

CONFLUENCIA DE FLUJOS GEOFÍSICOS EN PRESENCIA DE DISTINTOS CONTRASTES DE DENSIDAD

Rocío Luz Fernandez

Departamento de Hidráulica, Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, TE/Fax: +54 3541 437009, E-mail: rocioluz@efn.uncor.edu.

Introducción

Puesto que las corrientes de densidad ocurren en muchas y diferentes situaciones naturales y pueden también ser ocasionados por el hombre, la caracterización de sus propiedades es de importancia para muchas disciplinas científicas: flujos de intercambio en estuarios, descarga de sedimentos de los ríos en lagos y estuarios, descarga de desperdicios industriales en ríos, lagos u océanos, etc.

Asimismo, la caracterización de los procesos de mezcla aguas abajo de una confluencia de ríos plantea en ocasiones la modelación de la interacción de corrientes con distintas densidades, ya sea por diferencias en la temperatura del agua, en la carga de sedimento suspendido, etc.

El objetivo del presente estudio es el de complementar los trabajos experimentales sobre corrientes de densidad no estacionarias en cuerpos de agua estratificados (Fernandez and Imberger, 2006) para incluir la situación frecuente en la naturaleza de la interacción de dos volúmenes finitos de fluido con distintas densidades negativas, o bien, de dos corrientes de gravedad tipo “ola”, que se propagan a lo largo de un plano con pendiente moderada.

Metodología

Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Occidental de Australia, en la ciudad de Perth, Australia. Un esquema del equipamiento utilizado, sus dimensiones y el sistema de coordenadas adoptado se muestran en la Figura 1. Se utilizó un canal vidriado de 8m de largo (longitud efectiva $L = 7.2\text{m}$), 0.4m de profundidad y 0.6m de ancho; el ángulo de inclinación en todos los experimentos fue llevado a $\theta = 2.5^\circ$.

Los dos tanques que se observan en la Figura 1 fueron utilizados para la preparación del fluido con dos concentraciones de sal distintas. Una vez preparada la mezcla de agua, sal y tinta (utilizada como trazador visual) en cada reservorio se procedió al bombeo del fluido preparado y a su descarga dentro del canal principal; la operación del reservorio (1) permitió la generación de el flujo tipo ola (1), mientras que con el segundo reservorio se dio origen a la ola (2). A fines de minimizar el momento del líquido descargado, se dispuso de un grupo de difusores a lo ancho y en el fondo del canal, todo este conjunto de difusores dispuestos dentro de una cámara de ingreso que se llenó con goma espuma.

Durante un experimento dado, un duplo de sensores de respuesta de baja frecuencia (PME, Precision Measurement Equipment) fueron utilizados para las mediciones de temperatura-conductividad de las corrientes de densidad descargadas: uno de los sensores fue montado en un carro móvil localizado sobre el canal (con capacidad de desplazarse en toda la longitud del mismo) mientras que el segundo sensor fue instalado dentro de la cámara de ingreso y permaneció fijo en su posición durante todo el experimento. La descarga fue fijada a una tasa constante por unidad de ancho del canal ($q = 7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y estuvo formada por dos descargas de fluido de corta duración (~40 segundos), con distintas concentraciones de sal y color de tinta, a fines de la identificación visual de cada una de ellas. Así, al término de la descarga de la

primer ola de fluido (con una densidad y coloración dada), luego de un corto tiempo (~30 segundos), la válvula del segundo tanque circular fue abierta permitiendo de esta manera la descarga de la segunda ola de fluido. Ambos, el tiempo transcurrido entre una y otra descarga y la densidad de cada ola de fluido, o corriente de densidad, estuvieron diseñados de manera de garantizar la interacción entre los flujos dentro de la longitud finita del canal usado. Claramente las dos corrientes de gravedad quedaron diferenciadas por los dos colores de tinta usados como trazador. La evolución de los flujos y propagación a lo largo del canal fueron registrados mediante una combinación de video y fotografías para su posterior análisis.

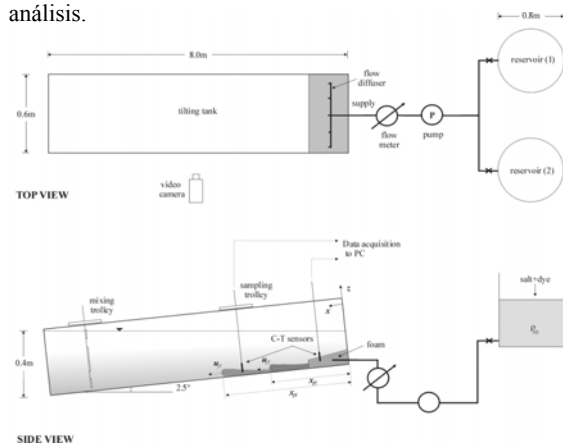


Figura 1. Esquema de la instalación experimental.

La densidad de la ola (1), primer flujo en ingresar al canal, permaneció prácticamente igual durante todos los experimentos. Por lo contrario, la densidad de la ola (2) se mantuvo en el rango $1028 < \rho < 1055 \text{ kg m}^{-3}$, lo cual garantizó el análisis de una gran variedad de contrastes de densidad entre las corrientes generadas. Debido a que predominaron sólo dos comportamientos distintos de todos los contrastes de densidad ensayados, el siguiente análisis hace referencia solo a dos configuraciones experimentales tipo: “Contraste I”, que representa al grupo de experimentos en los que se empleó una diferencia de densidades $\Delta\rho$ pequeña entre flujos (ejemplo “run A”), y “Contraste II”, que caracteriza a los experimentos que utilizaron una diferencia grande de densidades entre flujos interactuantes (ejemplo “run C”). Los resultados observados para el resto de los experimentos realizados fueron cualitativa y cuantitativamente similar a estos dos casos seleccionados, por lo que la Tabla 1 lista los parámetros experimentales sólo para run A y run C.

Tabla 1. Parámetros experimentales de ensayos distintivos.

Run	$\Delta\rho$ (kg m^{-3})	Máx. vel. alcanzada (m s^{-1})	Distancia de confluencia de flujos, (m)
A	11	0,026	4,5
C	32	0,046	2,8

Resultados

La propagación de las corrientes incluyó tres etapas: *i*) de propagación en forma de flujo aislado (Figura 2a y 2b), *ii*)

de confluencia (Figura 2c y 2d) y *iii*) de flujo de mezcla (Figura 2e.1) o bien, estratificado (Figura 2e.2) luego de la interacción de las olas. En la primera etapa, la corriente de densidad tipo ola propagó en forma aislada sobre el fondo del canal, hasta que fue alcanzada por la segunda ola debido a su mayor densidad, y en consecuencia, su mayor velocidad de propagación. La diferencia en las densidades entre los flujos fue el factor gobernante en la interacción, tal como lo sugiere la Figura 2e. Así, en presencia de un contraste de densidad pequeño, la ola (2) se introdujo a través de la ola (1) para mezclarse en la parte frontal de la misma, y para formar luego de la confluencia un flujo homogéneo que siguió propagándose por el fondo del canal. Contrariamente, en presencia de un contraste de densidad grande, la ola (2) relativamente más densa y con mayor velocidad de propagación, se introdujo en la ola (1) para atravesarla y luego continuar como el nuevo frente de la corriente de gravedad; en este último caso ocurrió un cambio de frente de la corriente de gravedad y la mezcla fue insignificante durante la confluencia de los flujos.

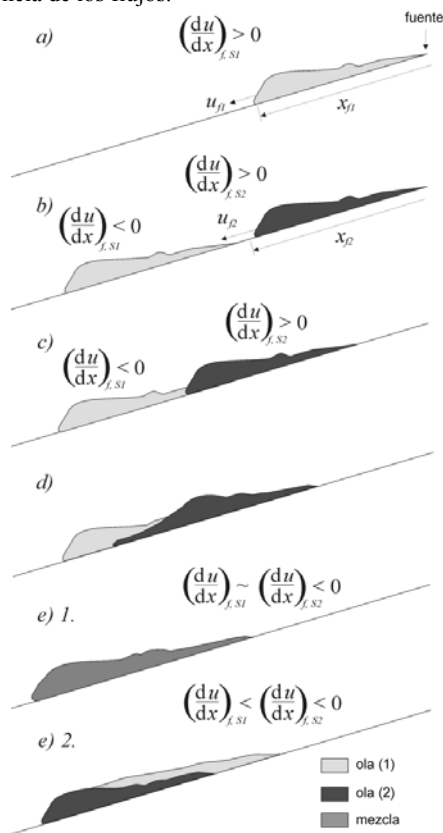


Figura 1. Esquema de los mecanismos observados.

Puede considerarse que la intensidad de la turbulencia en estas corrientes de fondo modeladas es proporcional a la velocidad de corte u_* (Fischer, 1979 y otros); por lo cual la relación entre los efectos estabilizadores de la fuerza boyante (que está en función de $\Delta\rho$) y la energía disponible para la interacción de los flujos puede ser definida a través de la relación de energías

$$R_E = \frac{(\Delta\rho/\rho_1)gdL}{\Delta t u_*^3} \quad (1)$$

donde Δt es el tiempo durante el cual los flujos interactúan, ρ_1 es la densidad de la ola (1), L es la longitud típica de la ola (~40cm), y d es la altura de la misma. Basado en las observaciones experimentales entre

los experimentos tipo “Contraste I” y “Contraste II”, pudo concluirse que la transición entre los dos mecanismos observados y posibles ocurrió en el rango de valores $5 < R_E < 10$. Dado que la diferencia en densidades controla la naturaleza de la interacción, la relación entre R_E y la relación adimensional de densidades $\Delta^* = (\rho_1 - \rho_r)/(\rho_2 - \rho_r)$, puede ser utilizada para caracterizar el tipo de mecanismo a ocurrir tal como lo sugiere la Figura 3; ρ_2 refiere a la densidad de la ola (2) y ρ_r la densidad de referencia. En términos de Δ^* , la transición entre mecanismos ocurriría para $0.4 < \Delta^* < 0.5$.

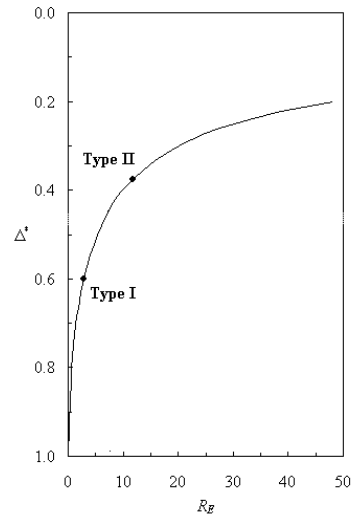


Figura 3. Δ^* en función del parámetro R_E .

Conclusiones

La parametrización de la confluencia de flujos con distintos contrastes de densidad permitió establecer dos mecanismos claros: *i*) para diferencias pequeñas ($\Delta^* > 0.5$), los dos flujos tipo ola confluyen y mezclan produciendo una corriente homogénea; y *ii*) para diferencias grandes ($\Delta^* < 0.4$), la mezcla es mínima entre flujos y ocurre un cambio de frente de la corriente de densidad.

Las observaciones experimentales permiten caracterizar el mecanismo de mezcla durante la interacción entre dos flujos con distintas densidades.

Agradecimientos

Los experimentos fueron realizados mientras R. Fernandez concluía con una Beca Internacional de Investigación otorgada por la Univ. de Australia Occidental. Se agradece muy en especial a los Profesores J. Imberger y G. Ivey por los aportes y permiso al uso de las instalaciones del Lab. de Hidráulica de dicha Univ., respectivamente.

Referencias Bibliográficas

Fernandez, R. L. e Imberger, J. (2007): “Time-varying underflow into a continuous stratification with bottom slope”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 134, No. 5, pp. 636-643.
 Fischer, H., List, E., Koh, R, Imberger, J. y Brooks, N. (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, Inc. Pp. 483.