

Acueductos-sifones

En las conducciones de agua, la propiedad de los líquidos conocida en Física con el nombre de «vasos comunicantes» sirve para resolver, en la mayoría de las ocasiones, el problema de salvar una honda y prolongada depresión sin apelar a costosas obras de considerable altura de rasante, análogas a los viaductos de las vías terrestres de comunicación, adoptando sencillamente los mal llamados sifones, es decir, con acudir a la conducción forzada en sustitución de la libre o en canal.

Los romanos no habrían de seguro construído los grandes acueductos de arcos superpuestos que, con sobrada justicia, llaman nuestra atención aun hoy día, si en su tiempo se hubiera dispuesto de materiales capaces de soportar los esfuerzos de extensión a que da origen la carga hidráulica en las paredes de las tuberías; pero entonces eran desconocidas las metálicas y las de hormigón armado que vencen la expresada dificultad.

Las positivas ventajas económicas de los sifones arrastran consigo naturalmente ciertos inconvenientes de orden técnico, inherentes algunos a la misma condición del agua en presión, a veces demasiado elevada, y debidos otros, en determinados casos, a especiales circunstancias de forma del cauce, pendiente o régimen hidráulico, de la vaguada existente por lo regular en el fondo de la depresión cruzada.

A causa de los indicados inconvenientes, surge de cuando en cuando la necesidad de establecer sobre un puente la rama más baja del sifón, sin prescindir por ello de emplearlo; de igual manera que, bajo especiales condiciones, nunca dejarán de adoptarse acueductos, como, por ejemplo, si además de atravesar el talveg a escasa altura, no fuera muy ancho y tuviera corriente continua o rápida, o bien si, por el contrario, se tratara de un verdadero desfiladero, muy alto y estrecho, fácil de salvar con corto tramo de estribos perdidos, donde la cañería de un sifón ofrecería codos bruscos y presiones y desarrollo exagerados.

Entre ambos casos típicos, el de la suave y amplia ondulación del terreno en que el sifón está indicado y las circunstancias extremas, cual las señaladas, donde encaja de lleno la solución de acueducto, se comprende desde luego la multitud de situaciones intermedias en que convendrá a todas luces la obra mixta, o sea el acueducto-sifón.

Tal oportunidad se dedujo del estudio efectuado para pasar el álveo del río de Foix, que da nombre a este pantano, al proyectar el canal de la derecha, cuya capacidad de conducción había de ser de 500 litros por segundo. El calibre interior de la tubería de hormigón armado será de 0,70 m, y con paredes de 0,06 m de grueso, para no diferenciarse en nada de los restantes sifones de este canal, conviniendo apoyarla sobre un puente de cinco tramos de 10 m de luz teórica, en el cruce de la riera.

Cualquier sistema de sostenimiento del tubo entre apoyos, aun el más perfecto de viga en sección de T (que, como todos saben, es el mejor perfil en hormigón armado para la resistencia a la flexión), puede compararse con el de suprimir la pieza de sostén de

la tubería, haciendo actuar a esta misma como cu-chillo resistente.

En efecto, disponemos para dicho objeto de las varillas generatrices del cilindro anular, a modo de elementos constitutivos de la armadura primordial necesaria contra el esfuerzo de tracción del par flector, puesto que las referidas barras longitudinales únicamente sirven en las cañerías de los sifones para repartir, entre los aros directrices, las tensiones debidas a la presión interior del agua sobre las paredes del tubo de hormigón, formando en su masa una armadura genuinamente secundaria, destinada a completar la trama metálica de su esqueleto.

Las piezas en forma tubular o de sección en corona están estudiadas en el libro póstumo de nuestro malogrado compañero Sr. Zafra, publicado por el eminente Peña Boeuf, en cuya tabla VII hállanse calculados para las cuantías q más usuales los valores de dos coeficientes Ψ y Ψ' , proporcionales a las cargas respectivas del acero y del hormigón, siendo funciones de la posición correspondiente en cada caso a la fibra neutra, definida por el ángulo en el centro, a , que con el eje vertical de simetría de la sección forma el radio extremo del segmento anular del hormigón comprimido

$$\Psi' = \frac{1 - \cos a}{\operatorname{tg} a \operatorname{sen}^2 a} \quad \Psi = r \frac{1 + \cos a}{\operatorname{tg} a \operatorname{sen}^2 a}$$

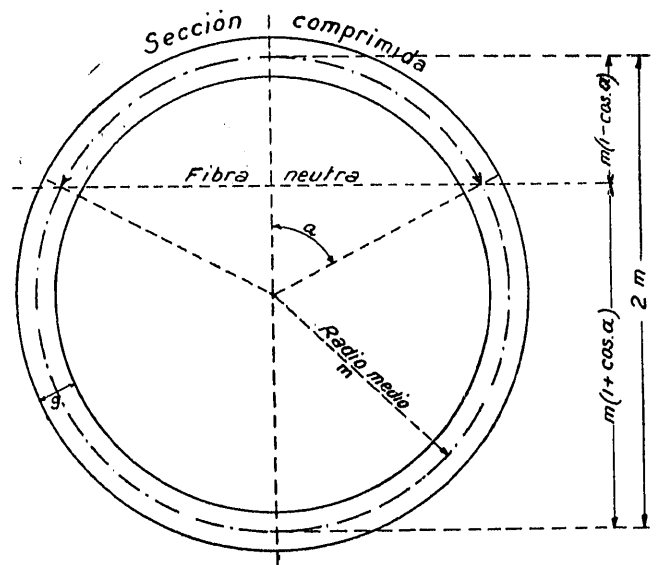


Fig. 1.ª

Los valores máximos de las citadas cargas son:
Del hormigón

$$H = \Psi' \frac{M}{gm^2}$$

Del acero

$$A = \Psi \frac{M}{gm^2}$$

En ellas representa M el máximo momento flector, g el grueso de la pared del tubo y m el radio de su circunferencia media; y como quiera que $m(1 - \cos a)$ es la profundidad de la fibra neutra respecto a dicho círculo intermedio, de igual modo que $m(1 + \cos a)$

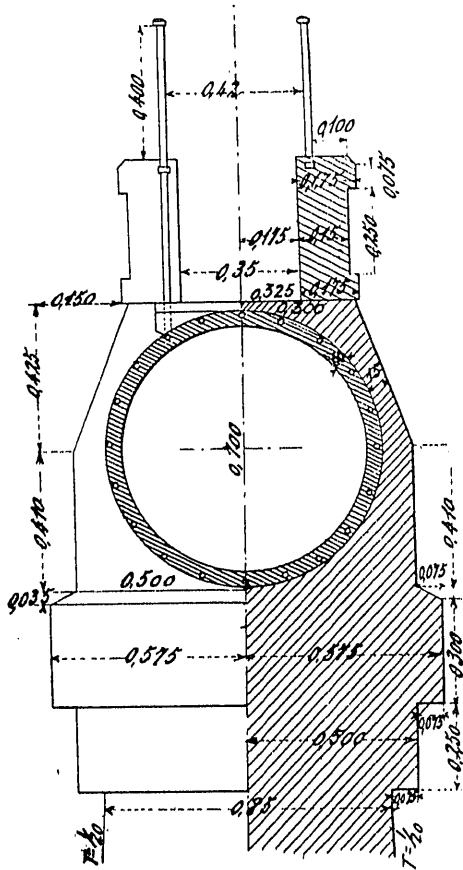
Y el momento de inercia es

$$I = \frac{2gm^3}{\Psi' + \frac{\Psi}{\gamma}} = \frac{658\,464}{0,862} = 763\,879 \text{ cm}^4$$

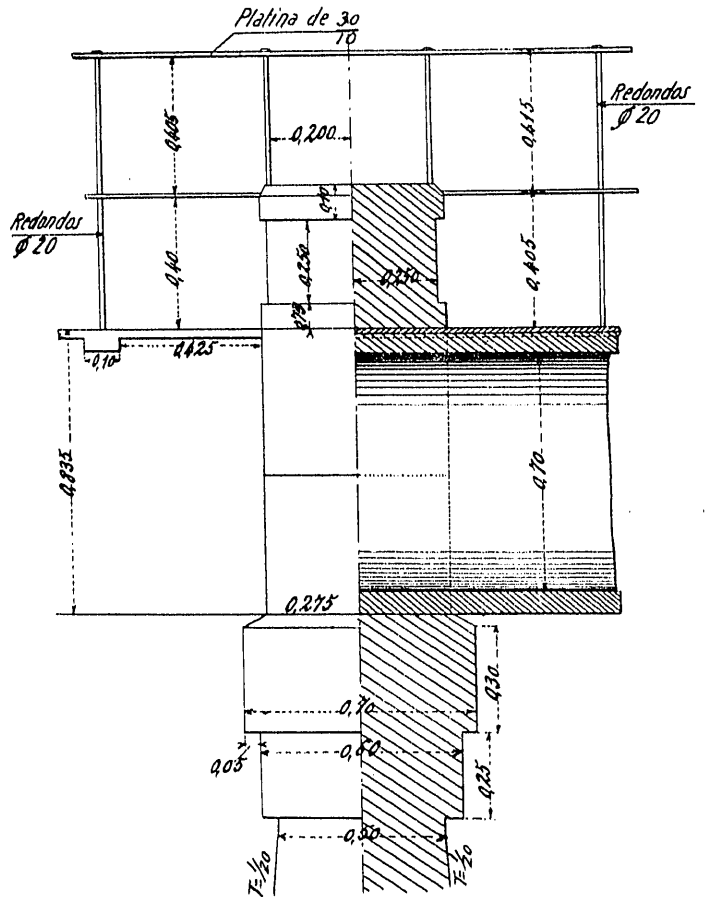
Curioso resulta observar que todos nuestros demás sifones ordinarios llevan para armadura de repartición veinte generatrices de 5 mm de grueso, en virtud del desarrollo de la pared de su tubería y como consecuencia del cálculo de la losa a que se asimila

siempre imprescindibles, fuere cualquiera el sistema de puente elegido para sostén del sifón, el cual, aun apoyado sobre el terreno, requiere camas de fábrica cada 5 m, al menos, y cimentación continua en cuna semicircular corrida.

Resta advertir que la simetría de la armadura, igualando su resistencia en todos sentidos, respecto al plano medio horizontal de la sección, evita el preocuparse de los cambios de signo del momento flector, consiguientes a la continuidad de la viga tubular, como también ahorra el estudio de los esfuerzos



Corte-proyección por el centro de un tramo Corte por el eje de una pila



Frete de una pila Corte longitudinal

Fig. 4.

entre cada dos directrices; así que el incremento de acero, por metro lineal de tubo, para la actuación de éste a modo de viga, supone un peso de

| | |
|---|--------------|
| 24 varillas de 15 mm. a 1,387 kg. por metro | = 33,288 kg. |
| 20 " de 5 mm. a 0,154 kg. " " | = 3,080 " |
| Diferencia..... | = 30,208 kg. |

y este exceso de metal origina un aumento lineal de coste que, evaluado a 1,20 pesetas el kilogramo de acero en armadura puesta en obra, equivale a 36,25 pesetas, importe verdaderamente exiguo para valor lineal atribuible al tramo de 10 m, sin contar, conforme debe hacerse, con el gasto de andamiajes,

laterales debidos a la acción del viento, por la distribución similar de las barras a entrambos lados del plano vertical que pasa por el eje de la tubería.

El pequeño espesor de sus paredes tampoco impide colocar todos los hierros a la profundidad conveniente respecto a la cara más próxima.

En vista de lo expuesto, parece evidente el acierto de la solución indicada, la más ingenieril de todas, sin género de duda.

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, de acuerdo con lo representado en los dibujos que se acompañan del acueducto-sifón de Rocacrespa.

Enrique G. GRANDA
Ingeniero de Caminos