

A-C.47/4



Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.



Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.



Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.

Handwritten text in a cursive script.







A. ca. 47/4



Nº 252
R

SIFONES

MEX

CANAL DE ISABEL II.

MEMORIA ESPECIAL POR

D. ROBERTO TECHAMBAUDITA D. JAVIER SARRI E. JOAQUIN MILLIDO

D. CASTO BLANCO Y D. FRANCISCO CEBALDO

SIFONES

MADRID:

Imprenta de D. José E. de la Peña, calle de Alcazar, núm. 44.

1858.

SIFONES

DEL

CANAL DE ISABEL II.

MEMORIA ESCRITA POR

D. ROGERIO INCHAURRANDIETA D. JAVIER SANZ, D. JOAQUIN BELLIDO,

D. CASTO OLANO, Y D. FRANCISCO CEJUDO,

alumnos de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



MADRID:

Imprenta de D. José C. de la Peña, calle de Atocha, núm. 149.

1858.

Teoría de los sifones.

Vamos á empezar dando una idea de lo que se entiende por sifones en la verdadera acepcion de esta palabra, para que al describir la construccion que nos ocupa, se note en que difieren esencialmente de ella.

Si un tubo en cuyo interior se ha hecho el vacío, se introduce por uno de sus extremos en una capacidad llena de líquido, sabemos que en virtud de la presión atmosférica este se elevará por dentro de él hasta una altura en la cual el peso de la columna líquida haga equilibrio á dicha presión, en el lugar de la observacion y en aquel instante.

Cuando el tubo fuera encorvado, y se pusiera de modo que se pudiese introducir por sus dos extremos en el líquido, suponiendo siempre que se ha hecho el vacío en su interior, es evidente que el líquido se elevará por los dos brazos, y las dos columnas líquidas se unirán en la parte superior cuando la altura de cada brazo sea menor que la que ha de tener dicho líquido para equilibrar la presión atmosférica, ó bien quedará en ambos brazos á una misma altura sin llegar á unirse, cuando estos escedan del espresado límite.

Esto sucede siendo iguales los brazos, ó una misma la superficie fluida, ó sea estando á igual altura los puntos de entrada y salida en el tubo; pero cuando así no es, y el tubo encorvado sirve de comunicacion entre dos vasos en que el nivel se halla á distinta altura, que es cuando propiamente se llama un sifon, se producirá ademas otro nuevo fenómeno, que es el movimiento del agua desde el vaso de nivel mas alto hácia el otro. En efecto, una seccion fluida cualquiera, por ejemplo la superior, se halla solicitada en cada una de sus caras por una fuerza igual á la presión atmosférica disminuida del peso de una colum-

na líquida cuyas dimensiones sean el ancho del tubo y la altura del agua en la rama adyacente, y como estos pesos no son iguales, por no serlo las ramas, la seccion que consideramos quedará solicitada por un esfuerzo resultante igual al peso de la columna líquida cuya altura es la diferencia de nivel en ambos brazos, y el agua saldrá con una velocidad correspondiente á esta altura. Como el agua que llena el tubo no puede romper su continuidad, pues que cada una de las secciones fluidas produce tras sí en su movimiento un vacío que inmediatamente debe llenar la siguiente, todo se encontrará constantemente en el mismo estado y por consiguiente habrá una continuidad en la salida, que durará hasta que la altura del nivel en los dos vasos sea la misma.

Hemos supuesto en todo lo precedente que se habia hecho el vacío en el interior del tubo; pero esto no es indispensable, porque se puede obtener el mismo efecto llenando sus ramas de antemano por la parte superior, en cuyo caso es preciso cerrar con todo cuidado el orificio que ha servido para esto antes de dejar correr el agua, pues es evidente que en cualquier instante en que se ponga el interior del sifon en comunicacion con la atmósfera, el movimiento ha de cesar y el agua descenderá por cada una de las dos ramas. Esto indica el modo de producir el movimiento y la aplicacion que esto puede tener en la conduccion de aguas, lo cual basta para nuestro objeto, porque los sifones empleados en el Canal de Isabel II, que están invertidos, ó sea con las ramas vueltas hacia arriba, difieren esencialmente de los que nos ocupan en el principio que sirve de base al movimiento.

En el primer caso la presion atmosférica representa el principal papel y como todo se halla subordinado á esta fuerza, los casos en que se podria utilizar tienen un limite correspondiente á la altura á que puede elevarse el agua en virtud de

esta presión (10,^m73 al nivel del mar); al paso que en el caso actual, los sifones se hallan en las mismas circunstancias de tubos que unen vasos comunicantes y por consiguiente solo están sujetos á las leyes generales del equilibrio de los líquidos, asi es que prescindiendo de las resistencias pasivas, establecen la igualdad del nivel entre ambas ramas, cualesquiera que sean la forma y dimensiones del tubo.

Esto se puede aplicar perfectamente para dar paso al agua por valles en que por la gran profundidad ú otras circunstancias se quiera evitar la construcción de un puente acueducto, estableciendo una série de tubos perfectamente unidos que reciban el agua por uno de sus extremos y la conduzcan al otro plegándose á las inflexiones del terreno. Como se vé, pueden obtenerse asi grandes ventajas, bajo el punto de vista económico; pero esto no es posible si no se tiene cierto desnivel que precisamente debe haber entre los puntos de entrada y salida del agua en el sifon. Esta diferencia de altura se ha de determinar por las leyes del movimiento del agua en una cañería.

Cálculo del establecimiento de los sifones.

Al tratar de establecer una construcción de este género, es preciso relacionar entre sí sus dimensiones de manera que satisfagan á la ecuacion del movimiento del agua en una cañería, que es:

$$(a)..... H=0,08264 \frac{Q^2}{D^4} + 0,002221 \frac{L}{D^5} (Q^2 + 0,0432 Q D^2),$$

en la que

H es la diferencia de nivel necesaria entre los puntos de entrada y salida del agua en la conduccion.

Q el volúmen de agua á que da paso en un segundo.

D el diámetro de los tubos,

L la longitud de la cañería.

Por medio de esta ecuacion se puede determinar cualquiera de las cuatro cantidades que contiene, dadas que sean las otras tres.

En los sifones de que tratamos especialmente, el gasto **Q** estaba determinado por la cantidad de agua que debia conducir el Canal, que son 60000 reales fontaneros ó bien 2.^{m.c.} 25336 por segundo, pero es menester notar que no conviene de ningun modo que pase toda esta agua por un solo tubo, ó sea una sola fila de ellos, por dos razones principales. Es la primera, que para esto se necesitarian tubos de diámetro tan grande, que seria difícil y aun á veces imposible fundirlos, el metal saldria de mala calidad, irregular en su testura y mal enfriado; su transporte seria muy subido, su colocacion en obra embarazosa y su asiento imperfecto. Es pues preferible dividir la corriente en varias filas de menor diámetro; pero no puede tampoco aumentarse mucho su número, porque entonces se crearian mas resistencias al movimiento del agua por el mayor desarrollo de los perímetros de las secciones, y para vencer estas resistencias seria menester gastar mas desnivel

entre las bocas de los sifones, y habria al mismo tiempo mas causas de irregularidad y filtracion, y mayor gasto de colocacion en obra; por cuyo motivo conviene detenerse en los mayores diámetros que permitan los principios de buena fundicion y la comodidad de los trasportes segun las distancias. Siendo 3 pies ingleses ($0,^m9144$) el diámetro de los mayores tubos que hasta ahora se han fundido generalmente para conduccion de aguas, se adoptó así para los de todos los sifones del Canal, dividiendo su dotacion en tres partes iguales de 20 000 rs. cada una, cantidad que ha servido de tipo para el cálculo sin ningun aumento por causa de las resistencias porque estas son muy pequeñas en tubos de seccion transversal tan grande.

La segunda razon que obliga á multiplicar hasta cierto punto el número de tubos es el alejar el peligro de que una averia inutilice el servicio del Canal. Aunque con las tres filas mencionadas habria bastante para asegurar por lo menos los dos tercios del caudal de agua mientras se haga la reparacion de un tubo, se ha querido que en lo posible nunca deje de correr el caudal en su totalidad, añadiendo una nueva fila de tubos iguales á los anteriores, de lo que resulta en conjunto compuesto el sifon de cuatro filas, tres de las cuales bastan para conducir toda la dotacion del Canal.

En vista de estas consideraciones se calculó por la ecuacion (a) el valor de H, haciendo en ella para los diversos casos las sustituciones siguientes:

Para el sifon de Malacuera se hizo

$$L=860^m. \quad D=0,^m9144, \quad Q=0,^{mc}75112,$$

lo que dió para el desnivel que era necesario entre las dos ramas del sifon;

$$H=1,^m7736.$$

Para el sifon del Guadalix se tenian los datos siguientes:

$$L=356^m \quad D=0,^m9144, \quad Q=0,^m.c.75112$$

y resultó

$$H=0,^m8010.$$

Para el sifon del Bodonal

$$L=1400^m \quad D=0,^m9144 \quad Q=0,^m.c.75112$$

y $H=2,^m9525.$

En el del Morenillo

$$L=170,^m \quad D=0,^m9144 \quad Q=0,^m.c.75112$$

y $H=0,^m7784.$

Otra cuestion no menos importante para el establecimiento de tubos, es la relativa á su espesor. Este se determina por la fórmula

$$e=a+\frac{bDH}{R} \dots (1)$$

en que

a es un coeficiente constante que depende del grado de perfeccion de los tubos y de la mayor ó menor facilidad con que se alteran por los agentes exteriores.

b es otro coeficiente variable con la resistencia del metal á los choques del agua.

R su resistencia á las cargas permanentes.

D el diámetro de los tubos,

H la carga máxima que tiene que sufrir la cañería.

Antes de aplicar esta fórmula preciso será conocer los valores correspondientes de a , b y R determinados por la esperiencia para el metal de que se han de hacer los tubos.

No nos detendremos en hablar de los valores que corresponden al plomo, usado antes casi esclusivamente para este objeto, pero que se ha abandonado por su mucho peso y coste y menos resistencia, desde que se ha perfeccionado tanto la fundicion del hierro.

Usaremos, pues, la fórmula (1) aplicada solamente al cálculo del espesor de los tubos de fundicion, que son los que en la actualidad se usan con preferencia á los de otro material. Poniendo por a , b y R los valores correspondientes á este caso, la expresion citada se convierte en

$$e=0,^m010+0,015 D\dots\dots (2)$$

que para los tubos empleados en los sifones del Canal de Isabel II cuyo diámetro es de 0,^m9144 da

$$e=0,^m0235;$$

pero esta fórmula solo es aplicable al caso en que la fundicion se hace teniendo el molde horizontal; y como para la tuberia de grandes dimensiones se coloca verticalmente, habremos de dar valores ligeramente variados, de los que resulta la expresion

$$e=0,^m008+0,016 D\dots\dots (3)$$

que para

$$D=0,9144 \text{ da}$$

$$e=0,^m0224$$

espesor próximamente igual al de los tubos extranjeros empleados en el Guadalix y con cortísima diferencia igual también al de los empleados en el Morenillo, construidos en la fábrica de Sargadelos, en Galicia.

En estos últimos tiempos se han aprovechado los adelantos hechos en el palastro para utilizarle asimismo en la fabricación de tubería de todas dimensiones. Desde luego se han previsto las inmensas ventajas que su empleo podía proporcionar respecto de los tubos de fundición y plomo, porque siendo mucho mayor la resistencia á la estension en el palastro que en la fundición, y más fácil con aquel metal hacer los tubos de un espesor sensiblemente uniforme, podían disminuirse mucho los espesores y por consecuencia los gastos de adquisición y transporte; mas antes de dar la preferencia á esta clase de tubos, era necesario, 1.º prevenir con gran cuidado la oxidación, tanto más perjudicial en ellos cuanto es pequeño su espesor, y 2.º hacer las uniones impermeables. Todo esto lo ha conseguido de una manera satisfactoria Mr. Chameroy, de Paris, en cuya fábrica se han construido tubos de palastro hasta de un metro de diámetro, que cubiertos interior y exteriormente de ciertos barnices y con las uniones de una naturaleza particular, satisfacen á la condición de ser inoxidables y completamente impermeables en sus juntas. Mas á pesar de esto, antes de usar dicha clase de tubos en obras de grande importancia, como los sifones y la distribución de aguas del Canal de Isabel II, es menester cerciorarse de sus cualidades por una experiencia más larga que la que puede proporcionar el corto número de años que media desde que han empezado á usarse en algunas poblaciones.

El cálculo anterior sobre los espesores sirvió solo para el estudio del proyecto y formación del presupuesto; pero no para

fijarlos á los contratistas de la tubería , pues la calidad y el esmero de la fundicion permiten que se varíe en algo el espesor de un tubo sin alterar sus condiciones de resistencia , y esto era del mayor interés en el caso actual , por el gran coste que ocasiona la conduccion desde puntos muy distantes , como son aquellos en que se han construido los tubos. Por esto se dejó al arbitrio de los constructores el espesor de los tubos que fabricasen , exigiéndoles en cambio la garantía mas segura de que todos habian de sufrir una cierta presion dada , que se determinó por las consideraciones siguientes.

La altura del mas elevado de estos sifones (el del Guadalix) es de 53.^m6 y por consiguiente los tubos mas cargados sufririan una presion de 5,19 de atmósfera , si el agua se hallase en reposo ; pero como está en movimiento y pueden producirse choques que aumenten considerablemente el esfuerzo contra las paredes , se ha fijado como tipo de la resistencia la presion correspondiente á 15 atmósferas.

De haberse probado á una misma presion se deduce que todos los tubos de cada fila tienen igual resistencia , aunque en realidad no la necesitan , porque cada uno sufre menor presion á medida que está mas distante del punto mas bajo del sifon y su espesor debia ir variando del mismo modo. Pero esto , que podria producir una economía de material y una disminucion en los gastos de transporte , ocasionaria seguramente un gasto mayor de mano de obra , por tener que hacer moldes diferentes para cada grueso de tubos , y es bien sabido lo que el variar de moldes aumenta el coste de las piezas ; además , esto tendria el inconveniente de que en el caso , aunque poco probable , de romperse un tubo , seria preciso buscar para reemplazarlo otro que tuviese la misma resistencia , lo cual exigiria un gran depósito de tubos , al paso que con el sistema actual basta con un corto número de ellos.

Prueba y colocación de los tubos.

Para probar los tubos se ha hecho uso de la propiedad que tiene el agua de ser casi incompresible ; pues se comprende que si despues de lleno un tubo se inyecta agua (*) con una bomba , la presión podrá elevarse hasta un grado dependiente solo de la resistencia de la bomba , y de la fuerza disponible, que siempre será mayor que la necesaria para llegar al límite prescrito. Solo será preciso poder graduar exactamente esta presión para obtener la resistencia designada en cada caso.

La máquina empleada para la prueba de los tubos en los sifones del Morenillo y del Guadalix, (construida en la fábrica de Monteleon en Madrid, y que difiere muy poco de las empleadas en el resto del Canal, se halla representada en la figura 1.^a en el acto de estarse probando un tubo. Este se halla apoyado en las piezas de madera A, B, rebajadas en el medio á fin de proporcionarle mejor asiento, y sujeto entre dos grandes placas de fundicion C, D, arriostradas entre sí por barrotes de hierro E que tienen roseas en sus estremidades, para oprimir cuanto se quiera las chapas de fundicion contra el tubo por medio de tuercas que se manejan con unas horquillas de hierro. Una de estas chapas es fija y la otra móvil sobre cuatro ruedas para que variando la distancia entre ambas, se puedan poner y quitar los tubos; y á fin de impedir que se escape el agua tienen, en la parte que ha de estar en contacto con estos, una guarnicion de cuero y filástica embreada.

(*) Pudieran probarse los tubos con aire comprimido en vez de agua; pero esto podria dar lugar á accidentes desagradables, en el caso de que se rompiese el tubo sometido á la prueba, por la violencia con que despediria el aire, en virtud de su gran elasticidad, los fragmentos del tubo roto : no así el agua, que en seguida que se ve libre pierde toda su fuerza elástica.



Colocado el tubo de este modo se llena de agua con una bomba elevatoria representada á la derecha, y que se compone de un cuerpo de bomba *a* con el cual está fundido en una sola pieza un pequeño tubo de aspiracion oculto en la figura, en cuya estremidad se atornilla una manga de cuero *b*, que facilita la aspiracion del agua del pozo ó depósito que la contiene. En el tubo de elevacion, que tiene el mismo eje y diámetro que el cuerpo de bomba, se mueve la varilla del émbolo que se articula por su parte superior con la estremidad de una palanca *c*, cuyo punto de apoyo está en una parte saliente de dicho tubo de elevacion, y termina en una barra de madera proyectada en *d*, en la cual aplican su fuerza los obreros que han de elevar el agua. El tubo de aspiracion tiene en su parte superior una válvula que se abre de abajo arriba y el émbolo tiene en su centro un orificio con otra válvula semejante; comunicado el movimiento á la palanca, y llegada el agua al tubo *f*, por medio de la manga *g* y del tubo *h*, pasa al T, que se trata de probar. Entre tanto debe tenerse abierta la llave *i* á fin de que salga todo el aire del tubo desalojado por el agua, y solo se cerrará este orificio cuando se vea salir esta por él. Asi se conoce que el tubo está lleno y entonces cesa la inyeccion de líquido por el tubo *h*; pero esto no basta, porque es menester que la cantidad de agua introducida ejerza sobre las paredes cierta presion, para lo cual sirve la bomba representada á la izquierda de la figura. El émbolo contenido en el cuerpo de bomba *l* se mueve por medio de una palanca semejante á la que hemos descrito al hablar de la bomba anterior. El movimiento descendente produce la aspiracion en el tubo *m* que tiene en *n* una válvula que se abre de abajo arriba, con objeto de que al elevarse el émbolo que es macizo, eleve consigo el agua, que no pudiendo pasar de dicha válvula por hallarse entonces cerrada, pasará por el pequeño tubo *o* al T que se está probando.

