Comentario al artículo "Resaltos en canales" de Luis Torrent Rodríguez

Publicado en la Revista de Obras Públicas de octubre de 1993

Por Luis Torrent Rodríguez*

No es frecuente que mis trabajos de colaboración en la Revista de Obras Públicas merezcan posteriores comentarios técnicos, debido, tal vez, al poco interés que suscitan los problemas planteados o, quizá, a la aridez de la exposición (en contraste con la humedad de los temas tratados). Como no es probable que el último trabajo publicado sea la excepción a esta habitual regla, he tomado la iniciativa juan-palomina de añadir una coletilla al artículo, para que no quede desairado, huérfano de comentario posterior.

Al tratar de resaltos en conductos circulares, señala el autor la poca probabilidad de que se produzcan a partir de un régimen rápido a lámina libre, llegando a uno lento, también a lámina libre y, además, sin sobrepasar el calado estable, que es el que produce igual pérdida de carga que la del tubo lleno. Por el contrario, es frecuente que un flujo rápido en la tubería dé lugar, tras el resalto, a un régimen a presión.

Para estudiar este caso, se establece la igualdad de las fuerzas específicas del flujo antes y después del cambio de régimen, despreciando la influencia de la pendiente del conducto y del rozamiento, dada la corta longitud en que se produce el resalto.

Dichas fuerzas, suma del empuje hidrostático y el momento del flujo, son

$$F_e = \frac{Q^2}{Sg} + Sh_g \qquad [1]$$

Utilizando la misma notación del artículo comentado, Q es el caudal (m^3s^{-1}), S es la sección mojada (m^2), g representa la aceleración de la gravedad, h_g es la distancia del centro de gravedad de S al nivel libre del agua

$$h_g = \frac{C^3}{12\ S} - r\cos\frac{\beta}{2} \qquad [2]$$

**Ingeniero de Caminos ,Canales y Puertos*

en la que C = 2 r sen ß/2 es la cuerda o anchura de la superficie de S, r es el radio de la conducción y ß, el ángulo en el centro de la sección (rad.).

Substituyendo en [1] y "simplificando", queda

$$F_e = \frac{2\ Q^2}{gr^2\ (\beta - \mathrm{sen}\beta)} + \frac{2}{3}r^3\,\mathrm{sen}^3\frac{\beta}{2} - \frac{1}{2}r^3\,(\beta - \mathrm{sen}\beta)\cos\frac{\beta}{2}$$

[3]

Para el régimen rápido, se obtiene F_{e1} particularizando [3] para ß1, que será menor que el ángulo en el centro de la sección crítica (β_{cr}).

La fuerza específica de la sección llena, sin presión en la clave del tubo, corresponde a ß = 2π

$$F_{e2} = \frac{Q^2}{g\pi r^2} + \pi r^3 \qquad [4]$$

Si tras el resalto hay un gradiente Z = Gr

$$F_{e2} = \frac{Q^2}{g\pi r^2} + \pi r^3 G = F_1 \qquad [5]$$

La altura de la línea de carga sobre la arista inferior del tubo $y_2 = r + Gr$ se obtiene de [5], substituyendo G. Resulta

$$y_2 = \frac{2Q^2}{g\pi r^4}\left(\frac{1}{\beta_1 - \mathrm{sen}\beta_1} - \frac{1}{2\pi}\right) + \frac{r}{2\pi}\left[\frac{4}{3}\mathrm{sen}^3\frac{\beta_1}{2} - (\beta_1 - \mathrm{sen}\beta_1)\cos\frac{\beta_1}{2} + 2\pi\right]$$

[6]

Expresión que se puede escribir referida a ßcr del caudal Q, aplicando la fórmula

$$\frac{16Q^2}{gr^5} = \frac{(\beta_{cr} - \operatorname{sen}\beta_{cr})^3}{\operatorname{sen}\frac{\beta_{cr}}{2}} \qquad [7]$$

O bien, en función de la energía cinética de la sección llena, cuya velocidad es Vo = Q/S, con lo que queda

$$y_2 = \frac{V_o^2}{2g}\left(\frac{4\pi}{\beta_1 - \operatorname{sen}\beta_1} - 2\right) + \frac{r}{2\pi}\left[\frac{4}{3}\operatorname{sen}^3\frac{\beta_1}{2} - (\beta_1 - \operatorname{sen}\beta_1)\cos\frac{\beta_1}{2} + 2\pi\right]$$

[8]

Con esta notación, la pérdida de energía en el resalto es

$$e_1 - e_2 = \frac{V_o^2}{2g}\left(\frac{2\pi}{\beta_1 - \operatorname{sen}\beta_1} - 1\right)^2 + r\left(\frac{\beta_1 - \operatorname{sen}\beta_1}{2\pi} - 1\right)\cos\frac{\beta_1}{2} - \frac{2\pi}{3\pi}\operatorname{sen}^3\frac{\beta_1}{2}$$

[9]

EJEMPLO: Por una tubería de hormigón de 2 m. de diámetro (k_s = 0,3 mm.) que tiene una pendiente i = 0,059, circula un caudal Q = 6 m^3s^{-1} con 0,5 m. de calado y 9,769 m^{s-1} de velocidad. En un cambio de pendiente se produce el resalto, cuya línea de carga es y_2 = 2,5717, que supone una carga sobre la clave del tubo de 0,5717 m. La línea de energía, que en el régimen rápido era 5,369 m., baja 2,6113 m., o sea casi un 50%.

OBSERVACION

En los cálculos precedentes no se ha tenido en cuenta el efecto que puede producir sobre el resalto el aire arrastrado por el flujo rápido o su emulsión con el agua. En el ejemplo anterior, al no ser muy alta la velocidad de circulación, no parece que el efecto pueda ser importante; pero en casos de mayores celeridades y, sobre todo, si se supera la de 14 m^{s-1}, la emulsión y el arrastre de aire puede causar divergencias sensibles respecto al cálculo del resalto que se propone en esta nota.

FE DE ERRATAS

Los duendes de la imprenta no han faltado a la cita con el artículo comentado. La mayor parte de las erratas advertidas son fácilmente subsanables por el lector; pero en la pag. 71 hay un error en la fórmula del calado conjunto que puede confundir al paciente. La expresión correcta es

$$y_2 = \frac{\left[\sqrt{y_1\,(y_1 + 16y_0)} - y_1\right]}{2}$$

Pasando por alto el pequeño lío de transcripción de la pag. 72 sobre el valor del coeficiente de contracción (que vale π/π+2 cuando ß tiende a cero), llegamos a la 74, que trata de velocidades en la compuerta de "2,322 y 00,5", cuando debe decir "2,322 $y_0^{0,5}$", y más adelante, de pendientes subcríticas con exponente 31,224 en lugar de 1,224. Por último (pag. 76) al decir que la f de Colebrook en canales circulares es función del tamaño, se han olvidado de la pendiente y del "caudal estable máximo", que es el "señalado previamente" ■