

Estudios sobre los filtros rápidos

I

Resumen

El presente artículo tiene por objeto describir una serie de experimentos llevados a cabo en una pequeña instalación experimental de filtración existente en el Laboratorio de Bacteriología de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Se han obtenido tablas de observaciones y se han dibujado diagramas y curvas para estudiar la filtración y el efecto del lavado del filtro con diferentes velocidades de lavado.

Se han estudiado también la pérdida de carga durante la filtración y la de la corriente ascendente de lavado producida por el drenaje y por diferentes espesores de grava y arena.

Historia

Los primeros estudios que se hicieron con filtros experimentales fueron de 1903 a 1905 (que se publicaron en 1909) en la instalación de filtración de Cincinnati (E.E. UU.), para estudiar el efecto del lavado en la grava y arena, y se apuntó la conveniencia de colocar una pantalla de laión entre ambas capas, que la práctica ha desechado y se sustituye con ventaja por una buena dosificación y gradación del medio filtrante.

A éstos siguieron múltiples experimentos, y hoy día puede decirse que toda instalación de filtración de importancia en los Estados Unidos tiene establecido un laboratorio para experimentar y mejorar las instalaciones, y muchas veces para hacer verdaderos estudios de investigación sobre la naturaleza de la filtración y sus efectos. Entre éstos pueden citarse los laboratorios de Albany (1914), Akron - Ohio (1915), Baltimore (1929), Greenwich-Connecticut (1932) y Detroit (1932), sobresaliendo los estudios de Armstrong, en Baltimore (1931), y Baylis, en Chicago.

Esta investigación ha tomado carta de naturaleza, y en los laboratorios especiales de las Universidades de los Estados Unidos se llevan a cabo interesantes

experimentos, principalmente en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Harward, bajo la dirección del profesor Fair, y en la Universidad de Illinois (1932), con el profesor Babbitt.

Nada se ha publicado en España sobre el particular.

Aparatos y método de hacer observaciones

El filtro experimental era de sección cuadrada, de 33 cm de lado interior, tres de cuyas paredes laterales eran de palastro, y la cuarta de cristal, para poder observar lo que en el interior del filtro sucedía (figura 1).

Se perforaron 8 agujeros en la pared del filtro ex-

— Filtro experimental —

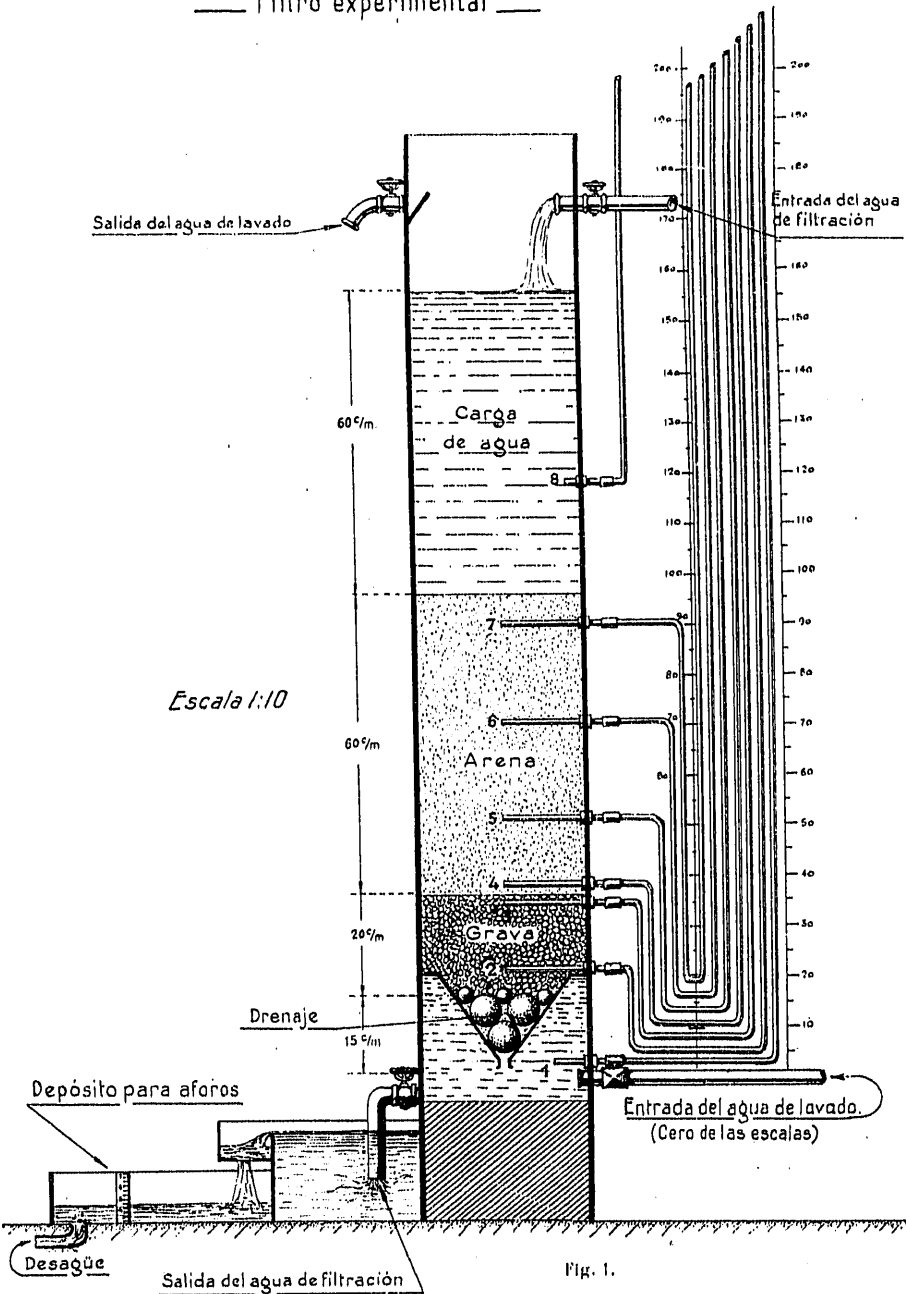


Fig. 1.

perimental en puntos convenientes, y se colocaron tubos de hierro galvanizado que, pasando por el agujero, llegaban hasta el centro del filtro, y que por el otro extremo se unían, por medio de un manguito de goma, a tubos de vidrio debidamente acodados; la altura que alcanzaba el agua en estos tubos era la medida en columna de agua de la presión en el punto en que se terminaba el tubo.

Detrás o al lado de estos tubos de vidrio se colocaron escalas metálicas, de tal manera que el cero de todas ellas estuviese a la misma altura, y todas las medidas se hacían sobre este cero.

Los tubos de vidrio tenían forma en U para poder medir la carga negativa.

El agua de lavado se admitía por la parte inferior, y por medio de una válvula, que se abría gradualmente, hasta que la velocidad ascendente del agua de lavado fuese suficiente para causar la flotación de toda la arena del filtro. La altura a que flotaba la arena sobre el nivel superior de la misma antes del lavado se medía por una escala colocada fuera del filtro y viendo la altura de la arena a través de los cristales.

Se aumentaba la velocidad de lavado del agua hasta un máximo de 52 a 54 cm por minuto, y la velocidad se calculaba por medio de la escala exterior del filtro y con un cronómetro.

Filtración

La acción filtrante de una arena debe atribuirse a las propiedades de los coloides depositados o formados en su interior, y los granos de arena asemejan a un esqueleto que soporta la delicada estructura que constituye el filtro formado por materia coloidal (principalmente orgánica, viva y muerta) depositada y desarrollada dentro del lecho.

En un filtro rápido, debido a los frecuentes lavados, la materia coloidal tiene menos oportunidad para desarrollarse; pero los coloides producidos por la reacción de los componentes químicos que se añaden ayuda a los coloides naturales en su acción filtrante, y los granos de arena llegan a estar recubiertos y, aun con violentos lavados del lecho, no se desprenden enteramente de su vestido.

Parámetros o coeficientes hidráulicos de Hazen

Dos son, según este autor, los factores o coeficientes que expresan la eficacia hidráulica de una arena:

1.º *Tamaño efectivo de la arena*, según Hazen, es el tamaño de un grano tal, que el 10 por 100 en peso de las partículas de la arena son menores y el 90 por 100 mayores que dicho tamaño.

La explicación de este sorprendente fenómeno está basada en la creencia que el 10 por 100 de la arena fina tiene tanta influencia en el filtro como el 90 por 100 de los granos más gruesos.

2.º *Coeficiente de uniformidad* es la relación o cociente del tamaño de los granos tales, que el 60 por 100 de la arena es más fina que este tamaño, al tamaño efectivo, o, de otro modo, una relación de las partículas grandes a las pequeñas.

Las arenas usuales suelen tener de 0,20 a 0,40 mi-

límetros de tamaño efectivo, y antiguamente se utilizaban en los filtros arenas finas de alrededor de 0,35 mm y capa de 75 a 100 cm de espesor; pero cada día es mayor la tendencia a utilizar arenas más gruesas, de 0,40 a 0,55 mm de tamaño efectivo, y reducir la capa hasta 60 cm.

Las arenas naturales suelen tener coeficientes de uniformidad comprendidos entre 1,5 a 2,5, pero las mejores arenas para filtros lo deben tener menor de 2,0.

Determinación de los parámetros

Los dichos parámetros hidráulicos de la arena se determinaban, según las normas corrientes, por medio de una serie de cribas de características conocidas.

El sistema de cribas que se utiliza en los Estados Unidos es el que propuso el U. S. Bureau of Standard en 1924, cuya característica es que el número de huecos de cada criba sea doble que los de la siguiente, de tamaño menor, y la mitad que los de la inmediatamente, de tamaño mayor.

Como no se fabrica en Europa esta serie de cribas, nosotros adoptamos el siguiente sistema:

Número de la tela	Número de mallas por cm	Número de mallas por cm ²	Dimensiones de las mallas en mm
10	3,60	13,0	2,78
14	5,04	25,4	1,98
18	6,48	42,0	1,54
30	10,80	116,7	0,926
40	14,40	207,5	0,694
50	18,00	324,2	0,556
60	21,60	446,8	0,463
70	25,20	635,4	0,397
80	28,80	829,9	0,347
110	39,60	1 569,0	0,253

Para hacer las experiencias se utilizó arena ordinaria de río convenientemente lavada, y como pasando la muestra de arena por la serie de cribas generalmente ninguna de éstas indica exactamente el 10 por 100, el tamaño equivalente de malla se estimaba por medio de una curva, como es corriente en la práctica norteamericana.

En el diagrama y el cuadro de la figura 2 hay un ejemplo de un análisis de arena.

Otros parámetros hidráulicos de las arenas

Modernamente se ha comprobado que estos coeficientes hidráulicos de Hazen dan una indicación incompleta del carácter físico de la arena, porque no tienen en cuenta la diferencia de la forma de los granos, que influye considerablemente en la pérdida de carga.

Además, los coeficientes de Hazen se estudiaron y desarrollaron en relación con los filtros lentos, y se deben modificar con objeto de acondicionarlos a lo que sucede en la operación de los filtros rápidos.

Por todo esto, en los últimos años se han llevado a cabo multitud de tentativas para encontrar otros parámetros que indiquen más concretamente la eficacia hidráulica de las arenas.

Abrahams propone la sustitución del coeficiente de uniformidad por el *módulo de finura*, y Tyler el *módulo de superficie*.

Según experiencias llevadas a cabo en la Escuela de Ingeniería de Harvard durante el año 1932, los parámetros que se consideran de primera importancia para evaluar las características hidráulicas de la arena son: 1.º El área de superficie o de contacto de los granos por unidad de volumen de arena compacta, expresada en cm^2 por cm^3 . 2.º El volumen de los huecos o intersticios entre los granos expresados en cm^3 por 1 000 gramos de arena compacta, esto es, la porosidad. La porosidad es una medida de los efectos de la forma de los granos más cómoda de eva-

so del agua a través del filtro, tendremos

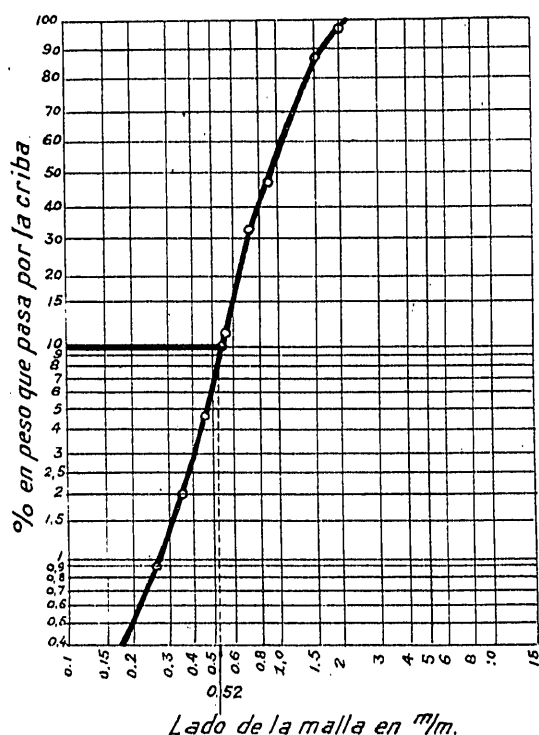
$$H_s - H_e = \frac{V_e^2}{2g} + \Sigma R_f$$

y como las cargas o componentes debidos a la velocidad son muy pequeños, porque la velocidad lo es, comparados con los de resistencia a la fricción, resulta prácticamente

$$\text{Carga del filtro} = H = \Sigma R_f$$

Y esta resistencia total a la fricción depende principalmente del área de contacto y del volumen de los huecos. A medida que la partícula se separa de la

Diagrama de análisis de arena.



Nº Tamiz	Lado en mm	Pasa por el en gramos	Pasa en %
10	2,780	1500	100,0
14	1,980	1498	99,8
18	1,540	1348	89,8
30	0,926	708	47,2
40	0,694	475	31,6
50	0,556	174	11,6
60	0,463	72	4,8
70	0,397	45	3,0
80	0,347	29	1,93
110	0,253	14	0,935

Cantidad de arena examinada 1500 gr.
 Pérdida por cribado 12 "
 Error por pérdida 0,85 %
 Tamaño efectivo (10%) 0,52 mm
 60 % más fino 1,05 mm
 Coeficiente de uniformidad 1,82 .

Fig. 2.

luar que la apreciación matemática de la forma, por medio de un factor de forma, que algunos investigadores han propuesto.

Aparentemente la porosidad de una columna de arena debe afectar grandemente a su resistencia al paso del agua, y la porosidad depende grandemente del tamaño y de la forma de los granos.

Suponiendo una capa filtrante de arena y siendo H_s y H_e la elevación en metros de la superficie del agua en el filtro y en la cámara efluente, contadas sobre un mismo plano, y $V_s = 0$, y V_e las velocidades del agua en la superficie del filtro y en la de la cámara efluente, y siendo p la presión atmosférica, tenemos, aplicando el teorema de Bernoulli entre la superficie del filtro y la superficie de la cámara efluente,

$$H_s + p + \frac{V_s^2}{2g} = H_e + p + \frac{V_e^2}{2g} + \Sigma R_f$$

y siendo ΣR_f la resistencia total o la fricción del pa-

forma esférica aumenta su área de contacto o superficie (que hace aumentar la pérdida de carga del filtro) y aumenta también la porosidad (que hace disminuir dicha pérdida de carga).

Nosotros hemos utilizado los parámetros de Hazen para nuestro estudio, pues aunque algunos modernos investigadores opinan que el tamaño 10 por 100 no es propiamente el t. e. hidráulico, no se ha encontrado otro tamaño que indique con más eficacia el comportamiento hidráulico de cualquier arena.

Constitución del filtro

Se hicieron diversas pruebas, variando los espesores y tamaños de las capas de grava y arena, y, por fin, se adoptó el siguiente lecho:

Grava en un espesor de 18 cm, formando tres capas: primera capa, 3 cm de grava, que pasa por el tamiz de 1 pulgada (2,54 cm) y se detiene en el de 3/4 de pulgada (1,9 cm); segunda capa, 11 cm de grava, que pasa por el tamiz de 3/4 de pulgada y se

detiene en el de $3/8$ de pulgada (0,95 cm); tercera capa, 4 cm de gravilla, que pasa por el tamiz de $3/8$ de pulgada y se detiene en el de 4 mallas por pulgada (0,47 cm de lado).

Capa de arena gruesa de 2 cm de espesor, que pasa por el tamiz de 4 mallas por pulgada y se detiene en el de 8 mallas por pulgada (0,235 cm de lado).

Capa de arena fina de 60 cm de espesor, con un tamaño efectivo de 0,52 mm y no excesivamente uniforme, para lo que hicimos diversas mezclas, y, por fin, aceptamos un coeficiente de uniformidad de 1,82.

Escogimos con gran cuidado las diferentes capas de grava, pues su función en un filtro rápido es: soportar la capa de arena, actuar como distribuidor de la corriente ascendente del agua de lavado y evitar que la arena pase, a través de los huecos de la grava, a los drenes y obture éstos, y esto sólo se consigue con una buena gradación, y así, en nuestro caso, después de múltiples experimentos, no había llegado a los drenes nada de arena.

Las cribas para la gradación de la grava son las utilizadas por Abrahams en su estudio sobre dosificación de hormigones.

Drenaje

El drenaje utilizado en el filtro experimental es del tipo Wheeler, adoptado en la instalación de Akron, Ohio, después de múltiples experiencias.

Está constituido por una pirámide cuadrangular regular invertida y colocadas en su interior 14 bolas

de cemento en tres capas: las dos inferiores de 7,5 centímetros de diámetro, y la superior constituida con 9 bolas de 3,5 cm.

Este tipo de drenaje tiene las ventajas de bajo precio de establecimiento, no existencia de espacios muertos y ausencia de partes de metal sujetas a depreciación o corrosión.

Nosotros comprobamos durante los experimentos la perfecta distribución del agua de lavado por entre las bolas, puesto que con la máxima velocidad de lavado que podíamos conseguir (54 cm por minuto) no se producen movimientos perceptibles de la capa de 20 cm de grava, aun antes de colocar la arena, y, por lo tanto, no es necesario ninguna clase de malla ni pantalla entre la grava y la arena.

En otros tipos no tan perfectos de drenaje, al entrar el agua de lavado, y debido a la imperfecta distribución de ésta, se producen chorros y surtidores que perturban las capas de grava y arena y hacen que la arena, durante el proceso de filtración, se escape por entre los huecos producidos.

Para formar el lecho, cada capa de grava se colocaba a mano cuidadosamente, y después de colocar la capa de arena gruesa se llenaba el filtro de agua hasta el aliviadero, se echaba entonces la arena en el filtro y se sedimentaba sobre la gravilla en montones; entonces se abría la llave de lavado, y después de un enérgico lavado se quedaba el lecho horizontal y uniforme.

En otro artículo expondremos los resultados obtenidos en nuestras experiencias.

Gabriel BARCELÓ
Ingeniero de Caminos

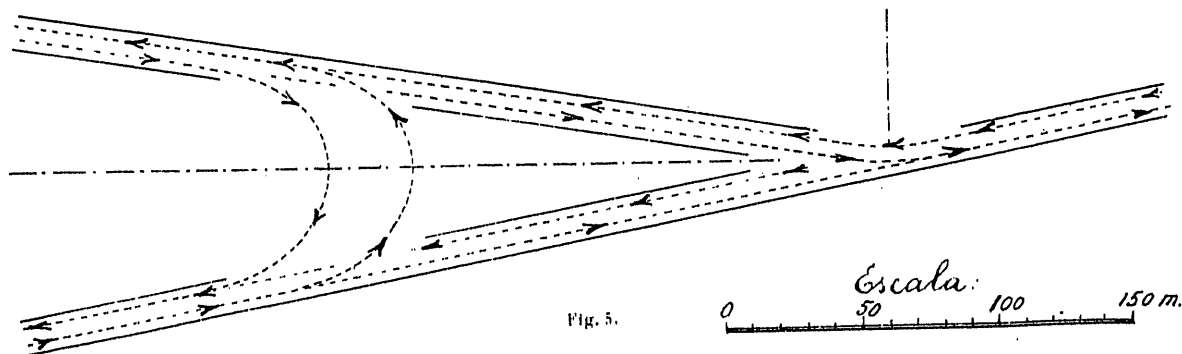
La lemniscata de Bernouilli en las curvas de las carreteras

III

Proyecto de empalme de una carretera de 12 m de ancho con otra del mismo ancho y ángulo de 160°

Las curvas de enlace, que serán de transición, han de permitir la circulación con velocidad máxima de

Dado el ancho de una y de otra carretera, ha de haber en ellas dos zonas de circulación, una para cada sentido de marcha, con capacidad para dos filas de vehículos, con lo que será posible el adelanto sin invadir la zona de circulación de sentido contrario, circunstancia que ha de poder realizarse también en las curvas de enlace.



seguridad de 30 km/hora en todas las direcciones posibles, y además se establecerán con normas idénticas el sobreancho, peralte y visibilidad que se les asigne.

La figura 5 es un esquema de la cuestión planteada; en ella se representan con líneas llenas las aristas de la explanación, y con líneas de puntos los ejes de cada una de las zonas de circulación, ejes que han de permitir el paso de una a otra carretera sin manobra alguna por parte de los automóviles; y para

¹ Véase el número anterior, página 265.