

ascenderá á 5 millones de caballos y representa una fortuna nacional de 5.000 millones de liras.—H.

LAS LEYES DE LA FILTRACION A TRAVES DE LAS COLUMNAS DE ARENA

Y LAS LEYES DE OHM

Este artículo, publicado en el *Journal de Physique théorique et appliquée* (Marzo, 1907), tiene por objeto recordar los datos esenciales y las conclusiones principales de un importante trabajo de M. Julien Brunhes, publicado en las Memorias de la Academia de Ciencias, Inscripciones y Bellas Letras de Tolosa, con el título de *Investigaciones experimentales sobre el paso de los líquidos á través de las substancias permeables y de las capas filtrantes*.

Esta Memoria, más interesante, tal vez, para los Ingenieros que para los Físicos, parece que no ha hallado, desde su publicación, la notoriedad á que tenía derecho; sus puntos fundamentales pueden resumirse del modo siguiente:

1.º *Proporcionalidad del gasto á la presión*.—En los experimentos característicos en que la presión variaba por la corriente misma, la presión H en el instante θ dada por la fórmula

$$H = H_0 e^{-m\theta}, \text{ siendo } H_0 \text{ la presión inicial y } m \text{ un coeficiente característico para cada filtro. Los gastos están dados naturalmente por una fórmula exposicional análoga } \varphi = \varphi_0 e^{-m\theta}.$$

El coeficiente de permeabilidad indicado $m = 0.002072$ que corresponde á una arena silicea cuidadosamente tamizada y lavada, es sensiblemente más elevado que los que han obtenido para las capas arenosas naturales diferentes observadores y principalmente Darcy (*Fuentes públicas de la ciudad de Dijon*, 1856) y Ed. Maillet (*Ensayos de hidráulica*, 1905). Pero se sabe que la presencia de impurezas, aun ligeras, reduce extraordinariamente la velocidad de filtración y que los elementos arcillosos ó margosos disminuyen mucho la permeabilidad.

2.º *Variación del gasto con la longitud de la columna de arena*.—Los experimentos hechos han demostrado la proporcionalidad de las duraciones de la corriente con las longitudes de las columnas filtrantes tomadas sobre un mismo tubo, lo que es la extensión de una ley de Poiseuille para los tubos capilares.

3.º *Variaciones del gasto con la sección de una columna filtrante y con el grueso de la arena*.—La proporcionalidad del gasto con la sección se admite como evidente para columnas filtrantes de composición idéntica. Respecto á las dimensiones de los granos, la ley de Poiseuille relativa á las cuartas potencias de los diámetros de los huecos capilares conduce inmediatamente á una relación

$$\frac{\theta}{\theta'} = \frac{D^2}{D'^2}$$

que expresa que á gasto igual las duraciones son inversamente proporcionales á los cuadrados de las dimensiones medias de los huecos ó de los granos. Para los gastos en tiempos iguales se tendría $\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{D^2}{D'^2}$.

M. Brunhes manifiesta, sin embargo, que esta relación no se verifica bien para las arenas finas que tienen las aristas menos redondeadas.

Es interesante recordar que Slichter (*Report of the United States Geological Survey*, 1899), considerando un romboedro de ángulo δ , cuyos vértices son los centros de esferas de diámetro d , y aplicando á la corriente por los huecos la ley de Poiseuille ha encontrado la fórmula del gasto

$$\varphi = 7,77 H \cdot \frac{FD^2}{\alpha}$$

en la cual P designa la superficie filtrante considerada, supuesta llena de esferas de diámetro D , H la carga, y α un coeficiente variable de 0,84 á 0,12 según cada disposición romboédrica, es decir, según el ángulo δ . Los experimentos de King tienden á demostrar que con la arena llevada por el cribado á un grueso

uniforme, esta fórmula es aplicable, pero que para $D > 0,11 \text{ cm}$. el gasto crece con menos rapidez que la carga.

Allen Hazen (*Filtration of public water supplies*, Nueva York, 1905), ha introducido la noción del *grosor efectivo del grano*, el conjunto de los granos cuyo volumen es inferior al del grano considerado $\frac{\pi}{6} D_e^3$ debiendo pesar $\frac{1}{10^6}$ del peso total. Establece así una fórmula basada sobre la penetración máxima

$$mV = 1,16 D_e^2 H;$$

mV es la velocidad de filtración obtenida dividiendo el gasto por la sección total, comprendida en ella la materia filtrante.

Este autor ha observado que mV no crece con tanta rapidez como H cuando D_e excede á 0,2 cm.

4.º *Variación del gasto con la temperatura*.—Esta parte de la Memoria presenta un interés particular, por haber sido lo más frecuente despreciar la influencia de la temperatura en los problemas de la filtración. Los experimentos de Brunhes han establecido con claridad que las variaciones de la velocidad de la corriente provocadas por la temperatura eran las mismas para la filtración á través de la arena que para la corriente por los tubos capilares y que dependían únicamente de la variación con la temperatura del coeficiente μ de viscosidad del líquido, el cual es para el agua, según Poiseuille

$$\mu = \frac{0,00001837}{1 + 0,337 T + 0,00022 T^2} \text{ g. sec. cm.}^{-2}$$

Se sabe que, según O. Reynold, el coeficiente de viscosidad vuelve á ser independiente de la densidad del líquido y de su temperatura cuando la velocidad crítica es sobrepasada y que el movimiento de torbellino se produce. Este movimiento ha sido observado en la filtración por diversos experimentadores, principalmente por Masoni, con arenas bastante finas para filtrar bajo una carga de 100.

En definitiva, las leyes de la filtración á través de una capa de arena han sido resumidas por Julien Brunhes desde 1881 en una fórmula general de gasto

$$\varphi = \frac{H}{\int \frac{ds}{CS}}$$

en la cual s designa el espesor de la capa filtrante, C el coeficiente de permeabilidad variable con la temperatura, y S la sección filtrante, siendo C y S funciones de s . Hace así resaltar una analogía inmediata con las leyes de Ohm, analogía que no aparecía en las leyes de Poiseuille relativas á la corriente capilar; pero que resulta evidentemente de que en los dos casos (filtración y corriente eléctrica) la cantidad de fluido que atraviesa un elemento de una superficie de nivel es proporcional á la carga (hidráulica ó eléctrica). Se podría volver á encontrar esta analogía considerando el caso hipotético de una masa permeable indefinida con un centro único de absorción del líquido; las superficies de equilibrio son esferas concéntricas y se obtiene la altura piezométrica correspondiente á esta superficie bajo la forma de una potencial newtoniana. Se llega, pues, naturalmente, para una masa indefinida á una ecuación de potenciales ó de Laplace, semejante á la que se obtiene para el potencial eléctrico.

Recordemos, finalmente, que en las notas que M. Boussinesq

ha presentado sobre este asunto á la Academia de Ciencias (22 de Junio de 1903, 18 de Enero de 1904) ha establecido que la desnivelación de las capas está regida por las mismas leyes que el enfriamiento de las placas delgadas de caras impermeables.—O.

La línea eléctrica más elevada de Alemania.—Una nueva línea eléctrica, enlazando Münster y Schlucht (Alsacia), acaba de abrirse á la explotación.

La línea, que tiene una longitud de 10,8 kilómetros, recorre longitudinalmente el valle alsaciano de Münster; está construída según el sistema Strub, en unas partes á simple adherencia y en otras con cremallera. Las pendientes máximas de la línea, que es de vía estrecha, son de 55 milésimas para el recorrido de simple adherencia y de 220 milésimas para el recorrido con cremallera.

La energía eléctrica es suministrada por una estación central situada cerca de Münster, que distribuye también á la región fuerza y alumbrado. La corriente trifásica á 7.000 voltios se transporta á una estación de transformación que contiene dos grupos de conmutadores rotativos que transforman la corriente trifásica en corriente continua para la distribución. Esta central posee, además, una batería de acumuladores de 390 elementos.

Los carruajes van equipados con dos motores para el recorrido de adherencia sencilla, y otros dos para el recorrido con cremallera. Una disposición especial ideada por Strub permite trabajar á un tiempo los cuatro motores sobre los engranajes de la parte de cremallera, y además los carruajes pasan sin detenerse de la parte de adherencia sencilla á la parte con cremallera.

Esta nueva línea tiene su punto de término en la frontera franco-alemana, á una altitud de 1.321 metros sobre el nivel del mar, y allí se une con la línea Schlucht-Gerardoner, en territorio francés, que funciona desde hace unos dos años próximamente.

La construcción de la línea Schlucht-Münster ha sido efectuada por la Sociedad Alioth, cuya casa suministró también todo el material eléctrico.

Los gastos de establecimiento de esta línea, actualmente la más elevada de Alemania, han sido de 1.696.000 francos.—H.

EL «FREIBAHN» Ó TREN AUTOMÓVIL PARA TRANSPORTES

El *tren libre* ó *tren automóvil* (*Freibahn*), está destinado al transporte de cargas por caminos apisonados sin necesidad de carriles, de modo que la magnitud de la carga y la velocidad en el movimiento no sean inferiores á lo que en ese concepto pueden rendir los ferrocarriles de vía estrecha y agrícolas. Las ventajas que reporta ese medio de transporte son indudablemente considerables, porque, prescindiendo de que ya se ha reconocido en general la conveniencia de utilizar trenes mecánicos tanto en tiempo de paz como de guerra, podría ese medio de transporte sustituir en la mayoría de los casos á los actuales ferrocarriles de vía estrecha, lo que ofrecería ventajas principalmente cuando los elevados gastos de explanación, tendido de vías, etc., no dejasen esperar probables rendimientos de toda la instalación.

Tiempo ha que se ha manifestado el deseo de disponer de un medio de transporte de esas condiciones, y si no llegó á cumplirse hasta ahora en toda su extensión, no obstante los grandes adelantos técnicos, debe atribuirse en primer término á la tendencia que ha existido á emplear el material de carruajes existentes y por decirlo así casi anticuado. Por bien construída que

esté una máquina motora (y sólo de una máquina perfecta puede tratarse para el transporte de grandes cargas á largas distancias), su rendimiento bajará siempre por la resistencia y los rozamientos de los carruajes enganchados, si se utilizan como tales los vehículos que actualmente se usan para las carreteras. El peso de esos vehículos es excesivo y la carga útil escasa. Para que el tren compuesto de varios carruajes sea guiable han de ser las ruedas delanteras de los carruajes de dos ejes tan bajas que puedan girar por debajo de la caja del vehículo. Ahora bien, las ruedas pequeñas encuentran tan considerable resistencia en cualquier piedra, en baches, barro y arena que pronto falla la fuerza de tracción de la máquina.

Si ha de dar vuelta un tren compuesto de esos carruajes ha de buscar un enlace de caminos que permita retroceder dando un rodeo. De no encontrarse esa ocasión, han de desacoplarse todos los enganches y ha de volverse cada uno de los carruajes á brazo, trabajo muy penoso y largo á completa carga y en caminos estrechos y blandos. La máquina no encuentra tampoco en todas partes sitio para la vuelta; y sin embargo, se presenta á menudo la necesidad de contramarchar solamente en un corto trayecto. Para contramarchar un tren de esta clase, aun en línea recta, sólo puede lograrse con construcciones complicadas. La circulación por una curva en contramarcha es difícil y no ha podido hasta ahora conseguirse sino por fuerza de sangre, á la que ha de acudir también frecuentemente para la formación de trenes y el acoplamiento de los carruajes. Partiendo del principio de remediar esos inconvenientes, se llegó al sistema del tren libre, ó sea el tren sin carriles para carreteras, que se compone de la locomotora de un eje, del tender de un eje y de cuatro carruajes de un eje.

El eje de la locomotora y el del tender, así como cada dos vehículos de un eje, están unidos por un enganche, formando así un doble carruaje, componiéndose por lo tanto el tren de tres dobles carruajes. El ancho entre ruedas ó la entrevía es distinta en los dos carruajes dobles de enganche, lo que contribuye para preservar los caminos. En los ensayos practicados con regularidad durante dos años ha resultado que no se estropearon los caminos por los que se circuló, sino que más bien se conservaron mejor que si hubiesen estado sometidos al tráfico de carros tirados por caballerías.

Para reducir á lo más mínimo las resistencias en los caminos, se emplean exclusivamente ruedas altas, por lo menos de 1,6 metros de diámetro, y como éstas corren en cojinetes de bolas, casi se anulan las resistencias en los cojinetes de los ejes.

Los aros de las ruedas de los carruajes son, por lo menos, de 150 milímetros de ancho, y los de la locomotora, por lo menos, de 200 milímetros. Las ruedas convergen hacia adentro, amoldándose así á la forma de los caminos; todas ellas son de acero fundido, teniendo las de la locomotora aros de acero endurecido algo acanalados, y las de los carruajes aros lisos de hierro dulce.

La locomotora se compone de un bastidor de un eje que se apoya, lo mismo que el tender, contra una sección longitudinal común, y que gire con relación á esta última para poderse guiar. Como fuerza motriz se utiliza el vapor, puesto que en la actualidad los motores por explosión no pueden ejercer considerables empujes, y no es posible variar el esfuerzo gradualmente á voluntad, variando á la vez la velocidad. Para evitar el excesivo peso de las locomotoras de vapor ordinarias, se utiliza una caldera tubular especial con hogar en su alma, lo cual ocupa poco espacio y sólo pesa la mitad que las calderas usuales. La alimentación de la caldera se efectúa por dos bombas de vapor independientes entre sí, las cuales funcionan también á mano. El caldeo se hace, según el sistema *hidroleum*, por aceite y chorro de vapor. De ese modo se evita la formación de humo, y se aprovecha completamente el combustible, no dejando residuos.

La combustión sólo necesita graduarse por un tornillo de válvula, no siendo, por lo tanto, preciso un fogonero, y pudiendo