

una de ellas a la velocidad que le corresponda, tenga espacio suficiente para aumentarla o disminuirla en la diferencia entre aquellas dos velocidades.

De otro modo: los vehículos — y aquí hay que mirar a los de carga — no aceleran ni reducen su marcha instantáneamente, sino que necesitan un

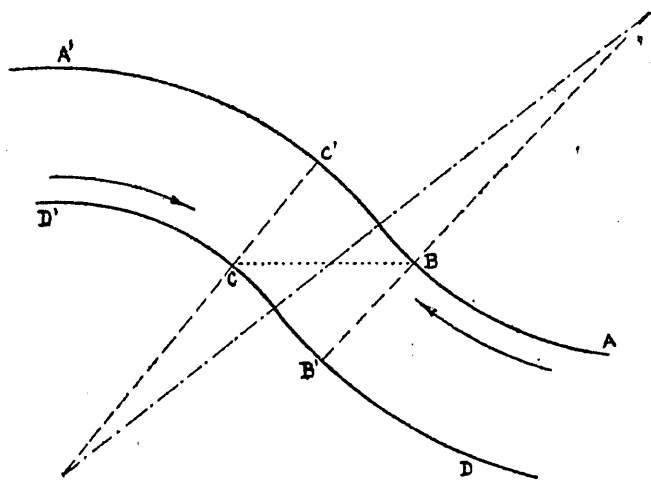


Fig. 11

cierto tiempo (que se traduce en espacio) para pasar de la velocidad v_1 a la v_2 ; y si el espacio entre las curvas C_1 y C_2 , circulables a velocidades v_1 y v_2 , fuera inferior al necesario para la transición, de nada serviría dar a cada una los peraltes teóricos correspondientes, puesto que el vehículo que circulara a v_1 por la primera, no podría circular a v_2 por la segunda. Y esto que siendo $v_1 < v_2$ tiene poca importancia, al pasar de C_1 a C_2 la adquiere, grandísima, al pasar de C_2 a C_1 , pues que representa recorrer la curva C_1 a mayor velocidad de la que le es propia si con la suya se recorrió la curva C_2 .

Precisa, pues, admitir, en función del espacio recorrido, determinados incrementos de velocidad, y es claro que éstos serán esencialmente variables con

las rasantes de la carretera. Sin que pretenda tengan ningún carácter de absolutas, se pueden admitir las siguientes cifras: para rasantes hasta del 2 por 100, variaciones de un kilómetro por hora cada 10 m; del 2 al 6 por 100, el mismo incremento cada 15 m; por encima del 6 por 100 — y más para bajándolas que para subiéndolas —, la misma variación cada 20 metros. En todo caso debe suponerse que la velocidad se mantiene constante durante todo el recorrido de la curva; y con los valores anteriores puede admitirse, sin inconveniente, que las variaciones de velocidad se realizan en la totalidad de los tramos rectos entre tangentes de curvas sucesivas.

Tal vez algún escéptico — sospecho que no faltan entre mis compañeros — sonría al pasar su vista por las anteriores consideraciones; hace mal, y esté seguro de que el tener presentes esas mutuas influencias de las curvas es base absolutamente indispensable para conseguir un peraltado eficaz y es causa de considerable reducción de accidentes, porque el verdadero conductor, el que es consciente y sabe lo que lleva entre manos, el que es sensible a las indicaciones, necesidades, o aun quejas de su vehículo, se da perfecta cuenta de que un peralte no corresponde a una curva determinada y es por ello advertido de que más adelante se encontrará con una curva más cerrada, y lleva su coche ya dominado, y consigue, sin temeridades, hacer velocidades medias considerables, ahorrando mucho combustible y no poco freno.

Seguramente que esos mismos «escépticos» encontrarán demasiado pesada la labor de un proyecto de peraltado, si ella obliga a todos los cálculos que se deducen de lo anterior. Tal vez no les falte razón, aunque yo les aseguro que, con un perfil longitudinal de la carretera, su estado de alineaciones y unas tablas — facilísimas de formar —, el trabajo es mucho menos pesado de lo que a primera vista puede parecer; pero no está en mis manos — y bien lo siento — reducir la pesadez de la resolución de esos problemas... y ni aun la de estas notas.

P. ARAGONÉS
Ingeniero de Caminos

La experimentación hidráulica en la Facultad de Toulouse

Oportunamente se ocupó la REVISTA del folleto que contiene las tesis doctorales de M. L. Escande¹, y en que este distinguido hidráulico francés expone numerosas experiencias hechas para probar la realidad de la semejanza hidrodinámica, en modelos reducidos.

El tema es de actualidad palpitante y por ello, gentilmente autorizados por el autor, pretendemos dar hoy a los lectores un extracto de los resultados obtenidos por M. Escande, cuyo folleto deberá consultarse para obtener más completa información.

Ante todo, es preciso distinguir, dentro del régimen tranquilo de circulación de los fluidos, los casos siguientes:

- | | |
|---|--|
| 1) Circulación con superficie libre | $\left\{ \begin{array}{l} A_1: \text{Líquidos perfectos.} \\ B_1: \text{Líquidos viscosos.} \end{array} \right.$ |
| 2) Circulación en los sistemas en carga | $\left\{ \begin{array}{l} A_2: \text{Líquidos perfectos.} \\ B_2: \text{Líquidos viscosos.} \end{array} \right.$ |

Se desarrolla, sobre esta división, el estudio analítico de la semejanza, que, con las variaciones que cada caso impone, es esencialmente el mismo. El movimiento M_1 viene determinado por un conjunto de parámetros entre los cuales se verifican las ecuaciones generales de la hidrodinámica, o sea el sistema S_1 .

Imaginemos un segundo movimiento, M_2 , cuyos parámetros se hayan obtenido de los del anterior multiplicando:

¹ Thèses présentées à la Faculté des Sciences de Toulouse, par M. L. Escande. París, R. G. E.

las dimensiones lineales, por λ (semejanza geométrica);

los tiempos, por θ ;

las diferencias de presión, por α ;

la densidad, por m , y

el coeficiente cinemático de velocidad, por K .

Estableciendo entre los nuevos parámetros las ecuaciones generales, obtendremos un sistema, S_2 , que, comparado con el S_1 , permitirá establecer las relaciones que caractericen la semejanza.

Aplicado este método al caso A_1 , circulación de líquidos perfectos, con superficie libre, se obtiene

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda\theta^{-2} = 1$$

Fijadas las constantes m y λ (naturaleza del líquido y escala del modelo), se tiene:

$$\alpha = m\lambda \quad \theta = \sqrt{\lambda}$$

El problema es posible y está perfectamente determinado. La semejanza existe y de una sola manera. Si $m = 1$, es decir, si se opera con un mismo líquido, como de ordinario en los laboratorios, $\alpha = \lambda$.

Hay que hacer notar que la relación $\alpha = m\lambda$ subsiste mientras las diferencias de presión no adquieren valores tales que afecten al equilibrio molecular del líquido. Si, por ejemplo, se alcanzan valores inferiores a la tensión del vapor a la temperatura de la experiencia, el estado líquido no podrá subsistir y se producirá una discontinuidad, cesando la semejanza.

B_1) Las ecuaciones generales tienen un término más de la forma $\frac{1}{\rho} \Delta u$, siendo $\frac{1}{\rho}$ el coeficiente cinemático de viscosidad, y las condiciones de semejanza se expresan por

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda\theta^{-2} = K\lambda^{-1}\theta^{-1} = 1$$

K , m y λ definen las condiciones de la experiencia, obteniéndose, por tanto, tres ecuaciones de condición entre dos variables, α y θ . La semejanza sólo será posible en el caso particular, en que

$$K\lambda^{-1}\theta^{-1} = 1$$

o bien

$$K = \lambda\theta = \lambda^{1/2}$$

No existirá, pues, semejanza si se opera con un mismo líquido.

En el caso de movimientos con potencial de velocidad, es decir, cuando las componentes de la velocidad sean iguales a las derivadas, en el mismo punto, de una función φ de los puntos del campo, las ecuaciones generales se reducen a las de los líquidos perfectos por desaparecer los términos de viscosidad, y la semejanza existe sea cualquiera el líquido con que se experimente.

A_2) El método general aplicado a los sistemas

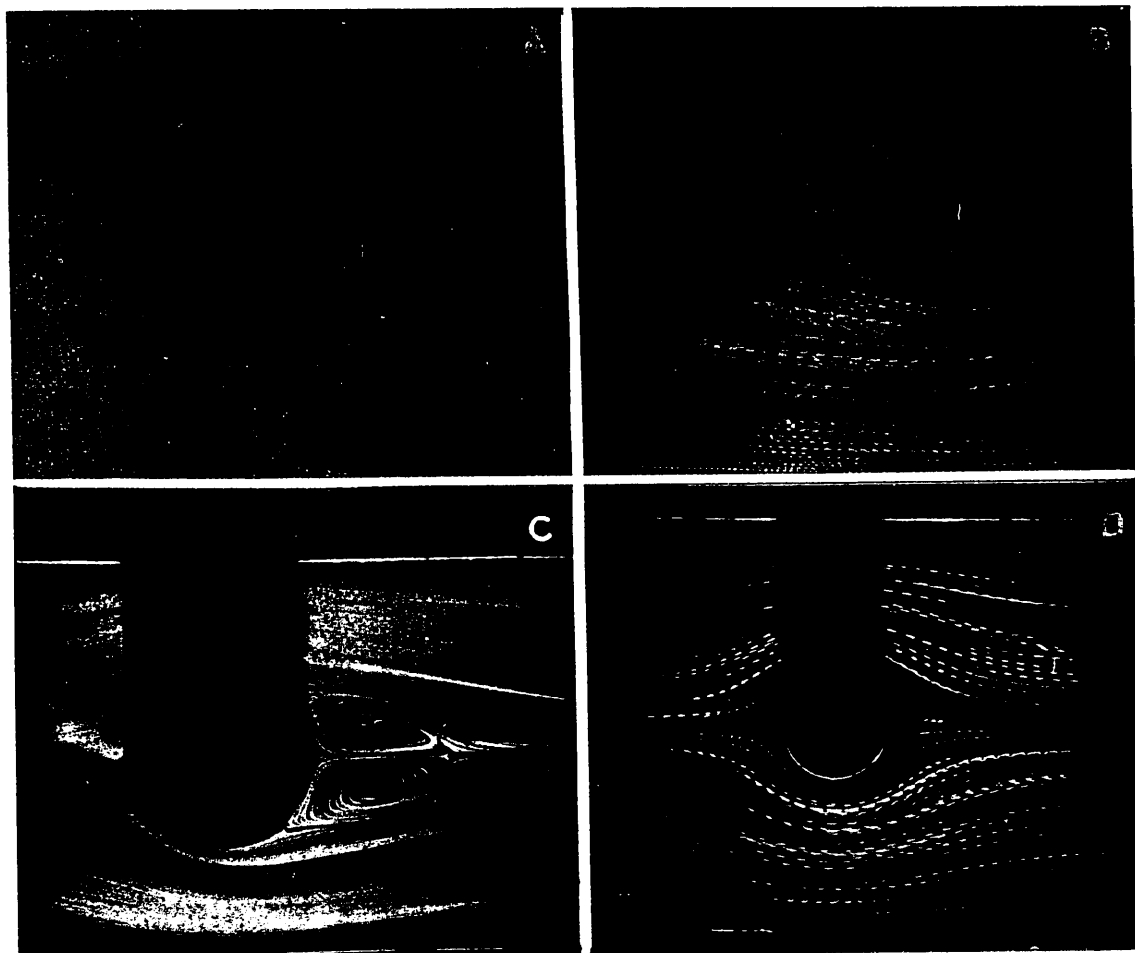


Fig. 1.^a Circulación alrededor de un obstáculo sumergido para diferentes valores del número de Reynolds

constituidos por líquidos perfectos y a presión conduce a una única condición

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda 0^{-2}$$

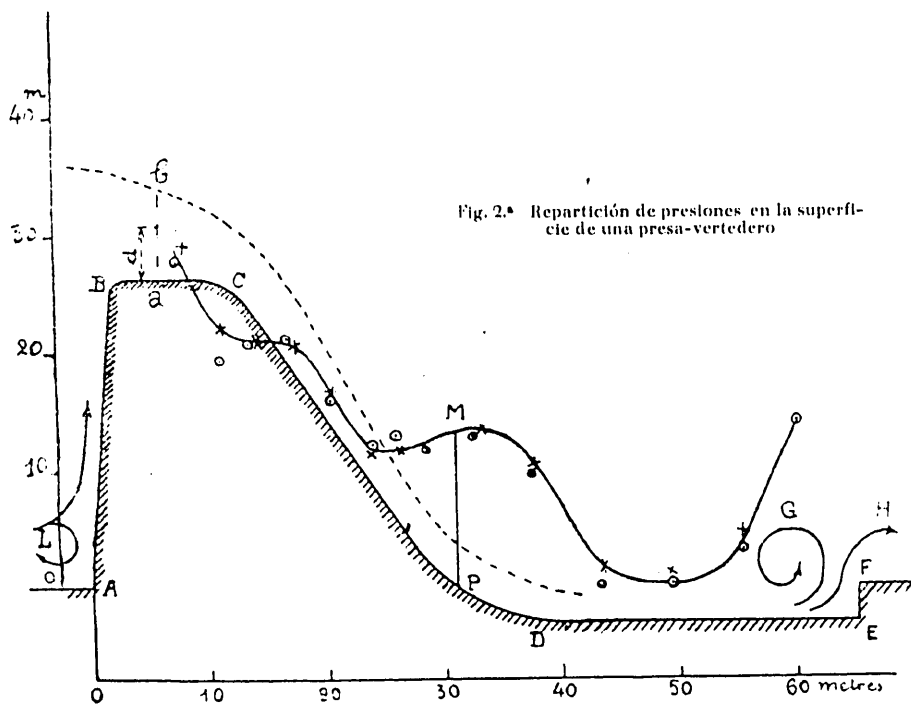


Fig. 2. Repartición de presiones en la superficie de una presa-vertedero

Hay, pues, infinitos modos de realizar la semejanza, correspondientes a los valores que se asignen a α .

B₂) En los líquidos viscosos, las ecuaciones de semejanza son

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda 0^{-2} = K\lambda^{-1} 0^{-1}$$

Las incógnitas α y λ están, pues, determinadas y la semejanza es posible y de una sola manera.

Las velocidades quedan en la relación

$$\frac{V_2}{V_1} = \lambda 0^{-1} \quad \frac{\alpha}{m} = K\lambda^{-1}$$

consecuencia, por otra parte, de la ley de Reynolds

$$\frac{VD}{\mu} = \text{cte.}$$

pues reemplazando, en la anterior, λ por $\frac{D_2}{D_1}$ y

$$K \text{ por } \frac{\mu_2}{\mu_1} \text{ queda}$$

$$\frac{V_1 D_1}{\mu_1} = \frac{V_2 D_2}{\mu_2}$$

Para el caso en que la circulación corresponda al régimen turbulento recurre el Sr. Escande a las ecuaciones de Boussinesq, distinguiendo en cada componente de la velocidad dos partes: una, U , que corresponde al valor medio, y otra, U_1 , a la velocidad de agitación local.

En tal caso, las componentes de la aceleración valen

$$u' = \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z}$$

y las componentes de las presiones normales y tangenciales, respectivamente,

$$V_r = -p + 2\mu \frac{\partial U}{\partial x}$$

$$t_r = \mu \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right)$$

siendo p el valor de la presión si las moléculas perdieran su velocidad. En estas condiciones, las ecuaciones indefinidas del movimiento conducen al sistema

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial T_x}{\partial y} + \frac{\partial T_y}{\partial z} + \rho X = \rho u' \quad [1]$$

sobre el cual puede hacerse el estudio de la semejanza lo mismo que se hizo para el régimen no turbulento.

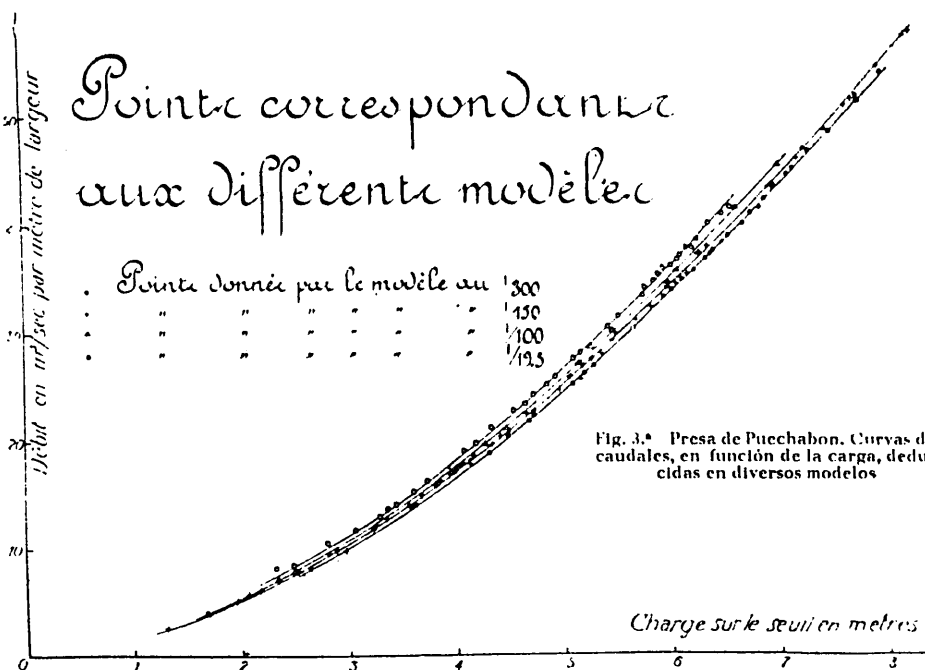


Fig. 3. Presa de Puechabon. Curvas de caudales, en función de la carga, deducidas en diversos modelos

Deberemos distinguir dos casos: a), movimiento con rozamiento despreciable; b), rozamiento apreciable.

a) En este caso, por ser el líquido poco viscoso, μ tiene un valor muy pequeño, o bien el movimiento

es prácticamente irrotacional. De todos modos, se tiene

$$N_x = N_y = N_z = -p \quad T_x = T_y = T_z = 0$$

y el sistema [1] se convierte en las ecuaciones de

Al crecer la turbulencia la influencia de la viscosidad propia se hace despreciable, y la función f tiende a un valor constante. Entonces, prácticamente,

$$A_{01} = \frac{1}{g} f \left(\frac{VD}{\mu} \right)$$

$$A_{01} = A_{02} \quad y \quad K = \lambda^{20-1}$$

como en el caso de régimen no turbulento.

En definitiva: la semejanza existe y las ecuaciones son semejantes a las del régimen no turbulento:

1.º Si los rozamientos son despreciables.

2.º Si, no siéndolo, la turbulencia es muy notable en todos los modelos comparados.

Siendo notables los rozamientos y escasa la turbulencia es preciso, para que exista semejanza, que se verifique la ley de Reynolds

$$\frac{VD}{\mu} = \text{cte.}$$

Las experiencias del Sr. Escande han comprobado la exactitud de los cálculos reseñados. La magnífica instalación del Laboratorio de Toulouse y la práctica adquirida en él han permitido el empleo de

los líquidos perfectos. La semejanza existe, pues, en las mismas condiciones que en los casos A_1 y A_2 , según se trate de movimientos con superficie libre o a presión, siempre, claro es, que se reemplacen los valores de la velocidad y presión en cada punto por sus valores medios.

b) Si los rozamientos intervienen de modo apreciable, las ecuaciones a que se llega son:

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda 0^{-2} = K \lambda^{-1} 0^{-1} = 1$$

para los movimientos con superficie libre, y

$$\frac{\alpha}{m\lambda} = \lambda 0^{-2} = K \lambda^{-1} 0^{-1}$$

para los sistemas en carga.

Se observa que estas ecuaciones son idénticas a las obtenidas en los casos similares del régimen no turbulento, debiéndose notar, únicamente, que K no es el valor de la relación fija entre los coeficientes cinemáticos de viscosidad real de los líquidos utilizados, sino la relación entre sus coeficientes de rozamiento dependiente de la turbulencia del movimiento.

Puede escribirse

$$K = \frac{A_{02}}{A_{01}} \cdot \lambda^{20-1}$$

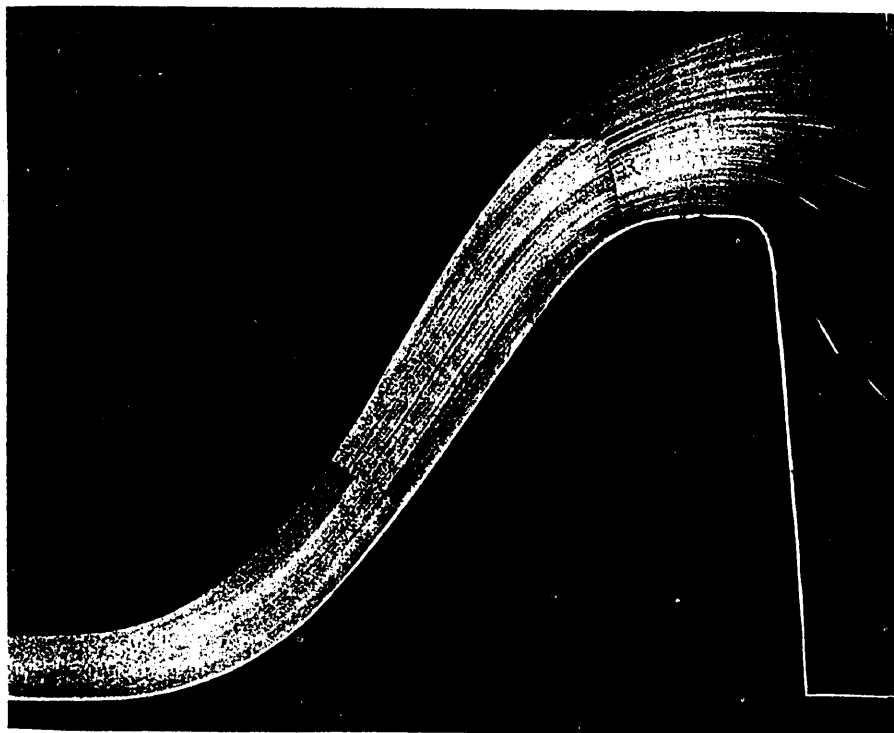


Fig. 4.ª Presa de Pinet. Forma de las trayectorias

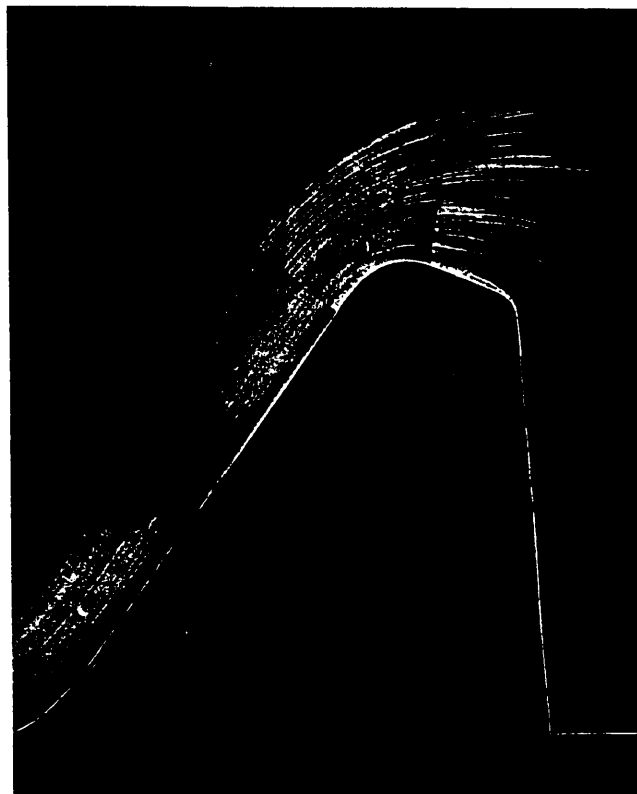


Fig. 5.ª Presa de Puechabon. Forma de las trayectorias

métodos exactísimos, como el cronofotográfico, para la determinación de velocidades, que han podido, en ocasiones, registrarse hasta a distancias de 0,2 milímetros de las paredes.

Entre las más interesantes de tales experiencias citaremos algunas:

Circulación con superficie libre de líquidos viscosos.—Se midió el tiempo de vaciado de un recipiente por un tubo cilíndrico, experimentando con tres aceites cuyos valores $\frac{\mu}{\rho}$ eran, respectivamente, 1,51, 0,605 y 4,10 (en unidades CGS y temperatura de la experiencia).

Dando a los modelos dimensiones geométricas en la relación $\lambda = K^{1/2}$ se comprobó que los volúmenes recogidos en tiempos, según la relación $\sqrt{\lambda}$, estaban entre sí en la relación λ^3 . Este valor llegó a ser de 1 950 en una de las experiencias.

Movimientos en carga de líquidos viscosos.—La figura 1.^a es fotografía de la circulación de un líquido viscoso alrededor de un obstáculo, para diferentes valores del número de Reynolds. Cuando éste es pequeño, la repartición de velocidades es simétrica. Si aquél crece (B y C), aparecen dos torbellinos simé-

tricos aguas abajo del obstáculo. Para valores mayores aún el régimen se hace turbulento, apareciendo y desapareciendo los torbellinos (A).

Extensión de la semejanza a las grandes velocidades.—Utilizando presiones de 150 kg/cm² se ha conseguido realizar velocidades de hasta 110 m/seg en el interior de tubos lisos.

En los varios modelos comparados, la semejanza era perfecta, a pesar de estar las presiones en la relación 1 680.

Estudios sobre presas vertederos.—El Sr. Escande dedica un capítulo a estas experiencias interesantísimas por su inmediata aplicación práctica. Nos limitamos a reproducir varios de los gráficos y fotografías que ilustran el texto y que dan buena idea del alcance de los ensayos.

La figura 2.^a muestra la distribución de presiones en la superficie de los modelos estudiados. En la 3.^a se puede comprobar la exactitud de la semejanza conseguida en varios modelos de la presa de Puechabon, observándose que los resultados son tanto más pesimistas cuanto menor el modelo.

Por último, las figuras 4.^a y 5.^a son dos magníficas fotografías de la forma de las trayectorias en dicha presa y en la de Pinet.

E. B.

Los abastecimientos de agua de los pueblos

A modo de preámbulo

Antes de entrar en materia sobre el tema a que han de referirse las cuartillas que van a seguir, me parece conveniente una ligera digresión sobre el mismo, no tanto como justificante de la necesidad de su publicación, sino porque se trata de una cuestión que, a mi juicio, merece alguna atención: el importante problema de las conducciones de aguas potables para los abastecimientos de los pueblos.

Quizás porque tomé con algún empeño la dotación a los pueblos que carecían de aguas potables, en los cinco años que me correspondió desempeñar el cargo de jefe de la División Hidráulica del Miño, y porque después, en esta otra División Hidráulica de Vizcaya, he tenido que informar en expedientes relacionados con el mismo problema, observando, en general, una desorientación manifiesta en el personal técnico de los Ayuntamientos que no han estudiado todavía suficientemente la legislación vigente sobre la materia, o no le dan la importancia que tiene y merece esta rama de la Ingeniería Sanitaria, es lo cierto que, en mi afán de llegar a una posible orientación práctica, la sugestión consiguiente, es motivo de que trate de hacer partícipes de ella a mis compañeros, lo que no podrá menos de redundar en beneficio de la salubridad pública, considerada justamente como uno de los tesoros de la humanidad.

A vulgarizar este problema, si así quiere calificarse la idea, tienden los renglones que van a seguir y que irán agrupados en cuatro artículos cortos y lo más sintéticos posible en gracia a la brevedad.

Y sólo una ligera observación.

No trato de condenar con estas líneas al ostracismo el uso cotidiano del agua de balsa, que las tres cuartas partes de la población rural de España viene

empleando como bebida irremplazable y preferible para ellos a la de los manantiales y pozos artesianos, ya que puede ocurrir, y ocurre seguramente, que por la naturaleza del subsuelo la composición química de estas aguas no siempre queda libre o exenta de salinas y sulfatos insolubles, perjudiciales a la salud; pero no hay duda que, en cuanto a la parte orgánica y bacteriológica, las aguas de balsa, que a simple vista llevan en suspensión productos vivos animales, no se hallan libres de mayores peligros, dudosamente atenuados con la adición de bebidas alcohólicas, lo que se traduce, a la larga, en anormalidad de funcionamiento de vísceras importantes, como el hígado y riñones, y consiguientes alteraciones fisiológicas, que resultan endémicas, con evidente perjuicio de la salud pública.

Me he de referir, por tanto, a las conducciones de aguas de manantiales o de arroyos en su nacimiento u origen, señalando los medios prácticos y económicos conducentes a la resolución de este problema de vital interés nacional.

I

Consideraciones generales

Desde que por el Estatuto Municipal vigente se viene exigiendo a los Ayuntamientos que no descuiden la labor sanitaria, que abarca principalmente el abastecimiento de aguas y el alcantarillado, como obras esenciales anejas a dicha labor sanitaria, para tratar de llegar a las mejores condiciones higiénicas que quepan dentro de las disponibilidades económicas de los Municipios, entendiéndose con ello la probabilidad de reforzar los ingresos o de adquirir de los establecimientos bancarios los créditos suficientes como requisito previo a las mejoras que han de