

éstas resultaban más caras y exigen mayor plazo de ejecución.

Sigo, pues, considerando que el sistema del Sr. Ribera, bien ejecutado y con el único aditamento de arriostamientos transversales, ha de dar resultados excelentes (1).

LAS TURBINAS DE GAS

Los progresos realizados por el motor de gas y la turbina de vapor se cuentan entre los más considerables que la mecánica ha realizado en estos últimos años. Se construyen ya motores de gas de 6.000 caballos, la turbina de vapor ha evolucionado rápidamente y la turbina de gas viene anunciándose desde hace poco como un nuevo motor en vías de realización práctica.

Tres dificultades hay para esto último que vencer. La primera consiste en disminuir las pérdidas en la *compresión neumática á alta presión*. En los motores ordinarios, el gas es aspirado por el émbolo en el cilindro, después comprimido por la misma máquina y la mezcla explosiva á continuación inflamada es la que da impulso al motor. En la turbina de gas, la compresión previa no puede efectuarse por la turbina misma, y es necesario un compresor auxiliar que proporcione el aire comprimido á la cámara de combustión, para enviarle después á la turbina.

El tipo de compresor que parece el más indicado en el caso de las turbinas es el compresor rotativo, el cual puede ir montado en el árbol mismo de la máquina; pero son necesarios serios ensayos á fin de determinar el rendimiento de este aparato que no ha sido todavía suficientemente estudiado.

Otra dificultad reside en la determinación de la expansión de los gases calientes en los tubos inyectores. Las altas temperaturas producidas por la combustión de las mezclas explosivas no permiten que éstas actúen directamente sobre los álabes de las turbinas; ningún metal resistiría. Se han propuesto diversos artificios para remediar este grave inconveniente, entre ellos el de hacer que los gases se expansionen en inyectores previamente á su admisión en el disco móvil, pero es preciso hacer estudios experimentales para determinar las condiciones de este fenómeno de previa expansión.

Finalmente, la tercera dificultad está en determinar las pérdidas térmicas causadas por la radiación. Estas pérdidas son, efectivamente, muy importantes en las turbinas de gas.

Los diversos sistemas de turbinas propuestos ó ensayados pueden clasificarse en tres categorías principales: turbinas de aire caliente, turbinas de explosión de gas ó petróleo y turbinas mixtas de gas y vapor.

El primer sistema está realizado en la turbina Stobbe. Está constituida por dos turbinas montadas en un eje común, una de las cuales funciona como compresor rotativo y la otra como turbina propiamente dicha. El aire proporcionado por el ventilador rotativo pasa desde luego á un recalentador, calentado por los gases del escape, después de lo cual una parte se dirige á la cámara de combustión y la otra á un gasógeno para gasificar un combustible sólido, haciendo el papel de carburador de manera que se obtenga el combustible gaseoso necesario para el funcionamiento de la turbina. Los gases producidos en el gasógeno van á la cámara de combustión, donde se queman al contacto del aire comprimido, dando vapor de agua y ácido carbónico. Esta mezcla pasa después á la turbina, donde se efectúa

el trabajo exterior expansionándose al través de los inyectores de la máquina.

Las tentativas realizadas con el objeto de crear una turbina de gas han tomado por base, en la mayor parte de los casos, el llevar á efecto el ciclo ordinario de los motores de gas, es decir, la combustión de una mezcla de aire y de gas ó de vapor combustible, ardiendo á volumen constante. Las condiciones no son las mismas que para las turbinas de vapor. También M. Meinelke propone producir la combustión á presión constante en un espacio abierto que permita realizar así una operación continua, efectuándose la expansión de los gases, convirtiendo su presión en velocidad en los inyectores de una turbina de gas.

Entre las turbinas mixtas de gas y vapor se puede citar la turbina Armengaud y Lemâle. Lo que caracteriza esta turbina, es que el agua de enfriamiento penetra en estado de vapor en la cámara de combustión y se mezcla á los gases recalentados para actuar sobre la turbina.

La experiencia únicamente podrá determinar el valor de estas tres soluciones que acaban de mencionarse del problema de la turbina de gas.

Cualquiera que sea el fluido empleado, agua, vapor ó gas, el buen funcionamiento de una turbina de acción depende de la velocidad del fluido que actúa sobre los álabes de la rueda móvil. Pero en todos los casos considerados, esta velocidad se obtiene haciendo pasar por un inyector el fluido desde un medio á alta presión á otro á baja presión. Hay, por tanto, una diferencia entre los gases y el agua: en tanto que el agua es sensiblemente incompresible, los gases y los vapores aumentan de volumen á medida que disminuye la presión. Pueden presentarse entonces tres casos principales, á saber:

El de los líquidos incompresibles, tales como el agua, en los cuales la velocidad es debida á la diferencia de presiones, la densidad del fluido permaneciendo constante.

El de los gases. La velocidad es debida á la caída de presión, á densidad constante, es decir, sin variación de volumen, ó bien es debida al cambio de densidad resultante del cambio de presión y de temperatura.

El de los vapores. La velocidad es debida á la caída de presión, á densidad constante, ó bien al cambio de densidad consecutivo á la variación de presión, permaneciendo el vapor en tal estado, ó bien, finalmente, al cambio de estado (recalentamiento ó condensación, según los casos).

La velocidad que da la presión tiene entonces dos orígenes: uno de orden *mecánico* y otro de orden *térmico*. Pero el de orden *térmico* puede ser positivo ó negativo, es decir, puede aumentar ó disminuir la velocidad debida al primero; la velocidad final no es, por tanto, independiente de la clase de motor. Por otra parte, las leyes de la salida de los fluidos no son idénticamente las mismas en todos los casos; resulta de aquí que la forma del inyector habrá de variar según el fluido empleado.

Conviene observar que las leyes de la expansión, en el caso de la expansión libre, son todavía desconocidas. No se puede, por lo tanto, afirmar que el rendimiento práctico de la expansión libre sea superior al de la expansión equilibrada.

Son, pues, numerosas y delicadas las cuestiones que restan aún por dilucidar en lo que concierne á la turbina de gas.—O.

ABACOS

para la resolución de problemas relativos al movimiento de líquidos en los tubos y alcantarillas.

(1) Para completar este artículo, que, como se ve, coincide en sus apreciaciones de las causas de la catástrofe con las que emitió la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS en su número del 8 de Junio de 1905, podemos añadir que la revista *Le Ciment* del mes de Junio de aquel año, bajo la autorizada firma de su Director el eminente Ingeniero N. de Tedesco, tan conocido por sus libros y teorías sobre el cemento armado, reprodujo gran parte de nuestro artículo y lo comentó con las siguientes frases: «La causa dada por la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (la temperatura) es, pues, más que plausible es indiscutible».

Los abacos cuya construcción vamos á indicar han sido estudiados por el Ingeniero belga G. Schoofs, y tienen por base las nuevas fórmulas propuestas por M. Flamant, Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas. Para hacer fácil y completa su comprensión, vamos á exponerlos con todo el desarrollo necesario.

I

ó bien

Preliminares.

Ecuación del movimiento de los líquidos en las conducciones.
La ecuación que da el movimiento de los líquidos en los conductos y canales descubiertos es de la forma

$$r J = \varphi (v). \tag{1}$$

en la cual:

r representa el radio hidráulico medio, es decir, la relación del área líquida al perímetro mojado;

J la pérdida de carga por unidad de longitud horizontal ó pendiente de la línea de carga, y

v la velocidad media del líquido.

La función $\varphi (v)$ debe ser determinada por la experiencia, y aunque numerosos físicos se han ocupado de esta cuestión y han propuesto diversas formas para la función φ , ninguna de ellas en rigor es completamente satisfactoria.

M. Flamant ha recogido todas las observaciones de los diferentes experimentadores, y ha deducido una nueva forma de la función φ , que siendo como es el resultado de un gran número de experimentos, es indudablemente la más generalmente aplicada. Estos estudios aparecieron por primera vez en los *Anales de Puentes y Calzadas* (Francia), 1892, tomo IV.

Introduciendo este valor de φ en la ecuación (1), resulta ésta, en el caso de conductos circulares, y teniendo lugar la salida del líquido á plena sección, con la forma siguiente:

$$D^5 J^4 = a^4 v^7 \tag{2}$$

en la cual

D representa el diámetro del tubo;

J la pérdida de carga, como en la fórmula (1);

v la velocidad media;

a un coeficiente que depende de la rugosidad de las paredes y de su naturaleza.

Aplicación de la fórmula de M. Flamant á todos los casos de movimiento.—La fórmula (2) se aplica al caso de salida á plena sección en los conductos circulares.

Sin embargo, todas las cosas iguales por otra parte, las condiciones en que tiene lugar el movimiento de un líquido en los conductos, no dependen más que del *radio hidráulico medio* y nunca de las dimensiones de las secciones. Así, por ejemplo, en un mismo tubo circular la velocidad de salida será la misma, ya llene el líquido enteramente la sección, ya cubra solamente la mitad, porque en los dos casos el radio hidráulico es el mismo, y según la fórmula (1), la velocidad será la misma. Obtendremos aún la misma velocidad media con un tubo de la misma pendiente, pero de sección cualquiera, con tal de que el radio hidráulico conserve el mismo valor.

Si en la fórmula de M. Flamant aparece el diámetro de la sección, esto es debido á la relación $r = \frac{D}{4}$, que fija el radio hidráulico al diámetro de un tubo circular; por lo tanto, en dicha fórmula no debemos considerar á D como representando el diámetro del tubo, sino más bien como una función del radio hidráulico y podremos escribirla con un sentido más preciso y más general, introduciendo nuevamente la función r , y obtendremos así

$$(4r)^5 J^4 = a^4 v^7 \tag{3}$$

Por lo que acabamos de exponer, la fórmula (3) se aplica en un caso cualquiera de movimiento en un tubo.

Gasto.—Si llamamos S el área líquida y Q el gasto de la conducción, tendremos

$$Q = v S = (4r)^{\frac{5}{7}} \left(\frac{J}{a}\right)^{\frac{4}{7}} S$$

$$Q^7 = (4r)^5 \left(\frac{J}{a}\right)^4 S^7 \tag{4}$$

Para la salida á plena sección en los conductos circulares M. Flamant da

$$Q^7 = \left(\frac{\pi}{4}\right)^7 D^{19} \left(\frac{J}{a}\right)^4 \tag{4'}$$

Á fin de hacer más fácil el empleo de las fórmulas (3) y (4) se han estudiado los abacos simples que vamos á exponer, debidos, como ya se ha dicho, á M. Schoofs, los cuales permiten obtener rápidamente una de las variables cuando se conocen las otras.

Los valores S y r que intervienen en estas fórmulas no permiten tratar la cuestión más que para casos particulares. Nos ocuparemos del perfil circular y de dos perfiles ovoides, que son los más frecuentemente empleados en la construcción de alcantarillas.

II

Construcción de los abacos.

Abaco de la fórmula (3) en el caso de conductos circulares.—

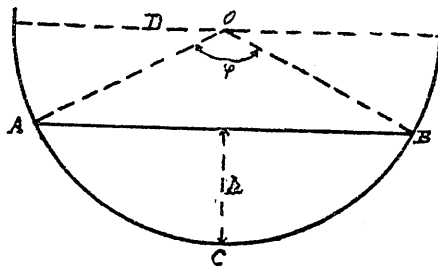


Fig. 1.^a

El valor del radio hidráulico, cuando el nivel del líquido se eleva á una altura h por encima del punto C (fig. 1), es

$$r = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \varphi}{\frac{\varphi}{180} \cdot \pi} \right)$$

siendo φ el ángulo en el centro que intercepta la cuerda AB correspondiente al nivel h . Pongamos

$$\varepsilon = 1 - \frac{\text{sen } \varphi}{\frac{\varphi}{180} \cdot \pi}$$

y tendremos entonces

$$4r = \varepsilon D$$

y la fórmula (3) se escribirá bajo la forma

$$(\varepsilon D)^5 J^4 = a^4 r^7$$

ε es, pues, una función de la altura h , ó mejor de $\frac{h}{D}$.

Vamos á construir el abaco de

$$D \left(\frac{J}{a}\right)^4 = v^7$$

Para esto tomemos los logaritmos de los dos miembros y se tendrá

$$7 \log v = 5 \log D + 4 \log \frac{J}{a} \tag{6}$$

Pero se sabe, según los estudios de M. d'Ocagne, que si consideramos dos ejes paralelos $A_1 A'_1$ y $A_2 A'_2$, y sobre ellos llevamos longitudes proporcionales á $5 \log D$ y $4 \log \frac{J}{a}$, y llamamos l_1 y l_2 las relaciones de proporcionalidad, los valores de $7 \log v$

ciendo la escala de v (ó $7 \log v$) móvil, de tal suerte que el punto A (fig. 3) que corresponde al valor $v = 1$ corresponda ahora á

$$7 \log v - 5 \log \varepsilon = 0$$

ó bien

$$v = \varepsilon^{\frac{5}{7}}$$

En realidad, es suficiente trazar sobre una plataforma móvil una escala de $7 \log v$ y otra de $5 \log \varepsilon$ con el mismo módulo de

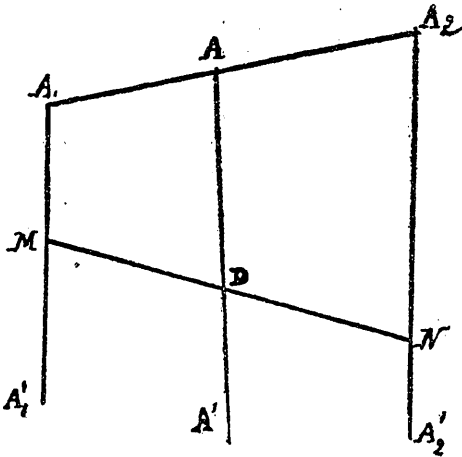


Fig. 2.ª

se cuentan sobre un eje $A A'$ paralelo á los dos primeros situado de modo que (fig. 2)

$$\frac{A A_1}{A A_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

el módulo de proporcionalidad llamándolo l es

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2}$$

y los valores correspondientes de $v D$ y $\frac{J}{a}$ se encontrarán en la intersección de una misma recta MN con los ejes.

En efecto:

$$A D = \frac{A A_1 \times A_2 N + A A_2 \times A_1 M}{A A_1 + A A_2}$$

$$= \frac{\frac{A A_1}{A A_2} l_2 4 \log \frac{J}{a} + l_1 5 \log D}{\frac{A A_1}{A A_2} + 1}$$

$$= \frac{l_1 l_2}{l_1 + l_2} \left[4 \log \frac{J}{a} + 5 \log D \right] = l 7 \log v.$$

Si adoptamos los valores

$$l_1 = 3 \text{ cm. } l_2 = \frac{3}{2} \text{ cm. } l = 1 \text{ cm.}$$

tendremos:

$$\frac{A A_1}{A A_2} = \frac{2}{1}$$

La división de las escalas se hace entonces sin dificultad. Si ahora en la fórmula (6) reemplazamos D por εD , se tendrá:

$$7 \log v - 5 \log \varepsilon = 5 \log D + 4 \log \frac{J}{a}. \quad (7)$$

Se ve fácilmente que el abaco que acabamos de construir es todavía aplicable conservando las escalas de D y $\frac{J}{a}$, pero ha-

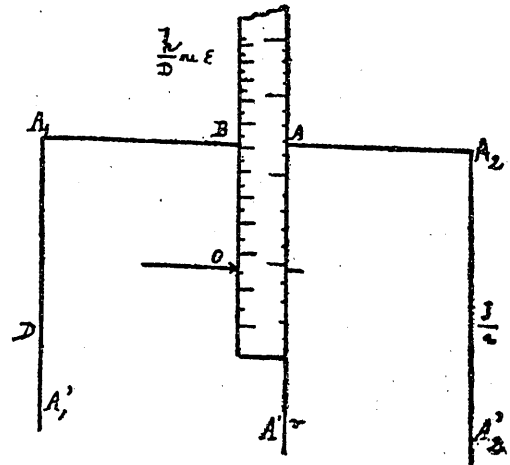


Fig. 3.ª

proporcionalidad y hacer coincidir el valor de ε correspondiente á la altura del liquido considerada con el origen A .

Á fin de reducir las dimensiones de esta plancheta se transporta el origen para la escala de ε de B á O .

Puesto que ε es una función de $\frac{h}{D}$ se escriben directamente los valores de $\frac{h}{D}$ en la escala de ε .

Las unidades son el centímetro y el segundo.

Modo de usar el abaco.—Se coloca la plancheta de manera que la escala v esté en contacto con la recta AA' y que la graduación $\frac{h}{D}$ que corresponde al nivel considerado se encuentre enfrente del punto O . Es suficiente tender un hilo desde la graduación D á la de $\frac{J}{\pi}$ y leer el valor de v en el punto donde este hilo corta á la escala de v .

Alcantarillas ovoides.—Refiriéndonos á los dos perfiles de las figuras 4 y 5, que son, por otra parte, los más generalmente

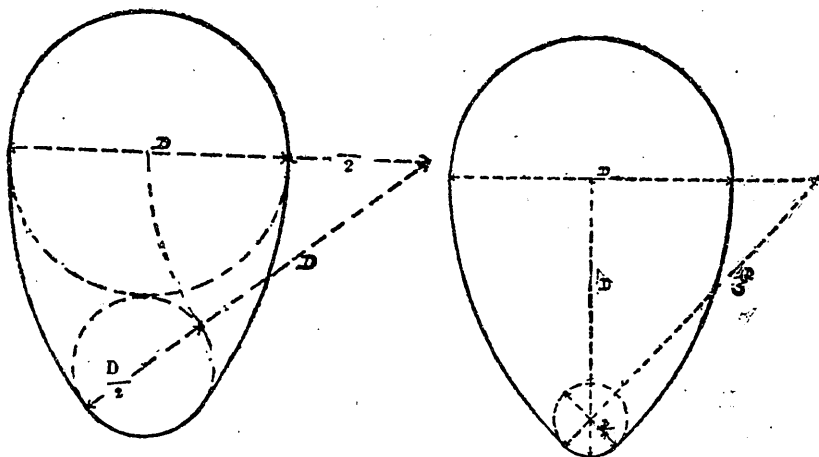


Fig. 4.ª

Fig. 5.ª

empleados en la actualidad, podríamos, para estos perfiles, reproducir los mismos razonamientos que para el perfil circular.

La función ε difiere ahora evidentemente de la del caso anterior. Se han determinado los valores para diferentes alturas, así como los de $5 \log \varepsilon$.

Estos valores dan una nueva escala de ε . Reemplazando por esta nueva escala la de la plancheta anterior, podrán construirse planchetas para los dos tipos de ovoides de las figuras 4 y 5. La construcción de todas estas planchetas, así como las tablas que nos dan los distintos valores de ε , $5 \log \varepsilon$ en los tres casos considerados para valores dados de $\frac{h}{D}$ pueden verse en el estudio publicado por el autor en los *Annales des Travaux Publics* de Bélgica.

Abaco de gasto.—Para los conductos circulares el valor de S de la ecuación (4) se escribe:

$$S = \frac{D^2}{4} \left(\frac{\varphi}{180} \pi - \text{sen } \varphi \right) = \theta D^2$$

La manera de construir los perfiles 4 y 5 demuestra que tendremos igualmente para estos perfiles

$$S = \psi D^2$$

El razonamiento que sigue se aplicará entonces a los tres perfiles estudiados. La ecuación (4) se puede escribir así:

$$Q^7 = \varepsilon^5 D^5 \left(\frac{J}{a} \right)^4 \theta^7 D^{14} = \varepsilon^5 \theta^7 D^{19} \left(\frac{J}{a} \right)^4 \quad (8)$$

Procediendo como anteriormente para el abaco de las velocidades media, construyamos el abaco de la fórmula

$$7 \log Q = 19 \log D + 4 \log \frac{J}{a} \quad (9)$$

Esta fórmula es análoga a la fórmula (6). Podremos representarla por un abaco semejante. Tomemos para $19 \log D$ el módulo $\frac{15}{19}$ cm. y para $4 \log \frac{J}{a}$ el módulo $\frac{3}{2}$ cm.; en este caso las graduaciones son idénticas a las del caso anterior y conserva-

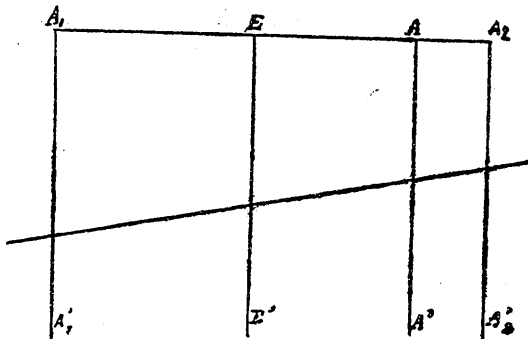


Fig. 6.ª

remos los mismos ejes A_1, A_1' y A_2, A_2' (fig. 6). El eje sobre el cual contaremos $7 \log Q$ será EE' , tal que

$$\frac{EA_1}{EA_2} = \frac{\frac{15}{9}}{\frac{3}{2}} = \frac{10}{19}$$

y el módulo será

$$v = \frac{15}{29} \text{ cm.}$$

Si ahora volvemos sobre la fórmula (8), ésta se puede escribir:

$$7 \log Q - (5 \log \varepsilon + 7 \log \theta) = 19 \log D + 4 \log \frac{J}{a} \quad (10)$$

y vemos que podríamos todavía, con ayuda de una plancheta móvil, como para el caso de las velocidades, encontrar fácilmente el gasto para una altura dada de agua cualquiera, en los tres casos estudiados.

En las mismas tablas a que antes hemos hecho referencia figuran para los distintos valores de $\frac{h}{D}$, los valores de $\theta 7 \log \theta$, y $5 \log \varepsilon + 7 \log \theta$.—O.

SUSTITUCIÓN DE LA TRACCIÓN DE VAPOR

POR LA TRACCIÓN ELÉCTRICA

El estudio de que vamos a dar cuenta á continuación es un estudio económico llevado á cabo por el Ingeniero de Puentes y Calzadas M. P. Dumas, referente al cambio de sistema de tracción en una longitud de 22^k, 649 m., entre las estaciones de Saint-Georges-de-Commiers y la Matte-d'Aveillaus, en el ferrocarril de vía estrecha de Saint-Georges-de-Commiers á la Mure (Isère), y que puede servir de norma en estudios análogos, razón por la cual nos ha parecido conveniente publicarle.

Dicho estudio se presenta bajo forma de anteproyecto y ha permitido á su autor formular conclusiones precisas sobre el asunto.

ANTEPROYECTO

EVALUACIÓN DEL TRÁFICO

Tomaremos por el ejemplo el año de 1903.

Cálculo del tonelaje bruto.—La estadística acusa para este año:

1.460 trenes mixtos.

2.193 trenes de mercancías.

Los trenes mixtos que remolcan 60 toneladas comprenden por término medio 5 coches de viajeros, 43 toneladas. Quedan, pues, en la composición de estos trenes 17 toneladas de pequeña velocidad, material y mercancías. Pero tenemos 4 trenes mixtos, lo que da por año un tonelaje de peso muerto y viajeros igual á 43×4

$\times 365$ toneladas..... 62.780
y en material de P V y mercancías un peso muerto y vivo de $17 \times 4 \times 365$ toneladas..... 24.820

Nuestros trenes de mercancías se dividen en dos categorías: los que remolcan 60 toneladas (locomotoras números 1 y 10), y los que remolcan 75 toneladas por término medio (locomotoras números 11 y 12).

Tenemos 2.193 trenes de mercancías para 300 días

de trabajo, ó sean $\frac{2.193}{300}$ por término medio

7 trenes $\frac{31}{100}$ por día.

Se puede estimar en 2 trenes impares por día por término medio, ó sean $2 \times 7 \times 300$ toneladas= 45.000 el tonelaje referente al número de trenes remolcados por las máquinas 11 y 12 en 1903.

Quedan, pues, 5 trenes $\frac{31}{100}$ á 60 toneladas, ó sea

por año $\frac{531 \times 60 \times 300}{100} = \dots\dots\dots$ 95.580

Por consecuencia, el tonelaje total á partir de Saint-Georges es de toneladas..... 228.180