

# CAPÍTULO X

---

## SIFONES DE HORMIGON ARMADO

### § I.—Generalidades.

Su historia.—Soluciones modernas.—Accesorios de los sifones.—Sus espesores.—Dosificación.—Impermeabilidad.—Tubos fabricados o centrifugados.—Sus camas y juntas.—Puentes portasifones.—Puentes de tubos.

### § II.—Ejemplos de sifones.

Sifón del Sosa y Ribabona.—Sifón de Albelda.—Sifones del Guadalete.—Acueducto-sifón de Ríofrío.—Puente-tubo de Rocacrespa.—Sifón del Flumen.—Sifones del Salento.

### § III.—Conclusiones.

Tubos aislados o continuos.—Impermeabilidad.—Presiones aplicables al H. A.—Influencia de las pendientes.—Comparación entre acueductos y sifones.—Resumen.

### § I.—GENERALIDADES

**Su historia.**—Los árabes, que tan inteligentes aplicaciones dieron a los canales de riego en Andalucía y Levante, fueron los primeros que, para evitar costosos acueductos para sus canales, imaginaron los sifones de fábrica para atravesar con ellos las barrancas profundas.

Son vasos comunicantes, que construían generalmente de ladrillo; se conservan su mayor número, y nuestros labradores, y después

los ingenieros, aplican los sifones de una manera constante cuando con las carreteras o ferrocarriles cortan canales de riego (1).

**Soluciones modernas.**—Hoy suele ser más económico substituir los pequeños sifones de fábrica por tuberías forzadas de hormigón moldeado la mayor parte de las veces, ya que sus presiones no suelen exceder de 4 a 6 m. de carga.

Pero cuando con un canal de riego, de abastecimiento o de salto de agua (2) hay que atravesar grandes valles o barrancadas profundas, si se quieren evitar los acueductos, que suelen ser más costosos, hay que recurrir al empleo de sifones con tuberías forzadas, cuyas presiones exigen a su vez tubos de H. A. o de hierro (fig. 313 - A).

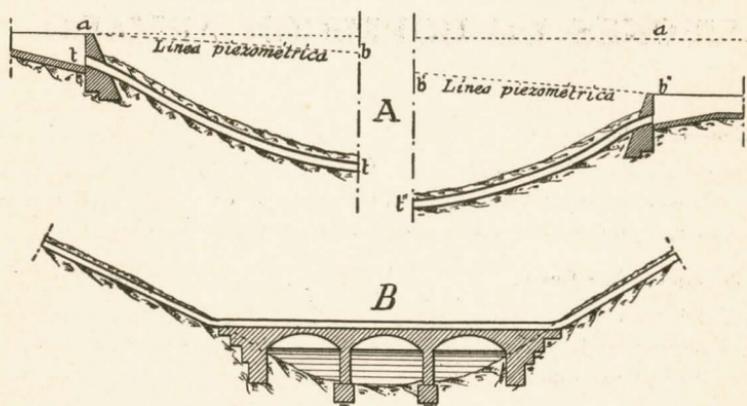


Fig. 313.

Empiezan y desembocan estos sifones en unas cámaras de fábrica *a* y *b''*; los tubos, que conviene enterrar, para substraerlos a los efectos de la temperatura exterior, siguen en lo posible las inflexiones del valle.

Cuando el sifón tiene que atravesar un río, se colocan los tubos sobre un puente portasisifón (fig. 313 - B).

Asimismo, si no se quieren someter las tuberías sino a una deter-

(1) En el tomo I, pág. 225, ya nos ocupamos de estas pequeñas obras.

(2) Para canales de navegación, las depresiones de terreno obligan a establecer *esclusas*, cuyo estudio forma parte de la clase de *Canales*, por lo que nada decimos aquí sobre estas obras.

minada presión, se construyen *puentes portasifones*, cuyas *rasantes* coinciden con la *línea piezométrica* correspondiente a dicha presión máxima, y sobre esas obras se apoyan los tubos.

**Elementos accesorios.**—Las cámaras de entrada y salida se construyen con muros y soleras corrientes, abocinándolos con el mayor volumen posible, para que haya siempre una gran masa de agua que sirva de volante a su absorción por el tubo y evite que en ésta entre el aire, determinando posibles golpes de ariete; en la cámara de salida no precisa tan gran abocinamiento.

En las cámaras de entrada deben disponerse *compuertas* de tubos que puedan cerrar la entrada del agua en ellos; *aliviaderos* por los que se viertan las aguas sobrantes, y *compuertas* y *llaves de fondo*, para poder vaciar la cámara de entrada; por último, en las zonas más bajas de los sifones (puede haber varias, cuando se atraviesan hondonadas sucesivas), se disponen *llaves de descarga*, de los tipos corrientes para tuberías metálicas, con sus correspondientes *caños* o *tajeas de desagüe*.

**Tuberías de H. A.** (1).—Aunque hasta 10 metros de presión podría prescindirse de armaduras en los tubos, conviene armarlos ligeramente en toda su longitud, para que soporten los golpes de ariete que puedan producirse a pesar de todas las precauciones.

Hay muchos tipos de tubos, algunos patentados, pero cuyos privilegios caducaron ya.

**Sus armaduras.**—La disposición de armaduras corrientes es con aceros redondos: *las directrices* de 7 a 10 cm. de distancia y con secciones variables con las presiones; *las generatrices*, que son sólo de arriostamiento durante el moldeo y de distribución de las

---

(1) Los estudiamos aquí (aunque parezca a primera vista más propio su estudio del curso de canales), porque un proyecto de las obras de fábrica de una vía hidráulica lleva consigo la comparación de los acueductos propiamente dichos con los sifones o puentes-sifones; en todo caso, siempre servirá para completar lo que sobre estas tuberías se exponga en el curso de canales, y perdónenos su distinguido profesor si con ello invadimos su campo por mor de los detalles que mi experiencia personal en esta materia me permite añadir a lo ya conocido por todos los Ingenieros.

presiones interiores durante su explotación, suelen ser redondos que se disponen a distancia de 10 a 15 cm.; ambas armaduras se enlazan con el alambre indispensable para la sujeción durante el apisonado.

El ingeniero francés M. Bonna, que desde hace treinta años se dedicaba a esta especialidad, empleaba aceros en T para las directrices e intercalaba además dentro del hormigón una camisa de chapas de palastro, pegadas con soldadura autógena, para asegurar su impermeabilidad (1).

El cálculo de estas armaduras no puede ser más sencillo, pues se determinan sus secciones con la fórmula empleada para las calderas:

$$F = \frac{1}{2} p D$$

En la que  $p$  es la presión por unidad superficial,  $D$  el diámetro interior y  $F$  el esfuerzo en las directrices.

Admitiendo un trabajo para el acero de 8 kg/mm<sup>2</sup>, se distribuye la tensión por 1 m. en 12 a 14 barras, pero no más.

Para las armaduras longitudinales, o de generatrices, se suele adoptar una sección total que sea la mitad de las directrices circulares.

Para no variar de una manera continua las armaduras, se dividen los tubos en varios tipos para presiones de 5 en 5 metros a lo sumo, de 10 en 10 metros muchas veces.

**Sus espesores.**—Como el hormigón de estos tubos sólo tiene por objeto aprisionar la armadura y obtener la impermeabilidad, los espesores que se les da son los que prácticamente convengan para que los hierros estén perfectamente recubiertos y que sean suficientes para un fácil y seguro moldeo y para resistir el terraplén con que se les debe recubrir, para substraerlos a los efectos de la temperatura.

Los espesores dependen también de sus diámetros, de las dosificaciones de la mezcla y del tamaño de las gravillas que se empleen o de que se disponga.

(1) Ya daremos nuestra opinión sobre este sistema al describir más adelante los sifones del Sosa y de Albelda.

Se emplea con frecuencia la fórmula empírica preconizada por Espítalier (1):

$$e = 3 (D + 0,70),$$

en la que  $e$  es el espesor en centímetros y  $D$  el diámetro en metros.

**Dosificaciones.**—La más general es la de 350 kgs. de cemento por  $m^3$  de hormigón, que debe aumentarse a 400 kgs. desde 25 m. de presión en adelante.

El cemento, arena y gravillas deben reunir las condiciones generales del H. A. (2).

Algunos constructores prescinden de la gravilla y emplean sólo arenas más o menos elegidas, para facilitar el moldeo, con morteros casi flúidos de 300 a 400 kgs. de portland por  $m^3$  de arena; el autor prefiere la adición de gravilla, que aumenta la impermeabilidad y resistencia y atenúa las contracciones por el fraguado y el frío.

**Impermeabilidad.**—La que se persigue no es la absoluta, pues sería casi imposible de evitar exudaciones, sobre todo en los primeros meses de servicio; se obtiene la suficiente en la práctica con un buen enlucido interior de mortero de portland de 400 a 500 kgs. por  $m^3$  de arena, según las presiones; no conviene que éste enlucido sea muy grueso, pues se contrae y despega fácilmente en cuanto excede de 10 mm. de grueso; basta con 2 a 5 mm., pero bien fratasados con una paleta encorvada.

Al cabo de muy pocos meses las partículas sólidas que siempre contiene el agua colmatan la porosidad que pueda quedar en los tubos.

En los tubos de diámetro inferior a 0,75 m. el enlucido es difícil de aplicar de una manera eficaz, por lo que es necesario entonces aumentar la dosificación del hormigón del tubo a 400 y 450 kgs. de cemento.

---

(1) *Cours de béton armé*, libro I, pág. 303. Editado por l'Ecole Spéciale de Travaux publics, 1925.

(2) Véase apéndice núm. 2 del tomo I. *Condiciones facultativas generales* aplicables a todas las obras de H. A.

**Tubos en moldes o centrifugados.**—Para diámetros hasta 0,80 m., se fabrican hoy en talleres instalados *ad hoc*.

La mayor parte se fabrican con dobles moldes verticales de palastro, de 1 a 3 m. de altura, entre cuyas paredes se vierte y se apisona la mezcla húmeda, pastosa o flúida del hormigón que se emplee.

En estos últimos años se han establecido en España fábricas que *centrifugan* el mortero dentro de unos moldes metálicos y horizontales; el procedimiento es original, se obtienen tubos perfectamente calibrados y de mayor impermeabilidad que los fabricados en moldes verticales.

**Sus camas y juntas.**—Conviene que estos tubos se apoyen sobre camas de hormigón pobre de unos 180 kgs., continuas o en piezas aisladas.

El autor las prefiere continuas y con la forma que se representa en los ejemplos que luego describiremos.

Respecto a las juntas, las opiniones están divididas.

Para diámetros inferiores a 0,80 m. y presiones inferiores a 25 m., no hay ningún inconveniente en fabricar los tubos en taller y colocarlos sobre camas, empalmarlos con anillos de H. A., rejuntándolos con mortero rico o mezclas asfálticas más o menos perennes y eficaces.

A partir de 0,80 m. de diámetro es preferible fabricar *in-situ* y se pueden construir los tubos en piezas de 2 a 4 m. o ejecutarlos sin juntas.

Como las juntas constituyen una dificultad y un peligro de grandes fugas (no de rotura de la tubería), el autor, después de la experiencia obtenida en los sifones del Sosa y de Albelda, que luego describiremos, se pronuncia por la tubería continua sin juntas, mientras no se invente una junta económica y segura.

**Puentes porta-sifones.**—Nada de particular ofrecen estas obras, que son unos acueductos que, en lugar de tener un cajero, soportan sobre su plataforma el peso de los tubos del sifón.

Pueden ejecutarse de hormigón en masa, como el del río Sosa, que describiremos luego, y como proyectamos para el Canal del Taivilla (fig. 314).

Estas secciones corresponden a un puente sobre el río Argos,

con arcos de 30 m. de luz, rebajados al  $1/6$ , y armaduras rígidas de nuestro tipo.

Pueden también construirse con tramos rectos de H. A. y palizadas, iguales a los acueductos antes descritos, sujetándose los tubos sobre el tablero.

Ofrecen todos un inconveniente, que también es propio de los acueductos, pero más importante en estos puentes: el de que durante las crudezas del invierno que contraen todas las fábricas y más visiblemente los hormigones (en los que se integran y localizan estas contracciones en unas grietas arbitrarias), se producen fugas de alguna importancia; pueden éstas atenuarse con reparaciones, pero suelen reproducirse y no hay más remedio que soportarlas.

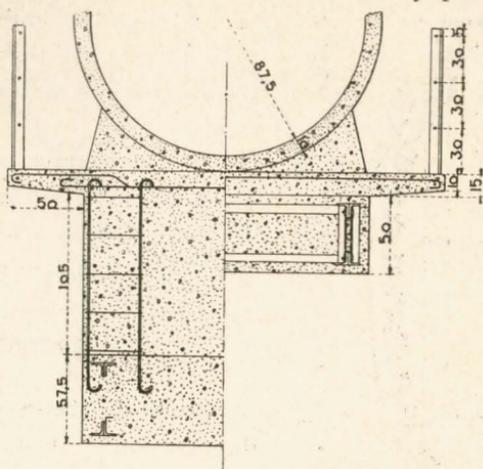


Fig. 314.—Puente porta-sifón para el canal de Taivilla.

**Puentes de tubos.**—Nuestro distinguido compañero D. Pedro González Quijano ha aprovechado la resistencia de los tubos a la

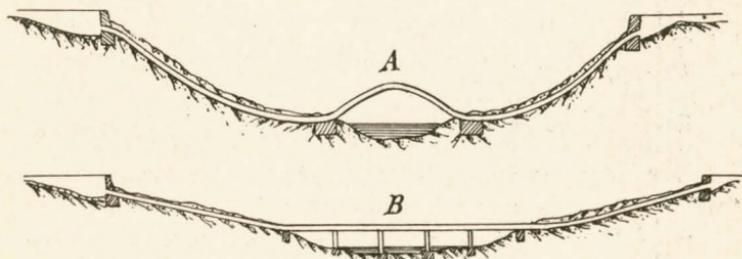


Fig. 315.

compresión en el sentido de su eje, para utilizarlos como arcos, constituyendo con ellos el propio puente (fig. 315 - A).

Pero también hemos visto en el capítulo anterior que puede utilizarse la resistencia de los tubos de hormigón armado a la flexión

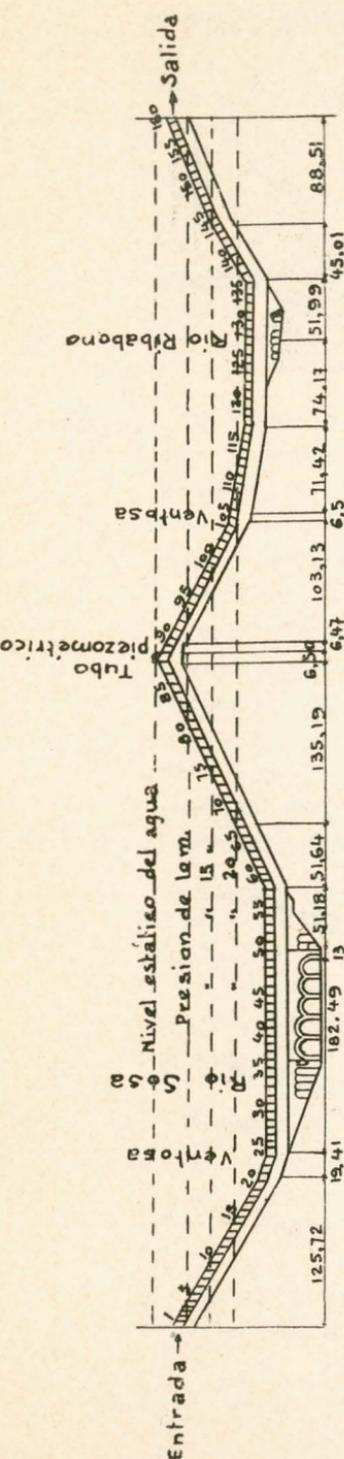


Fig. 316.—Perfil longitudinal de los sifones del Sosa y Ribabona.

para constituir con ellos sus propios tramos rectos sustentadores (fig. 315 B). Lo mismo pueden servir de acueductos que de puentes para sifones. Con ambas soluciones, sobre todo con esta última, que permite el empleo de pequeños tramos, pueden atravesarse muchos ríos con obras económicas.

Describiremos algunos ejemplos de todos estos tipos de sifones y puentes, clasificándolos por orden de antigüedad, ya que todos ellos son tan interesantes como originales.

## § II.—EJEMPLOS DE SIFONES

**Sifón del Sosa y Ribabona**, para el Canal de Aragón y Cataluña, próximo a Monzón (Huesca). Ingenieros, director y encargado: Don Rogelio Inchaurreandieta y D. Rafael López Sandino.

Se anunció el concurso de proyectos y ejecución en 1903. Se trataba de una obra excepcional por sus dimensiones e importancia; dos tubos de 3,80 m. de diámetro interior y 1.018 m. de longitud, para 35 m<sup>3</sup> por segundo, sometidos a presiones de 28 m. en el puente-sifón del río Sosa, construido con hormigón en masa por aquellos ingenieros del Estado.

El sifón del Sosa constituía la clave de todo el Canal, en el que habían ya invertido 30 millones de pesetas, y cuyos riegos iban a transformar y enriquecer a dos provincias.

Se admitían en competencia las tuberías de hierro y las de H. A., aunque no existían ejemplos de que se hubiese aplicado el entonces nuevo material a longitudes, diámetros y presiones, ni semejantes siquiera.

Los ingenieros del Canal y la Dirección de Obras públicas dieron la preferencia al proyec-

Sandino, y el del río Ribabona sobre un grupo de pontones de 4 m. En la divisoria de ambos ríos proyectamos unos tubos piezométricos que actuasen como ventosas.

Los tubos se empalmaron por juntas de H. A. y mástic asfálti-

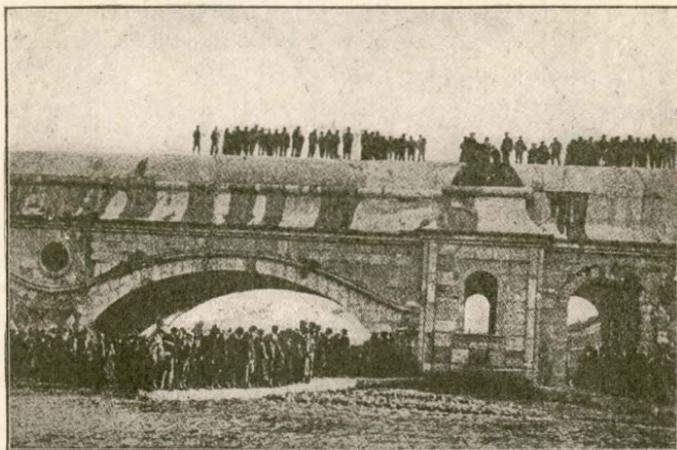


Fig. 319.—Inauguración del sifón por el Rey y el Ministro de Fomento D. Rafael Gasset.

co (fig. 326), del sistema Bonna, antes citado, que por entonces nos parecían ofrecer mayores garantías. Las barras directrices de resistencia eran hierros T con secciones crecientes de 5 en 5 metros de presión.

La impermeabilidad se confiaba a una camisa interior de palastro, cuyas chapas debían soldarse autógenamente, evitando su oxidación con otra camisa de mortero rico, también armado, de 22 mm. de grueso.

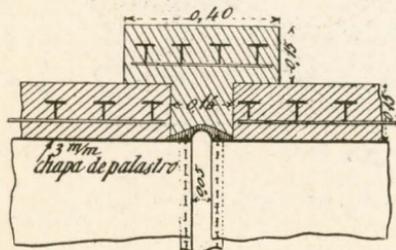


Fig. 320.—Junta de los trozos de tubo.

La soldadura de estas chapas, que por tener sólo 3 mm. de grueso se ovalizaban por el propio peso de los tubos, abriéndose numerosas

juntas, nos produjeron enormes dificultades, que hubimos de resolver gracias al apoyo de los Ingenieros inspectores Sres. Inchaurreandieta y Sandino, que nos permitieron substituir la soldadura por el



Fig. 321.—Construcción del sifón del Sosa, y Ribabona.

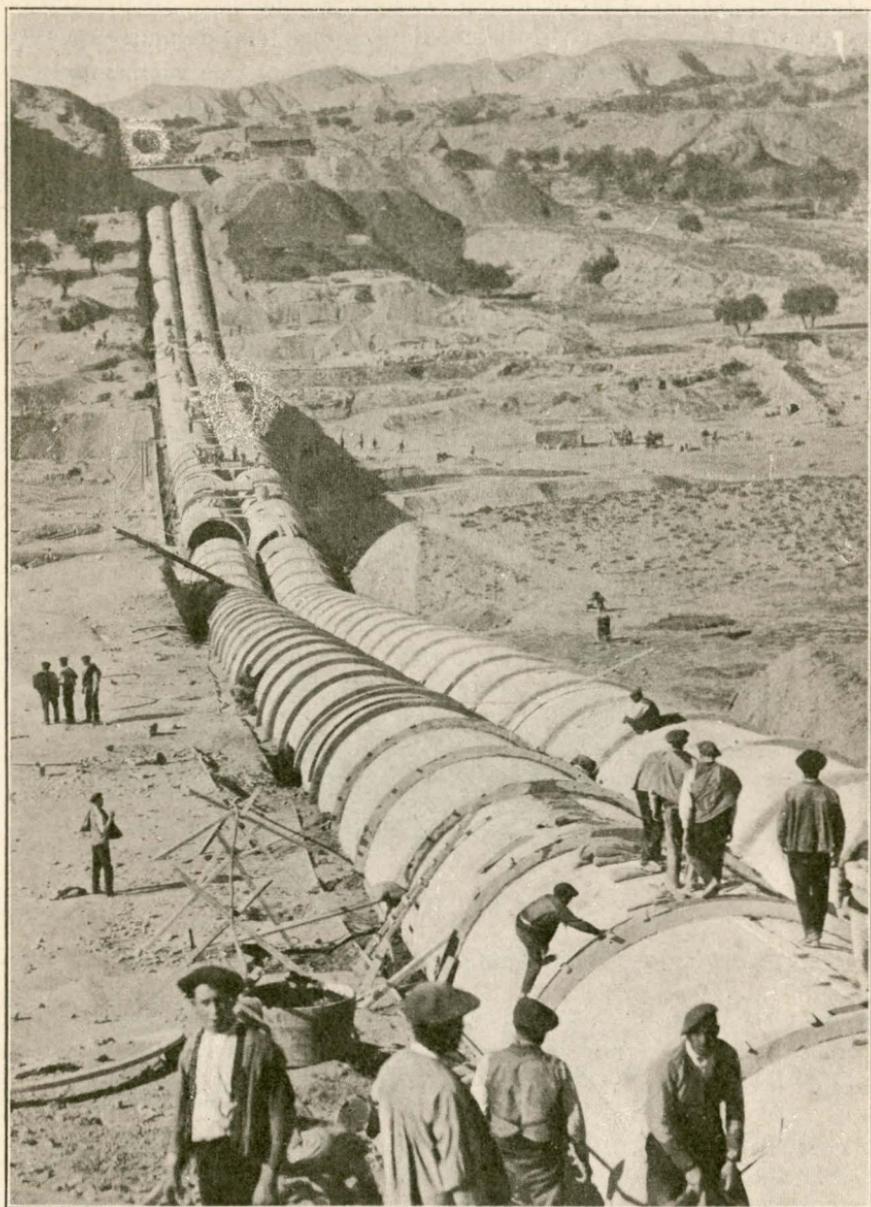


Fig. 321.—Construcción del sifón del Sosa, y Ribabona.

roblonado (1). A pesar de la supresión de la soldadura, las pruebas de este sifón por el Rey y el Ministro de Fomento, el 3 de marzo de 1906 (figura 308), sólo acusaron pequeñas filtraciones en algunas juntas sobre el puente del Sosa, y desde entonces presta servicio constante y satisfactorio.

La figura 321 da idea de las proporciones de esa obra, que en aquella época produjo gran expectación.

### Sifón de Albelda, para el Canal de Aragón y Cataluña.

El éxito del sifón del Sosa hizo indiscutible la adopción del H. A.

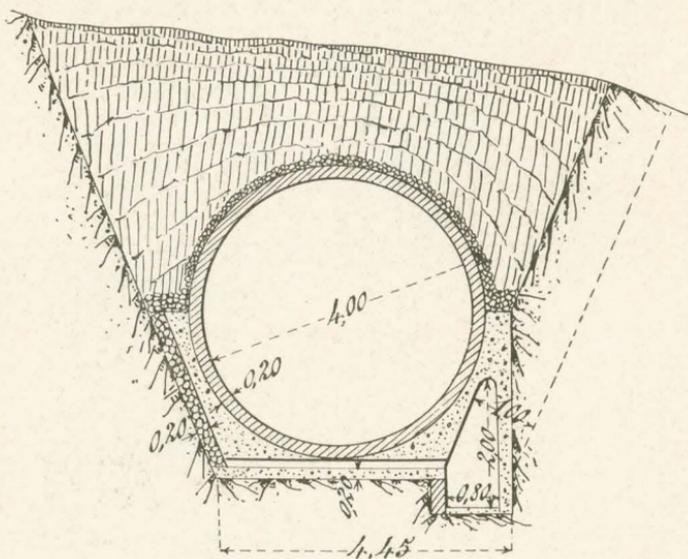


Fig. 322.—Sección del sifón del Albelda.

para otro sifón del mismo canal, que en una de sus principales acequias tenía que conducir  $18 \text{ m}^3$  por segundo a través de un valle extenso de 720 m. de anchura, con 30 m. de presión máxima.

(1) Las múltiples incidencias y dificultades de la construcción se resumen en un artículo de D. Mariano Lujá, ingeniero de la Sociedad J. Eugenio Ribera y Cía., que dirigió la mayor parte de aquellas obras (excepcionales por su importancia y velocidad de construcción) en un artículo de la *Revista de Obras Públicas* del 1.º de marzo de 1906, y con más detalle, siete artículos del mismo año y *Revista*, escritos por el citado Ingeniero, y otro artículo del autor de *Ingeniería y Construcción*, de noviembre de 1930.

En el Concurso de Proyectos y ejecución que se anunció a tal efecto, también la Dirección de Obras públicas eligió la proposición de la Sociedad J. Eugenio Ribera y Compañía, que ejecutó las obras sin el menor contratiempo con arreglo a su proyecto (figuras 322 a 324).

Aleccionados por las dificultades que hubimos de vencer muy

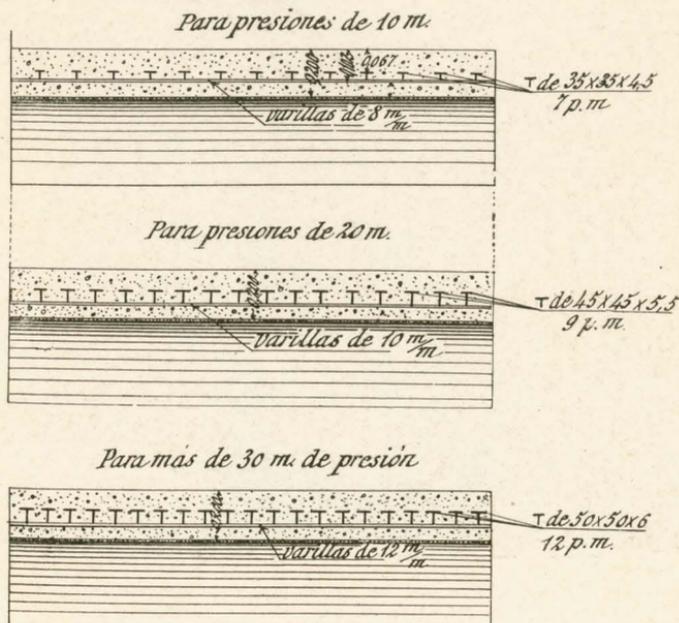


Fig. 323.—Armaduras del sifón de Albelda.

costosamente con los tubos sistema Bonna del sifón del Sosa, simplificamos radicalmente el de Albelda.

Suprimimos por inútil para la impermeabilidad la chapa intermedia de palastro y la camisa interior de mortero armado, substituyéndola por un simple enlucido interior de mortero  $1 \times 3$ .

Pero además, y esta fué la más radical modificación, *suprimimos todas las juntas, construyendo el tubo continuo*, porque aquellas tan decantadas juntas Bonna, costosas y delicadas, nos dieron algunas fugas, que se reproducen de cuando en cuando en la zona del puente-sifón.

Como se observa en la figura 322, habíamos previsto una galería de

drenaje a lo largo de todo el tubo; pues bien, a pesar de que el diámetro de 4 m. de este sifón es superior en 0,20 m. a los tubos del Sosa, que la presión alcanza 30 m. y de la substitución de las dos camisas impermeables de aquel sifón por un simple enlucido de port-

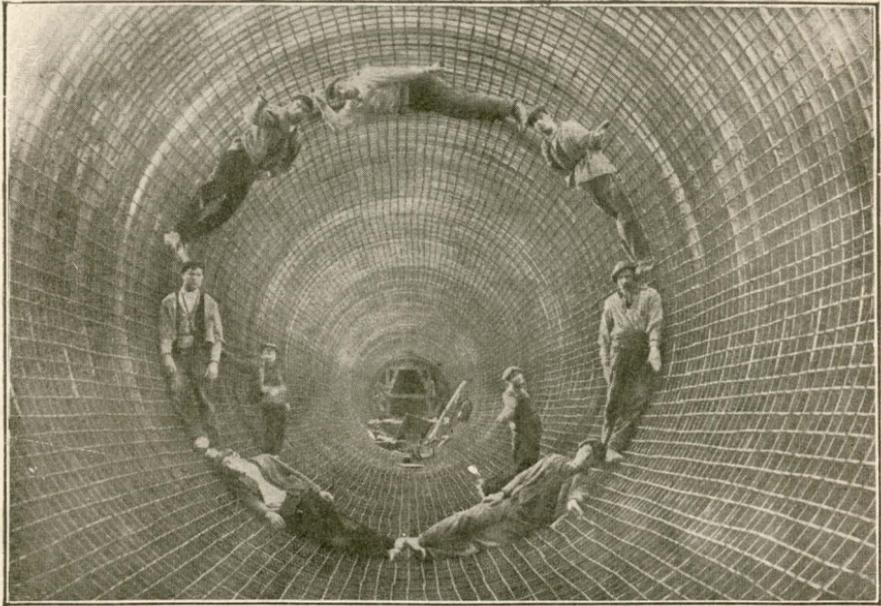


Fig. 324.—Interior del sifón de Albelda.

land, desde hace veintidós años que funciona el sifón de Albelda, no se han observado en su tubo continuo, ni grietas de contracción, ni siquiera filtraciones, que se hubieran acusado en la tajea de desagüe establecida en el punto bajo de la galería de drenaje (1).

**Sifón del Guadalete.**—El año 1922 se construyeron para el canal del Guadalcaín dos sifones invertidos iguales y sucesivos (fig. 325) sobre los ríos Guadalete y Majaceite, con las siguientes características:

(1) Las obras de este sifón fueron también dirigidas por D. M. Luján, ingeniero de la Sociedad Constructora J. Eugenio Ribera y Cía. En el número de 20 de abril de 1910 de la *Revista de Obras Públicas* publicó el autor algunos detalles de su ejecución y de la cámara de descarga.

Luz entre estribos de la curva directriz del arco, 40 m.; flecha del mismo, 18 m.

Espesores del tubo, 40 cm. en arcos y 18 cm. en la clave.

El autor del proyecto (1) dió a la curva directriz la forma pre-

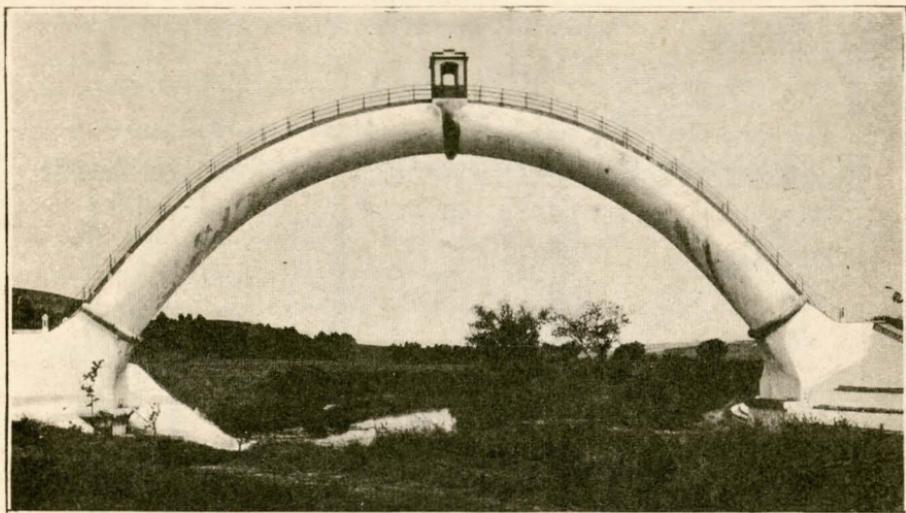


Fig. 325.—Sifón del Guadalete (Cádiz).

cisa para poder resistir las cargas normales del peso propio y del agua.

Es una disposición que, aunque se ha aplicado en algunos casos con tubos metálicos, ofrece la originalidad de utilizar el hormigón, que no trabaja en los sifones, para resistir a las compresiones de los arcos portadores del agua.

**Acueducto-sifón de Riofrío** (fig. 326).—Para el Salto en Villalba, la Eléctrica de Castilla (S. A.) necesitó atravesar, con un canal de  $10 \text{ m}^3$  por segundo, la profunda barrancada de Riofrío, con la servidumbre forzosa de flotación, para que por el canal pudieran seguir transportándose las maderas explotadas en el valle.

(1) Proyecto y dirección de las obras por el ingeniero jefe y académico de Ciencias A. Pedro González Quijano, que publicó un muy interesante artículo sobre esta obra en la *Revista de Obras Públicas*, año 1923, pág. 231. Colaboraron en estas obras los ingenieros Sres. Goded, Sánchez Guerra y Serret, y el constructor Sr. Távora.

Entre las muy diversas y originales soluciones estudiadas (1) se adoptó la de un puente porta-sifón de fábrica, sosteniendo un acueducto metálico para el canalillo de flotación.

La plataforma del puente tiene un ancho de 6,00; sobre ella se apoyan *los dos tubos metálicos* del sifón, de 1,90 m. de diámetro.

Sobre las pilas-estribos del puente se apoyan a su vez las pilas

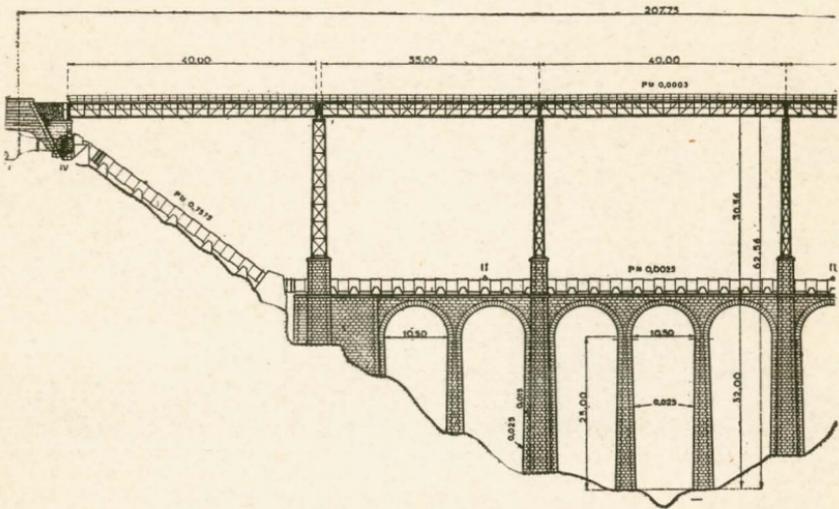


Fig. 326.—Sifón acueducto de Riofrío.

metálicas del canalillo de flotación, que es un cajero de palastro de 1,50 de ancho por 0,90 m. de altura, que empalma con las cámaras de fábrica de llegada y salida del acueducto, por medio de juntas metálicas de fuelle, que permiten su libre dilatación, con independencia del puente en que se apoyan.

Los tramos metálicos que soportan el canal, con vigas tipo Pratt, son dos tramos extremos e independientes de 40 m. y una parte central continua de tres tramos de 35 m. los dos extremos y 40 m. el central.

Se había pensado en soluciones de H. A. para toda la construcción, que creemos podían ser más económicas; pero las nieves y heladas

(1) Que se detallan en un documentado artículo de *Ingeniería y Construcción* de Enero de 1927, redactado por el ingeniero D. Carlos Botín. La construcción, rapidísima, que ofreció especiales dificultades, honra a la casa E. Grasset, que la realizó.

das persistentes de aquella alta región hubieran retrasado la obra, que siendo metálica en gran parte, permitió su fabricación en talleres y un rápido montaje en obra.

**Puente-sifón de Rocacrespa, sobre el río Foix** (fig. 327).—Para pasar el cauce de este río, el ingeniero jefe D. Enrique G. Granda utilizó la tubería del sifón de 0,70 m. de diámetro de H. A., con paredes de 6 cm., para salvar cinco tramos de 10 m. de longitud de eje a eje, con carga piezométrica de 15 m. y una longitud total del sifón de 150 metros (1).

Cuando convenga establecer una pasadera de servicio para el canal, utilizable a la vez por el público, basta moldear sobre la tubería una ligera losa armada, sostenida en sus bordes por mensulillas.

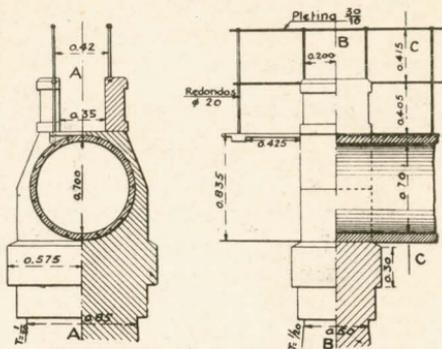


Fig. 327.—Puente-sifón de Rocacrespa.

**Sifón sobre la Acequia del Flumen**, para la Confederación Hidrográfica del Ebro (fig. 328).—*Características:*

Longitud .....	1.600 metros.
Diámetro del tubo (interior).....	2,60 —
Caudal .....	8,00 m <sup>3</sup> /sg.
Velocidad del agua.....	1,66 m/sg.
Carga piezométrica máxima.....	15,00 metros.

Este sifón, importante por su longitud y diámetro, atraviesa el río Flumen con los tubos formando puente, con tramos rectos de 15 m. de eje a eje de apoyo.

La flexión de los tubos cargados de agua, a razón de 5.309 kilogramos por metro lineal, está resistida por las cuarenta y cinco barras redondas y de 26 mm. que *longitudinalmente* se distribuyen en el centro del hormigón; resulta muchísimo más económico añadir esas

(1) Detalles y cálculo de estos tubos, en la *Revista de Obras Públicas* de 1928, pág. 145. *Acueductos sifones*, por D. Enrique G. Granda.

barras, que pesan 188 kgs. por metro lineal, que cualquier tipo de tramo recto o arco.

Sobre las pilas se han dispuesto rodillos de acero y en los extremos del sifón juntas de dilatación de cobre para contrarrestar los efectos de la temperatura.

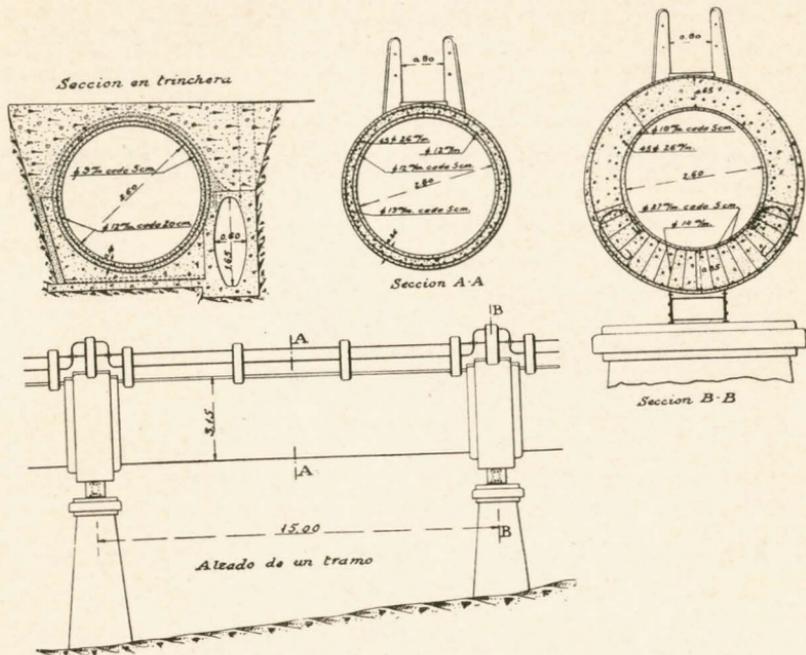


Fig. 329.—Sifón del Flumen.

Fuera del río, el tubo va en trinchera y se apoya sobre una cama de hormigón pobre, que lleva al costado una tajea longitudinal de drenaje; el terraplén que recubre el estribo lo substraee, casi en absoluto, a las dilataciones y contracciones de cambios de temperatura.

**Gran sifón del Salento** (1).—Está constituido por un sifón principal de 39 kilómetros con tubería de H. A., del que arrancan otros sifones secundarios, algunos de ellos de 31 y 33 km.

(1) Corresponde al llamado Acueducto Pugliese, en el Sur de Italia, el más largo del mundo, pues mide 244 kilómetros de canal y 1.600 kilómetros de tubería, para un gasto de  $5,5 \text{ m}^3$ , y varios túneles de 5 a 6 kilómetros, atravesando el extremo sur de la cordillera de los Apeninos. (Detalles, en *Engineering* de julio a diciembre de 1928.)

Los tubos del sifón principal son de H. A. en toda su longitud, con diámetros variables entre 0,70 y 1 m., y presiones máximas de 40 m.

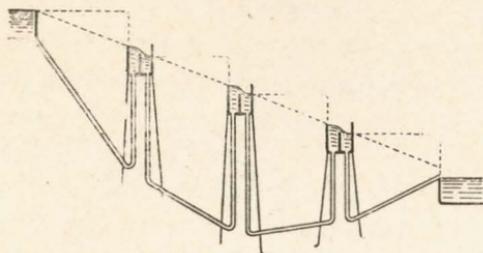


Fig. 329.

En los ramales secundarios, aunque dominando los tubos de H. A., con presiones que alcanzan 55 m., se han colocado en algunas secciones tubos de fundición o

*eternit* (que en España llamamos *uralita*).

Para subdividir tan colosales longitudes de sifón, y sobre todo para evitar los golpes de ariete en todas las bifurcaciones de sifones, que suelen coincidir con puntos altos del terreno, se han elevado unas torres de H. A. con un depósito a la altura de la línea de carga piezométrica, dividida por un tabique en dos compartimientos. Cuando el agua alcanza en el compartimiento de llegada el borde del tabique divisorio, vierte en el segundo compartimiento y llena el sifón siguiente.

En los extremos del canal se disponen grandes depósitos que sirven de volantes reguladores del consumo (fig. 329).

Los tubos de H. A. se han fabricado todos en taller y se apoyan en sus juntas sobre unos dados ligeramente armados (fig. 331).

Para las juntas se han empleado dos disposiciones: en unas tuberías (como se ve en la figura anterior) son bridas de H. A.; en otras (las ejecutadas por la reputada

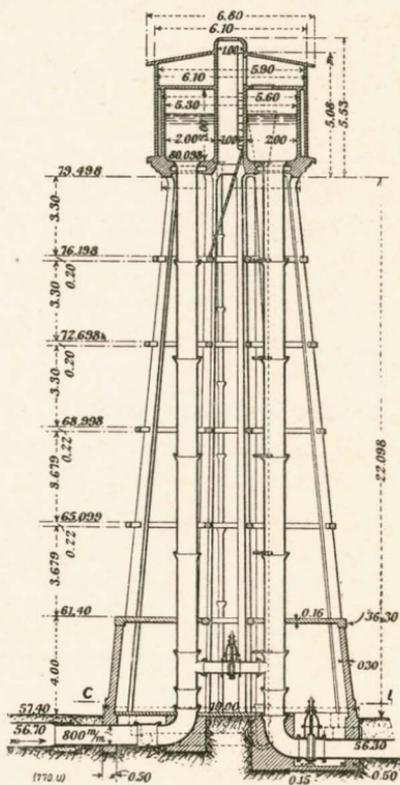


Fig. 330.—Torre piezométrica.

casa Vianini & Comp.), los tubos son de enchufe y cordón, parecidos a los corrientes de fundición, y se empalman con éstos, pero con mezclas sucesivas de cemento fibroso (suponemos que mezclado con amianto, como la uralita), plomo amartillado y filástica embreada.

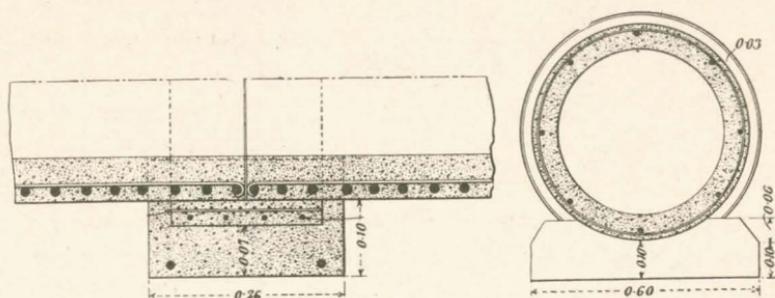


Fig. 331.

Los tubos se han calculado con unos ábacos del ingeniero señor D. Aquiles Cusani, publicados en *Giornali del Genie Civile*, 1923, fasc. IX (1).

Estas obras se han inaugurado el año 1930 y van abriéndose al servicio sucesivamente los trozos de canal a medida de su terminación.

### § III.—CONCLUSIONES

**Tubos aislados o continuos.**—Los sifones del Sosa y de Albelda, que antes describimos, continúan siendo, que sepamos, los mayores del mundo.

Representan las dos tendencias de fabricantes y constructores; de tubos con juntas, o de tubos continuos sin juntas.

(1) Detalles muy interesantes de construcción, en un libro del Ingeniero director de aquellas obras, que con el título *Il grande sifoni del Salento* se publicó en Bari en 1928.

Significo aquí mi felicitación y agradecimiento a mis distinguidos colegas el profesor Eduardo Orabona y el ingeniero Sr. Cusani, por la remisión de una prolija documentación sobre estas obras tan excepcionales, cuyos folletos entregué a la Biblioteca de la Escuela de Caminos, y que tiene el título *Ente autónomo per l'acquedotto Pugliese. Relazione al Parlamento*. Años 1924 a 1930.

La experiencia de los veinticinco años transcurridos ha fallado a favor del tubo más sencillo y sin chapas interiores y sin juntas.

De ello se infiere que siempre que por circunstancias especiales no sea indispensable fabricar los tubos en taller, será preferible construirlos *in-situ* y continuos.

**Impermeabilidad.**—Asimismo la experiencia demuestra que hasta presiones de 40 m. basta un simple enlucido interior para conseguir la impermeabilidad, siempre y cuando quede el tubo recubierto por un terraplén de 0,50 m. de altura mínima, que substraiga el hormigón a los efectos de la temperatura.

**Presiones aplicables al H. A.**—Se han construído sifones hasta 55 m. de presión, que es la admitida en el sifón del Salento, aunque suponemos que podrán alcanzarse cargas de 60 m. sin filtraciones perjudiciales.

Para mayores presiones parecen más prudentes las tuberías metálicas; pero si, como opina el autor, conviene evitar los inconvenientes de estos tubos de hierro, oxidables y de mayor sensibilidad a los cambios de temperatura, y sobre todo más caros, deben suprimirse, *construyendo ligeros puentes porta-sifones* de H. A. en la parte inferior de los valles y con rasante de tablero a 50 m. por debajo de la línea piezométrica del sifón. La economía obtenida por la supresión de los tubos metálicos con más de 50 m. de presión, suele casi siempre superar al coste del puente porta-sifón de H. A., o de puentes-tubos, o en tramos rectos, o en arco, como en los ejemplos anteriormente descritos.

Así lo hemos podido comprobar en nuestros proyectos de varios sifones del canal de Taivilla, en los que, con puentes porta-sifones de coste reducido, pudimos suprimir totalmente las tuberías metálicas, no quedando así más que sifones de H. A. con 40 m. de presión máxima.

**Influencia de las pendientes.**—Ya en el capítulo anterior llamamos la atención sobre la influencia que tienen las pendientes que se adopten para el cajero de los acueductos, en el tipo, en las luces y hasta en las disposiciones de estas obras.

No es menor su influencia en los sifones, pues la pendiente es la

que fija el diámetro de los tubos y el tipo y dimensiones de los puentes porta-sifones.

También en los sifones la velocidad del agua debe limitarse a un máximo de 2 m. por segundo, y asimismo los aumentos de pendiente reducen el nivel aprovechable del agua, ya sea para riegos, ya para energía eléctrica.

Deben, pues, fijarse los diámetros por tanteos, dentro de aquellas limitaciones, porque una economía aparente en el coste de los sifones por reducción de su diámetro puede resultar onerosa en la explotación del canal, por la correspondiente pérdida de nivel que aquélla produce.

**Comparación entre acueductos y sifones.**—Tampoco es fácil, ni intuitiva, la elección entre un acueducto y un sifón, pues hay muchos casos en que se presenta la duda, sobre todo para los ingenieros novatos en esta especialidad, cuando no a los veteranos.

Deben, pues, casi siempre tantearse unas y otras soluciones, sin olvidar que si bien los sifones para iguales velocidades del agua permiten mayores pendientes que los acueductos, en cambio aumentan las pérdidas de nivel para riegos o fuerza.

Son problemas en que la hidráulica, la construcción y la finanza deben conjuntarse y que merecen reflexivo estudio para un ingeniero consciente de sus deberes de gestor.

Sentimos que la obligada parquedad de este libro, ya demasiado extenso, nos impida extendernos sobre estos muy importantes problemas. Confiamos, sin embargo, en que nuestros lectores se percatarán de las consecuencias económicas de las anteriores observaciones.

**Resumen.**—La gran variedad y el éxito de los ejemplos que acabamos de examinar, debidos en gran parte a ingenieros españoles, evidencian, sin embargo, las ventajas de los sifones de H. A. que en muchos casos resultarán más económicos que los acueductos.