necesitarían armadura ninguna longitudinal, si no hubieran de estar sometidos más que a las cargas normales: peso propio y del agua; pero están expuestos, además, a la acción del viento, que es bastante violenta cuando soplan con fuerza los levantes, tan frecuentes en la región, sobre todo en verano y fines de primavera. No se pueden tampoco despreciar del todo los efectos de temperatura que, si están parcialmente contrarrestados, pueden producir un acentuado desvío de la curva de presiones, capaz de hacer desarrollar tensiones peligrosas. Por último, no son las cargas más desfavorables las que se producen a sifón lleno, sino las que pueden producirse durante la carga, cuando una rama está llena y la otra todavía no. Esta disimetría de cargas tiende a empujar una rama sobre otra y puede también dar lugar a tensiones.

Este último efecto hubiera podido evitarse mediante una tubería de carga que, apoyándose en el fondo del río, pusiera en comunicación inferiormente las dos ramas del arco; pero esto era una complicación relativamente costosa y que no ponía al abrigo de falsas maniobras, a menos de dar a la tubería sección exagerada.

Todos estos efectos, que no son simultáneos, se pueden, sin embargo, contrarrestar en nuestro caso reforzando sin exageración la armadura longitudinal que es, en todo caso, necesaria para mantener a la distancia debida los arcos de la armadura transversal. En particular, el empuje del viento no exigiría especial refuerzo dadas las dimensiones de la obra, que aseguran su estabilidad; pero con tubos más pequeños o en obras de mayor luz, puede adquirir mayor importancia, hasta el punto de hacer preferible otra solución, como ocurrió para el pequeño sifón que alimenta el canal de la zona entre ríos, que se proyectó sumergido, después de haberlo estudiado, en un tanteo preliminar, con arreglo al mismo tipo que al fin llegó a adoptarse en el de que ahora tratamos.

Para dar salida al aire, que quedaría de otro modo encerrado durante la llena en la rama de agua abajo, o el que por cualquier otra circunstancia pudiera acumularse en la parte superior, lleva el sifón, en esta parte, una ventosa, constituida por un agujero de hombre, análogo a los empleados en las calderas. Todo ello va encerrado en una casilla, a la que se da acceso por unas escalinatas defendidas por barandillas que se ven en la figura 6.^a.

En la boca de entrada del sifón, hay dos juegos de compuertas: uno para recibir el agua en el sifón y otro para cortar la comunicación, cuando fuera preciso, con el canal que continúa desarrollándose por la margen izquierda del Guadalete, para el riego de las vegas inferiores. Las compuertas son de hormigón

armado con marcos de bronce y se mueven por sencillo mecanismo que puede verse en la figura 7.^a.

Para vaciar el sifón, dos tuberías, también de hormigón armado, maniobradas por medio de llaves en cuña, arrancan de los extremos del arco del Majaceite, en cuyo estribo derecho se encuentra el punto más bajo del sifón. En el arco del Guadalete hay una sola llave, correspondiente también al estribo derecho.

Proyectóse el sifón el año 1915 y, aprobado poco después el proyecto, se empezó al año siguiente a ejecutar los cimientos de los estribos, que fueron efectuados, como se ha dicho, utilizando un tren de aire comprimido del Servicio Central Hidráulico e interviniendo con este motivo en la construcción el entonces ingeniero de este servicio D. Casimiro Juanes. Las dificultades experimentadas en los años posteriores para obtener el regular suministro de hierros y cemento, debidas a las perturbaciones acarreadas por la guerra, fueron causa de que la obra experimentara un retraso de tres años, durante los cuales se trabajó en el resto de los canales.

Reanudada en 1920, se llevó ya con toda rapidez, empezando por la construcción de las camas y de la

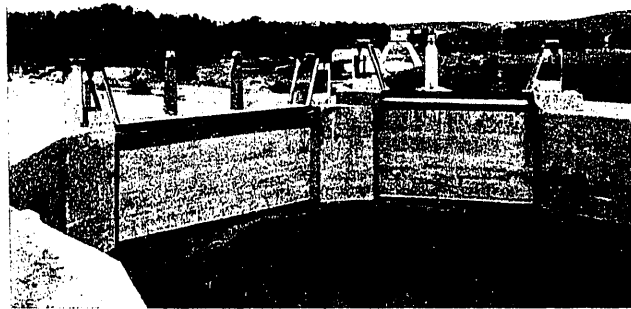


Fig. 7.^a: Cabeecera del sifón, con las compuertas cerradas.

tubería que sobre ellas reposa, quedando por hacer, al finalizar la primavera del 21, solamente los arcos, que convenía ejecutar en verano, para evitar el peligro de averías, a que las avenidas de los ríos pudieran exponer.

En la figura 8.^a se ve la cimbra empleada, compuesta esencialmente por pies derechos y puntales en abanico, constituyendo un conjunto a la par ligero y resistente, de unos 18 metros de altura, que ha prestado un eficaz servicio. A ello ha contribuido también la manera de desarrollar la obra. En la parte inmediata a los estribos, el hormigón apenas si cargaba sobre la cimbra, y una vez fraguado se convertía pronto en elemento resistente, y en las proximidades de la clave, ejecutando primero un sector inferior del anillo, el arco quedaba cerrado sin grandes cargas, completándolo en seguida, de modo que, al terminarlo, la obra se sostenía a sí misma sin insistir apenas sobre la cimbra.

De este modo, cada arco tardó en construirse mes y medio próximamente, y en otoño la obra estaba ya terminada en sus partes esenciales. No se pudo cargar hasta febrero de 1922, por estarse ejecutando obras de revestimiento y otras accesorias en el canal de alimentación. Efectuadas al fin las pruebas, el re-

sultado fué completamente satisfactorio, llenándose el sifón en pocos minutos, sin que se notara por ello la más ligera deformación.

En este lisonjero éxito parte es debida a la inteli-

que secundó con gran celo e inteligencia las órdenes recibidas. También me es grato mencionar, por el auxilio que me prestaron en la formación del proyecto, desarrollando cálculos y confeccionando gráfi-

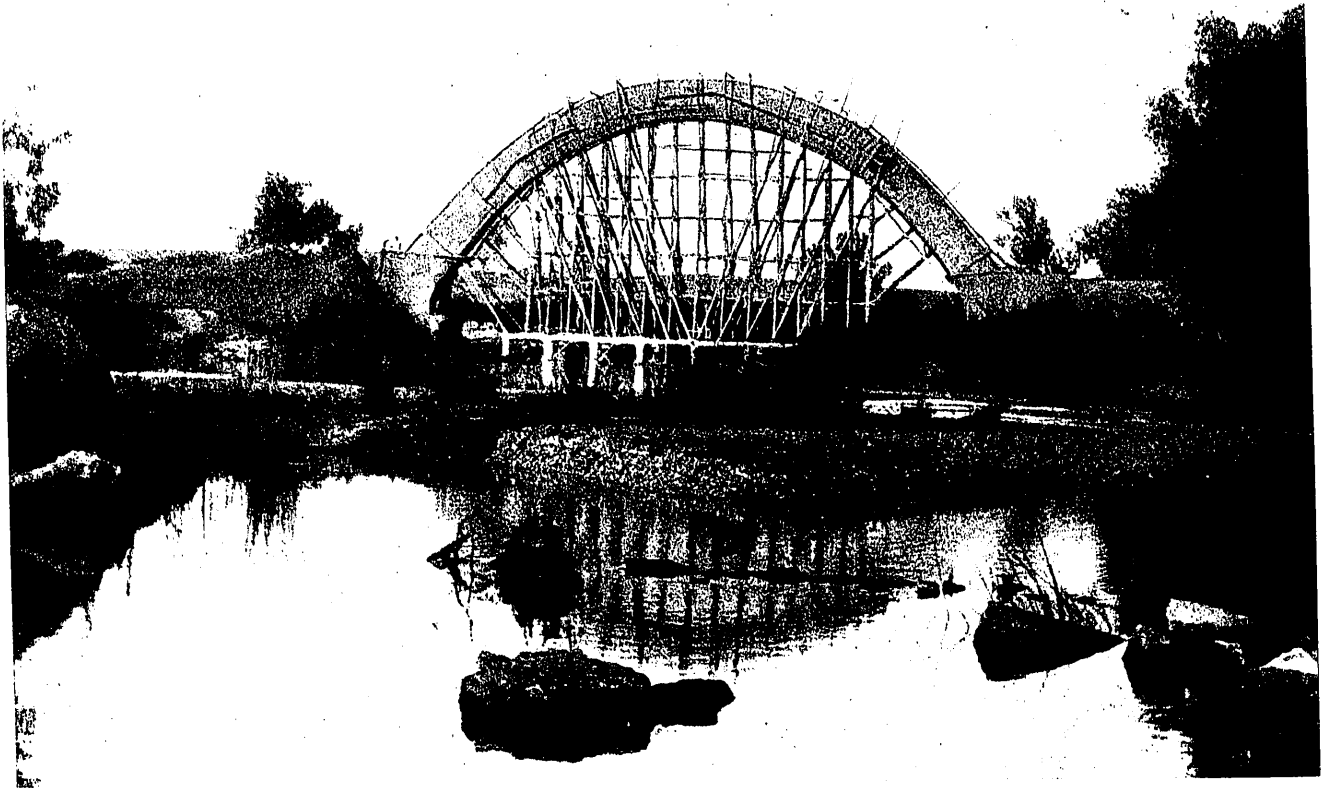


Fig. 8.ª: Arco del Majacete sobre su cimbra.

gente colaboración que me prestaran en la vigilancia de las obras, el entonces auxiliar y hoy ingeniero director de aquéllas D. Enrique Godel, y en la ejecución de las mismas el destajista D. Manuel Távora,

cos, a los ingenieros entonces a mis órdenes D. Luis Sánchez Guerra y D. Ramón Serret.

Pedro M. GONZÁLEZ QUIJANO
ex director del pantano del Guadalcañi.

Algunos datos y observaciones prácticas acerca de los adoquinados

Es de actualidad el problema de los adoquinados. Las más importantes poblaciones de España renuevan sus pavimentos o se disponen a ello, y las travesías y carreteras radiales de los centros de intenso tráfico se orientan hacia la sustitución del afirmado por más resistentes y perfectas superficies de rodadura.

Entre todas ellas, comprendidas las modernas calzadas de hormigón, los adoquinados son los mejores pavimentos que pueden construirse para la circulación general, desde todos los puntos de vista, excepto el económico de primer establecimiento. Claro es que precisa se dispongan en armonía con las necesidades del tránsito moderno, caracterizado por los grandes pesos y las grandes velocidades. Su empleo,

exclusivamente urbano hace poco tiempo, se generaliza y conviene a las vías que rehuyan la frecuente reparación.

Con piedras duras, bien cimentadas y concertadas, los adoquinados igualan o superan a todos los otros pavimentos en los siguientes aspectos:

Resistencia a la deformación permanente, suavidad de la rodadura, resbalamiento, grandes cargas unitarias, continuidad, limpieza, higiene, estética y conservación barata, cómoda y fácil.

En los adoquinados debe estudiarse la clase de piedra y la constitución y forma del pavimento, en relación con el subsuelo, el tránsito y las conveniencias o disponibilidades económicas.