

generó la turbulencia. En las cercanías de la superficie libre se ha encontrado el clásico amortiguamiento vertical, con la consecuente redistribución de la energía cinética turbulenta en las tres componentes de las fluctuaciones de la velocidad. En algunas experiencias se visualizó un leve aumento de la energía cinética turbulenta, posiblemente debido al tipo de estructuras formadas por la existencia de las corrientes secundarias en el estanque, lo cual fue también observado por Grisenti y George (1991), pero es necesario realizar mediciones más cercanas a la superficie libre para cuantificar correctamente este comportamiento. La importancia de lo anterior se debe a que la transferencia de masa a través de la superficie libre es relacionada frecuentemente con la energía cinética turbulenta existente en la superficie libre, por lo que al considerar un continuo decaimiento de ésta se obtendrían resultados erróneos. Además, de las experiencias de visualización en la superficie libre se observaron vórtices transversales a ésta, estructuras que estarían asociadas a un posible aumento de la energía cinética turbulenta y a una mayor frecuencia de renovación de la superficie libre.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por Fondecyt mediante el Proyecto de Investigación 1990025.

#### REFERENCIAS

- Batchelor G., (1953). "The theory of homogeneous turbulence". Cambridge University Press.
- Grisenti M. y George J., (1991). "Hydrodynamics and mass transfer in a jet-agitated vessel". Air Water Mass Transfer, Wilhelm S. Y Gulliver J. Ed., ASCE. 94-105.
- Hopfinger E. y Toly J., (1976). "Spatially decaying turbulence and its relation to mixing across density interfaces". J. Fluid Mech., 78(1), 155-175.
- Hunt J. y Graham J., (1978). "Free-stream turbulence near plane boundaries". J. Fluid Mech., 84(2), 209-235.
- Pujol J., (1999). "Estructura turbulenta de un flujo generado por microchorros". Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
- Thompson S. Y Turner J., (1975). "Mixing across an interfase due to turbulence generated by an oscillating grid". J. Fluid Mech., 67(2), 349-368.

## 2. ESTUDIO DE LA SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

### 2.1. INSTALACION XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

La obra de la instalación consistió en el desarrollo de un estudio experimental sobre mezcla turbulenta en flujos estratificados. Se diseñó y construyó una instalación, consistente en un estanque provisto de una cinta transportadora, que permite ejercer un esfuerzo de corte sobre la superficie libre de un volumen de agua, simulando así el efecto del viento soplando sobre dicha superficie. Se generó un cuerpo de agua estratificado en dos capas, usando agua potable para la capa superficial y una solución salina para la capa profunda. El flujo inducido por la cinta produce la inclinación de la interfaz de densidad y la mezcla de ambas capas. Se desarrolló un método de medición de campos bidimensionales instantáneos de salinidad en el flujo, a partir del análisis de imágenes de video. Para ello se tiñó la solución salina con rodamina de modo de relacionar la intensidad de luz en las imágenes, asociada al color de la rodamina, con la concentración de sal en el flujo. De la aplicación de este método se determinan perfiles verticales instantáneos de salinidad en distintas secciones a lo largo del estanque. A partir de estos perfiles se determina la variación temporal de la inclinación de la interfaz de densidad, así como la variación espacial y temporal de la tasa de mezcla, medida como la tasa de profundización de la interfaz. Los resultados obtenidos predicen una disminución de la tasa de mezcla a medida que aumenta el número de Richardson, con tendencias similares a las de estudios previos. Sin embargo, los resultados muestran una variación espacial de dicha tasa, la que aumenta en la dirección opuesta a la del viento, lo cual está relacionado con el fenómeno de upwelling.

### MEDICIONES DE MEZCLA TURBULENTO EN UN FLUJO ESTRATIFICADO USANDO IMAGENES DE VIDEO

Los experimentos se realizaron en la instalación de la Universidad de Chile, en el Departamento de Ingeniería Civil, en el año 1999. Los autores de esta investigación son:

INGRID HILLMER<sup>1</sup>  
YARKO NIÑO<sup>2</sup>  
CARLOS ALFARO, LAURA REYES, RICARDO CABALLERO<sup>3</sup>

#### RESUMEN

Se presentan resultados de un estudio experimental sobre mezcla turbulenta en flujos estratificados. Se diseñó y construyó una instalación, consistente en un estanque provisto de una cinta transportadora, que permite ejercer un esfuerzo de corte sobre la superficie libre de un volumen de agua, simulando así el efecto del viento soplando sobre dicha superficie. Se generó un cuerpo de agua estratificado en dos capas, usando agua potable para la capa superficial y una solución salina para la capa profunda. El flujo inducido por la cinta produce la inclinación de la interfaz de densidad y la mezcla de ambas capas. Se desarrolló un método de medición de campos bidimensionales instantáneos de salinidad en el flujo, a partir del análisis de imágenes de video. Para ello se tiñó la solución salina con rodamina de modo de relacionar la intensidad de luz en las imágenes, asociada al color de la rodamina, con la concentración de sal en el flujo. De la aplicación de este método se determinan perfiles verticales instantáneos de salinidad en distintas secciones a lo largo del estanque. A partir de estos perfiles se determina la variación temporal de la inclinación de la interfaz de densidad, así como la variación espacial y temporal de la tasa de mezcla, medida como la tasa de profundización de la interfaz. Los resultados obtenidos predicen una disminución de la tasa de mezcla a medida que aumenta el número de Richardson, con tendencias similares a las de estudios previos. Sin embargo, los resultados muestran una variación espacial de dicha tasa, la que aumenta en la dirección opuesta a la del viento, lo cual está relacionado con el fenómeno de upwelling.

<sup>1</sup> Instructor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
<sup>2</sup> Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
<sup>3</sup> Ayudantes de Investigación, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

## 1. INTRODUCCION

La utilización de los recursos hídricos genera una serie de impactos en el medio ambiente, los cuales en muchos casos, comprometen gravemente el equilibrio ambiental afectando al ecosistema, la calidad del recurso y su posterior utilización. El uso de modelos de calidad de agua puede ser de gran importancia en determinados estudios, transformándose en una buena herramienta para analizar, prevenir y/o manejar distintos niveles de impacto. Estos modelos entregan buenos resultados en la medida que incorporan una descripción adecuada de los distintos procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en el problema.

Especial importancia tienen los procesos relacionados con la hidrodinámica de cuerpos de agua, debido a que estos influyen directamente en la calidad del agua y en el desarrollo de la vida acuática. Por ejemplo, en el caso de un cuerpo de agua que presenta una estratificación estable, el proceso de mezcla turbulenta que se produce por acción de un agente externo, puede provocar un incremento de la turbiedad y cambios en la distribución de la temperatura, del oxígeno disuelto, de los nutrientes y otras sustancias que pueden controlar, por ejemplo, la población de algas en el cuerpo de agua.

En cuerpos de agua como lagos y embalses, el viento es una de las principales fuentes de energía necesaria para la generación de olas y corrientes, y por lo tanto para producir la energía turbulenta que influye directamente en los procesos de mezcla (Fisher et al., 1979). El viento aplica sobre la superficie libre del cuerpo de agua un esfuerzo de corte, generando una corriente superficial en la dirección de éste, la cual, en el caso de un cuerpo de agua de dimensiones finitas, es compensada por una corriente de retorno por el fondo. Adicionalmente, se desarrolla un gradiente de presión longitudinal, el cual está asociado con la inclinación tanto de la superficie libre como de la pycnoclina (discontinuidad de densidad). La inclinación de la pycnoclina es mayor que la de la superficie libre y se produce en la dirección opuesta (Kranenburg, 1984). La mezcla en la pycnoclina corresponde a la incorporación de agua más densa, proveniente de la capa inferior, en la capa superior. De esta manera, se desarrolla una capa de mezcla superficial que está por lo general bien mezclada, y que aumenta su profundidad y su densidad a medida que transcurre el tiempo, mientras se mantiene el efecto del viento (Kranenburg, 1985). El conjunto de estos procesos definen la hidrodinámica de un cuerpo de agua estratificado bajo la acción del viento, los cuales, debido a lo complejo de su naturaleza, han sido motivo de continuos esfuerzos de investigación para su comprensión y modelación (e.g., Kato y Phillips, 1969; Kantha et al., 1977; Kranenburg, 1984 y 1985; Monismith, 1986).

En este trabajo se presentan y discuten resultados de un estudio experimental sobre el proceso de mezcla turbulenta en un flujo estratificado generado por la acción de un esfuerzo de corte aplicado en la superficie libre de un cuerpo de agua. Como parte del estudio se desarrolló una metodología experimental que permite medir campos instantáneos de concentración a partir del análisis de imágenes de video. El estudio se concentró en avanzar el conocimiento actual respecto de los mecanismos que condicionan la mezcla turbulenta y que inciden sobre la variación espacial y temporal de las tasas de mezcla en el cuerpo de agua estratificado.

## 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

### 2.1 INSTALACION EXPERIMENTAL

Los experimentos fueron realizados en una instalación, diseñada como parte del presente estudio, que utiliza una cinta transportadora para simular el esfuerzo de corte ejercido por el viento sobre la superficie libre de un cuerpo de agua. La cinta ha sido montada en un estanque de paredes transparentes, de 1.80 m de largo y 0.25 m de ancho, ubicada a media altura, con lo cual se obtienen dos canales. El canal superior se utiliza para realizar estudios con fondo deslizante y el canal inferior para desarrollar estudios con la aplicación de un esfuerzo de corte en la superficie del flujo. El canal inferior tiene un fondo ajustable, lo que permite variar la profundidad del flujo. La profundidad máxima que puede alcanzar el canal inferior es de 0.35 m. La velocidad de la cinta puede ser variada alcanzando un máximo de 150 RPM, lo que equivale a 0.85 m/s. Un esquema de la instalación experimental se muestra en la Fig. 1.

### 2.2 METODO EXPERIMENTAL

Los experimentos se realizaron en un volumen de agua estratificado con dos capas de distinta densidad. La estratificación fue lograda mediante la utilización de una solución salina, de modo que la capa superior es de salinidad nula, mientras que la inferior tiene una salinidad de aproximadamente 40 [‰]. Para la formación de la estratificación se introduce al estanque el volumen de agua sin sal y luego se alimenta un caudal muy pequeño de la solución salina a través de una serie de orificios distribuidos en el fondo. El agua salada más densa levanta la capa de agua sin sal, más liviana, quedando al cabo de alrededor de una a dos horas, una estratificación estable a dos capas al interior de la instalación experimental. La experiencia consiste en fijar una velocidad de la cinta transportadora y registrar el proceso de mezcla entre las capas generado por el flujo inducido por el movimiento de la cinta. El método que se utiliza para determinar la variación de densidad en el flujo consiste en el análisis de imágenes de video obtenidas durante la experiencia. Con este fin, se utiliza una cámara de video que captura imágenes a través de una de las paredes laterales y un panel de iluminación del largo del estanque ubicado tras la pared opuesta. Para poder visualizar la variación de concentración de sal en el campo de flujo fue necesario utilizar una sustancia colorante, en este caso rodamina, que es agregada a la solución salina de la capa de fondo. Las imágenes de video del proceso de mezcla seleccionadas fueron digitalizadas y luego transformadas a un mapa de intensidad en escala de grises. Posteriormente, la intensidad se relacionó con la conductividad y finalmente con la concentración de sal mediante correlaciones obtenidas de experiencias de calibración, desarrolladas utilizando soluciones salinas patrones. De esta forma es posible obtener campos bidimensionales instantáneos de concentración de sal en el flujo a lo largo del tiempo, lo cual permite hacer análisis detallados de las características del proceso de mezcla. Previamente se comprobó que los procesos de difusión de la sal y la rodamina son similares, por lo tanto es válido estudiar el proceso de mezcla de salinidad a través del estudio del proceso de mezcla de la sustancia colorante.

### 2.3 CONDICIONES DE EXPERIMENTACION

Al realizar un análisis dimensional del problema, aparecen como principales parámetros del proceso de mezcla el número de Richardson, relacionado con la diferencia de densidad entre las capas del cuerpo de agua estratificado, el esfuerzo de corte aplicado por el viento, la

profundidad inicial de la capa superior y un parámetro relacionado con las dimensiones longitudinales del cuerpo de agua, como es la razón entre la altura total de escurrimiento y el largo del cuerpo de agua.

En este trabajo se realizan experiencias variando la velocidad de la cinta entre 0,19[m/s] y 0,43[m/s], los valores de la profundidad inicial de la capa de mezcla variaron entre 5 y 6,5 [cm] y la salinidad de la capa inferior se mantuvo entre 35[‰] y 45[‰]. Con estos valores, se obtienen valores del número de Richardson  $Ri_s$ , entre 0,09 y 0,55, con  $Ri_s$  definido como:

$$Ri_s = \frac{\Delta\rho_o g D_o}{\rho_r u_s^2}$$

donde  $u_s$  corresponde a la velocidad de corte en la superficie,  $D_o$  denota el espesor inicial de la capa superficial,  $g$  es la aceleración de gravedad,  $\rho_r$  corresponde a la densidad de referencia del agua para salinidad nula y  $\Delta\rho_o$  es la diferencia de densidad inicial entre la capa superior e inferior, tal como se muestra en la Fig.2. La altura de escurrimiento se mantuvo en 0,2[m], con lo que se obtiene un valor para la razón  $L/H$  de 9, constante en todas las experiencias.

Para analizar las variaciones longitudinales del proceso de mezcla vertical a lo largo del canal, se identificaron cinco secciones ubicadas a distancias  $x = 0,3$ [m], 0,6[m], 0,9[m], 1,2[m] y 1,5[m], donde  $x$  es el eje horizontal en la dirección del esfuerzo de corte, con el origen en el extremo aguas arriba del canal.

### 3. RESULTADOS

Mediante la visualización del flujo en la interfaz de densidad utilizando iluminación láser y fluoresceína en la solución salina, se observaron diversos mecanismos que controlan el fenómeno de incorporación en esta capa intermedia, los cuales se relacionan con la interacción entre la turbulencia y la interfaz. El más importante de ellos corresponde a la incorporación por atrapamiento asociada a la inestabilidad de la interfaz. Se determinó que dicha inestabilidad aumenta a medida que el número de Richardson disminuye, lo cual favorece el aumento de la mezcla en el sistema. En la Fig.3 se muestra, como ejemplo, una imagen de la inestabilidad presente en la interfaz, que genera la incorporación de agua más densa en la capa de mezcla.

Durante la evolución del proceso de mezcla se pudo observar la generación de la inclinación de la pycnoclina, con una pendiente negativa medida en el sentido de la aplicación del esfuerzo de corte, lo cual ocurre durante los primeros instantes de la experiencia. Posteriormente, se aprecia que la interfaz de densidad crece en espesor a medida que transcurre el tiempo, siendo mucho más marcada, es decir, con un gradiente de densidad más alto, en el extremo de aguas abajo del canal. Se pudo observar la aparición del fenómeno conocido como *upwelling*, donde capas más profundas alcanzan la superficie en el extremo aguas arriba del cuerpo de agua, produciendo un gradiente de densidad en la horizontal, el cual es difundido longitudinalmente. Este proceso se puede apreciar en la Fig.4, que muestra una imagen correspondiente a la experiencia realizada con un valor de la velocidad de la cinta de 0,36[m], después de 10[min] de haber comenzado la aplicación del esfuerzo de corte. Dado estos resultados, se confirma que el

proceso de mezcla, para ciertos valores del número de Richardson y de la razón  $L/H$ , no puede ser considerado como un proceso unidimensional, sino al menos bidimensional, salvo en los casos en que el gradiente de presión horizontal pueda ser despreciado. En la Fig.5 se muestra la evolución temporal del perfil de concentración de salinidad, en distintas secciones del canal para un  $Ri_s = 0,55$ . Se observa una interfaz más acentuada en el extremo de aguas abajo del canal. Esta diferencia en el comportamiento entre las secciones es mucho más marcada a los 30[min], diferencia que tiende a disminuir con el transcurso del tiempo.

El proceso de mezcla se estudia en cinco secciones distintas a lo largo del canal, de manera de determinar el efecto que los fenómenos bidimensionales descritos anteriormente tienen sobre la tasa de profundización de la capa de mezcla. En la Fig.6 se muestra la evolución temporal del perfil vertical de salinidad, en la sección media del canal, con las siguientes condiciones experimentales:  $D_o = 6,5$ [cm], y velocidad de la cinta  $u_s = 0,43$ [m/s], con  $Ri_s = 0,086$  y  $L/H = 9$ . En la Fig. 7 se resumen los resultados obtenidos en las distintas experiencias para la velocidad de incorporación,  $u_e$ , definida como la derivada temporal de la profundidad de la interfaz en el rango de crecimiento lineal de dicha profundidad. En esta figura se grafica la velocidad de incorporación adimensionalizada con la velocidad superficial,  $u_e/u_s$ , en función del número de Richardson,  $Ri_s$ , para cada una de las secciones escogidas. Como se puede observar, el proceso de profundización de la capa de mezcla es mayor para menores valores de  $Ri_s$ , y no resulta uniforme a lo largo del canal, lo cual resulta mucho más claro en el caso de la Experiencia 1, que corresponde a un número de Richardson menor. A partir de los resultados se puede establecer que existe una tendencia a la disminución en la tasa de profundización de la capa de mezcla hacia aguas abajo del canal, tal como se puede apreciar en la Tabla 1, lo cual se relaciona con el fenómeno de *upwelling*.

### 4. ANALISIS

La inclinación de la pycnoclina está relacionada con el desarrollo del gradiente de presión horizontal, y por lo tanto con el esfuerzo de corte aplicado en la superficie, con la diferencia de densidad entre las capas inferior y superior y con la profundidad de la capa de mezcla. En la Fig.8 se presenta el valor de la pendiente de la interfaz,  $i$ , en función del número de Richardson,  $Ri_s$ , determinándose una relación del tipo  $i = 3,09 Ri_s^{-0,18}$ , lo que indica que la inclinación de la interfaz es mayor mientras menor es el valor del número de Richardson. Este resultado se puede relacionar con los resultados entregados anteriormente, lo cual indica que para menores valores de  $Ri_s$ , el efecto de los fenómenos bidimensionales es mayor, existiendo una tendencia a que el proceso de mezcla presente una menor uniformidad junto con una mayor inclinación de la interfaz.

Los resultados obtenidos se comparan con los resultados de Kranenburg (1985), quien utilizó un túnel de viento para ejercer el esfuerzo de corte sobre la superficie del agua, en un canal rectilíneo, y sal para producir la estratificación en dos capas. Kranenburg, trabajó con valores de  $L/H$  entre 25 y 75 y valores de  $Ri_s$  entre 200 y 1150, donde  $Ri_s$  está definido en términos de la velocidad de corte superficial. Debido a que en los experimentos realizados en nuestro laboratorio no se ha establecido aún un método para conocer el esfuerzo de corte ejercido por la cinta, éste será estimado a partir de relaciones entre el esfuerzo de corte en la superficie y la velocidad superficial encontradas en la literatura. Resultados en laboratorios dan valores entre 15 y 25 para

esta razón, para un amplio rango de números de Reynolds (Tsanis, 1989). Reid (1957) en experiencias en terreno propone un valor de 18,2 para esta razón mientras que experiencias realizadas en Los Grandes Lagos, en Norteamérica, sugieren valores tan altos como 24. Para estimar el valor de  $u_*$  obtenido en el laboratorio se utilizó un valor de la razón  $u_g/u_* = 20$ .

Como se mencionó anteriormente, en el problema en estudio tanto el número de Richardson como la razón  $L/H$  rigen el proceso de mezcla. Para caracterizar este proceso e incorporar la influencia de ambos parámetros adimensionales, se utiliza el adimensional  $M$ , definido como (Hillmer, 1999):

$$M = Ri_* \left( \frac{L}{H} \right)^{-1/4}$$

En la Fig. 9 se muestran los resultados experimentales obtenidos en este trabajo y los de Kranenburg(1985) en función del parámetro adimensional  $M$ . En esta figura se observa que los resultados experimentales de las experiencias aquí reportadas concuerdan bastante bien con las obtenidas por Kranenburg (1985), presentando una tendencia similar para la velocidad de incorporación adimensional en función del número de Richardson. Estos resultados sugieren una relación entre la velocidad de corte adimensional y  $M$ :  $u_g/u_* \propto M^{-1}$ . No obstante, es necesario remarcar la variación espacial del proceso de mezcla observada en los presentes experimentos para valores bajos del número de Richardson, lo cual se está estudiando en mayor detalle en el proyecto de investigación en curso.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos en este estudio permiten concluir que el proceso de mezcla para el caso estudiado es un problema bidimensional, y que la tasa de incorporación se ve afectada por otros procesos, tales como el fenómeno de *upwelling* y la difusión longitudinal de densidad. Las visualizaciones del flujo mostraron que el mecanismo de mezcla más efectivo se relaciona con el atrapamiento de fluido más denso debido a la inestabilidad de la interfaz de densidad y el rompimiento de ondas internas, lo cual es más acentuado para valores menores del número de Richardson. Se obtuvo una buena comparación con los resultados de estudios experimentales previos respecto de la tasa adimensional de incorporación, lo cual permite concluir que los métodos experimentales desarrollados son adecuados para estudiar procesos de mezcla en flujos estratificados. No obstante, se concluye a partir de los resultados obtenidos que es necesario estudiar en mayor detalle la variación longitudinal observada de la velocidad de incorporación, lo cual se está realizando como parte del presente proyecto de investigación.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por FONDECYT, a través del proyecto N° 1981180, y por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

## 7. REFERENCIAS

- Fisher, H. E., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. y Brooks N. H. (1979). "Mixing in inland and coastal waters." Academic Press. Inc.
- Hillmer, I. (1999). "Estudio numérico sobre los procesos de mezcla y de resuspensión de sedimento en cuerpos de agua estratificados y no estratificados". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Kato, H. Y Phillips, O. M. (1969). "On the penetration of a turbulent layer into stratified fluid." *J. Fluid Mech.*, Vol. 37, pp. 643-655.
- Kantha, L. H. y Phillips, O. M. (1977). "On turbulent entrainment at a stable density interface." *J. Fluid Mech.*, Vol. 79, pp. 753-768.
- Kranenburg, C. (1984). "Wind-induced entrainment in a stably stratified fluid." *J. Fluid Mech.*, Vol. 145, pp 253-273.
- Kranenburg, C. (1985). "Mixed-layer deepening in lakes after wind setup." *J. Hydr. Engrg.*, Vol. 111, No. 9, pp 1279-1297.
- Monismith, S. (1986). "An experimental study of the upwelling response of stratified reservoirs to surface shear stress." *J. Fluid Mech.*, Vol. 171, pp. 407-439.

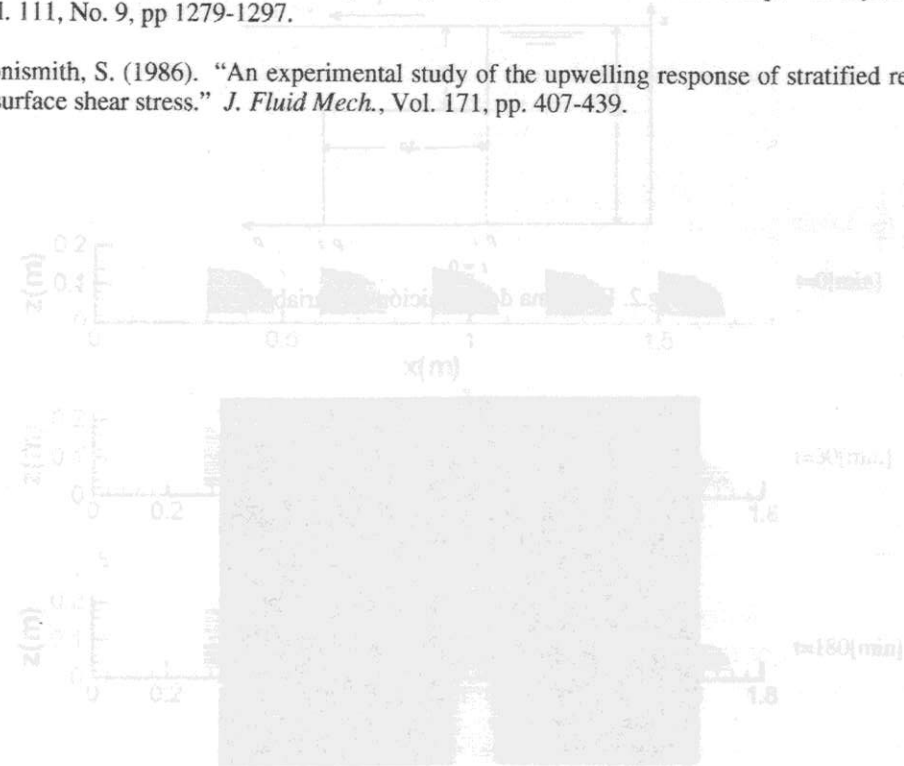


Fig. 5: Variación del perfil de velocidad adimensional  $u_g/u_*$  en los primeros 180 segundos del canal en  $t=0$ [min], 30[min] y 180[min].

esta razón, para un amplio rango de números de Reynolds (Tassa, 1985) las experiencias en terreno proponen un valor de 18,2 para esta razón. En las experiencias realizadas en Los Grandes Lagos, en Norteamérica, sugieren valores un poco mayores (Hill, 1981).

Como se puede apreciar en el problema de la incorporación adimensional en el número de Richardson, estos resultados experimentales de las experiencias aquí reportadas concuerdan bastante bien con la relación entre la velocidad de corte adimensional y  $M^2$ .

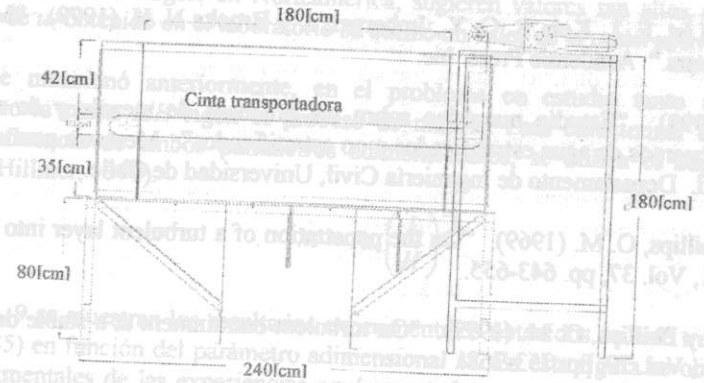


Fig.1: Esquema de la instalación experimental.

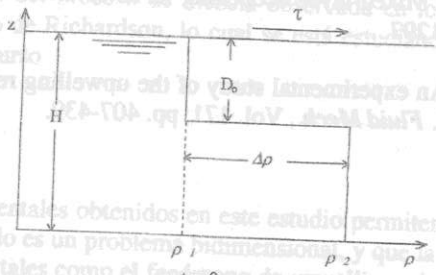


Fig.2: Esquema de definición de variables.

5. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos en este estudio permiten concluir que la mezcla para el caso estudiado es un problema de incorporación adimensional que ve afectada por otros procesos, tales como el fenómeno de upwelling y la difusión lateral de densidad. Las visualizaciones de la interfaz de densidad más densa muestra una relación con el atrapamiento de fluidos más densos debido a la inestabilidad de la interfaz de densidad y el rompimiento de ondas internas, lo cual es más acentuado para valores altos del número de Richardson. Se obtuvo una buena correlación con los resultados experimentales previos que concluyen que los métodos de mezcla en tiempos estratificados es necesario estudiar en la incorporación, lo cual se debe a la inestabilidad de la interfaz de densidad.

6. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Departamento de Física de la Universidad de Chile.

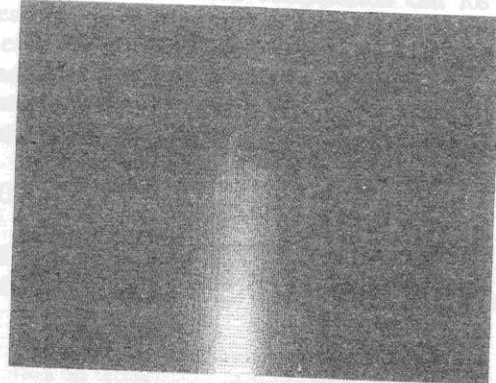


Fig.3: Procesos de inestabilidad en la interfaz de densidad.



Fig.4: Inclinación de la interfaz y generación del fenómeno de upwelling.

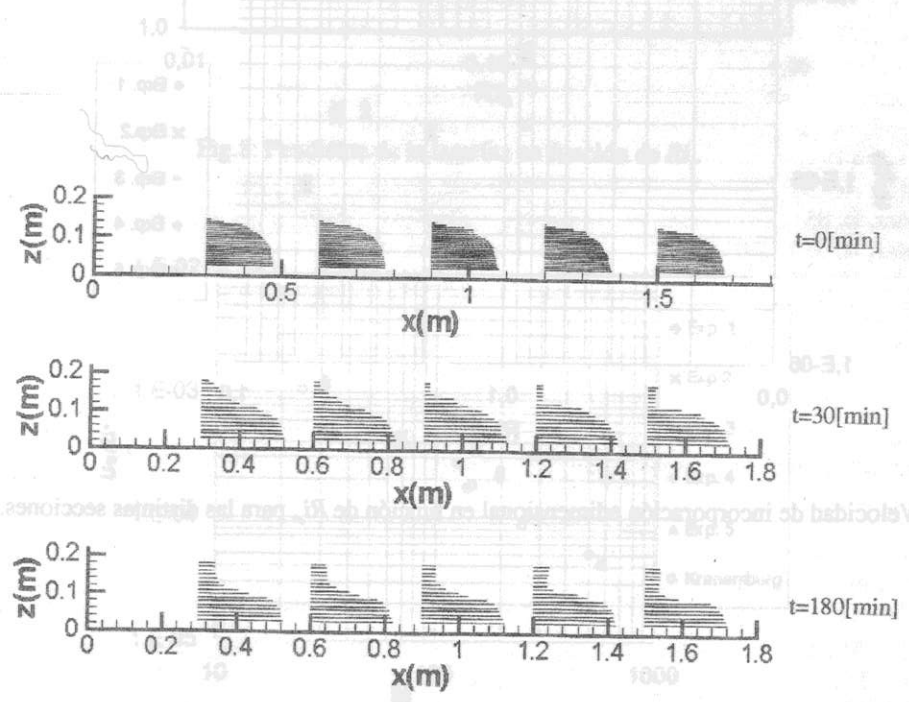


Fig.5: Variación del perfil de salinidad para un  $Ri_s = 0,55$  en distintas secciones del canal en  $t=0$ [min],  $30$ [min] y  $180$ [min].

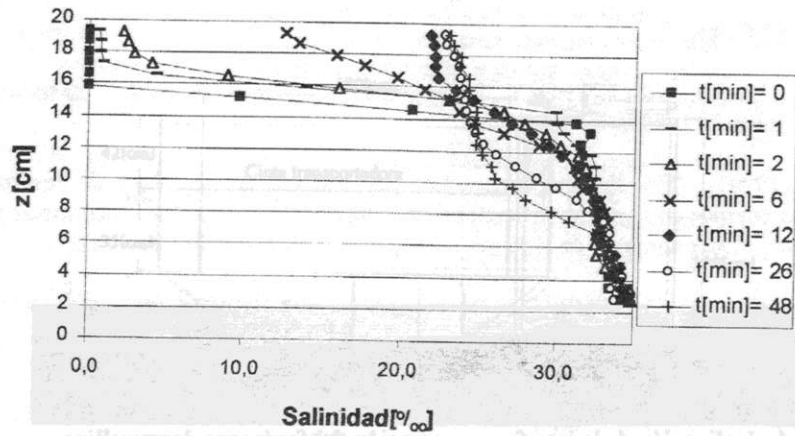


Fig.6: Variación temporal del perfil de distribución vertical de salinidad, para un  $Ri_s=0,086$  y  $L/H=9$

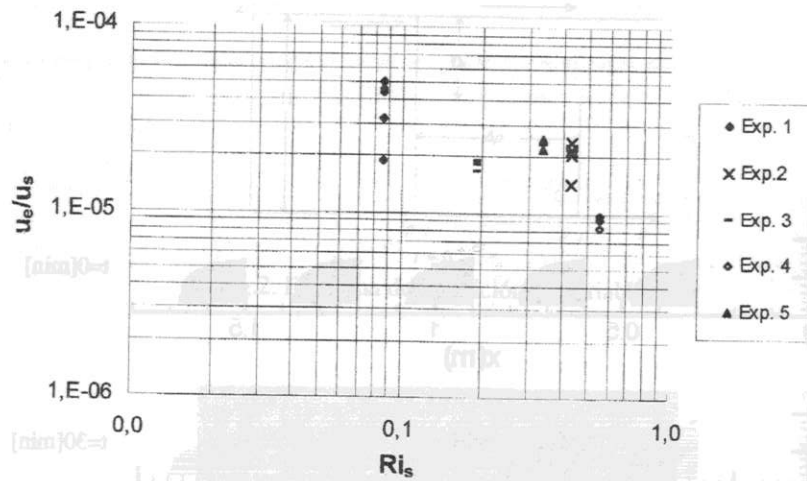


Fig.7: Velocidad de incorporación adimensional en función de  $Ri_s$ , para las distintas secciones.

Tabla 1: Valores de la velocidad de incorporación adimensional en distintas secciones a lo largo del canal en función de  $Ri_s$ .

Distancia [m]	$Ri_s=0,086$	$Ri_s=0,43$	$Ri_s=0,192$	$Ri_s=0,549$	$Ri_s=0,334$
0,3	4,39E-05	2,04E-05	1,88E-05	9,22E-06	2,48E-05
0,6	4,54E-05	2,15E-05	1,66E-05	9,22E-06	2,21E-05
0,9	5,02E-05	2,42E-05	1,82E-05	9,22E-06	2,46E-05
1,2	3,17E-05	2,21E-05	1,82E-05	9,66E-06	2,51E-05
1,5	1,90E-05	1,43E-05	1,82E-05	8,24E-06	2,48E-05

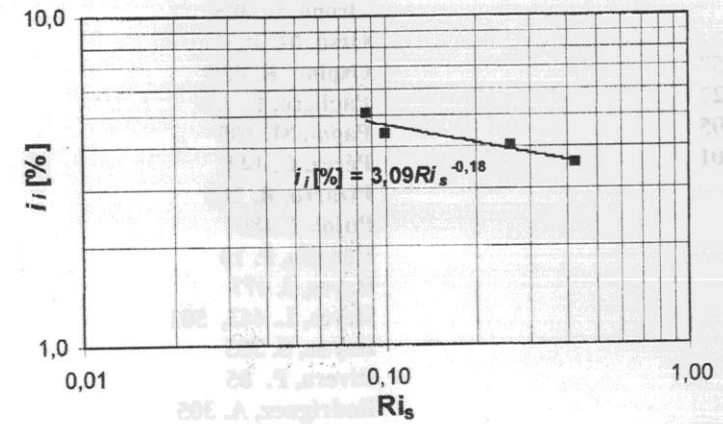


Fig.8: Pendiente de la interfaz en función de  $Ri_s$ .

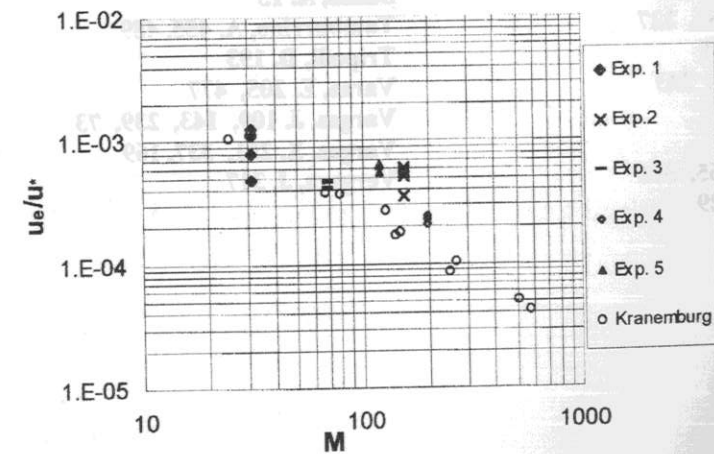


Fig.9: Comparación entre los resultados experimentales con los resultados de Kranenburg (1985).

## INDICE DE AUTORES

- Ahumada, R. 73  
 Alarcón, C. 109  
 Alfaro, C. 501  
 Anguita, P. 169  
 Arumí, J.L. 37  
 Arumí, J.L. 405  
 Bernasconi, I. 305  
 Best, J. 391  
 Bonilla, C. 25  
 Caamaño, G. 157  
 Caamaño, G. 227  
 Caamaño, G. 305  
 Caballero, R. 501  
 Chini, I. 305  
 Collado, F. 343  
 Collado, F. 417  
 Cuevas, V. 215  
 Cuevas, V. 181  
 Dasso, M. 157  
 Dasso, M. 227  
 Díaz, A. 305  
 Espinoza, C. 3, 47  
 Estellé, L. 367  
 Fernández, A. 193  
 Fernández, B. 85  
 Fernández, R. 355, 391  
 García, M. 355, 157, 227  
 Harambour, F. 251  
 Hernández, J. 417, 343  
 Herrera, P. 47  
 Hillman, G. 305  
 Hillmer, I. 443, 465, 501  
 Hormaechea, J. 429  
 J. Muñoz. 59  
 Kamann, P. 379  
 Kyonen, C. 239  
 Link, O. 109, 239  
 López, A. 119  
 López, F. 355, 391  
 López, I. 263  
 Lorca, M. 15  
 Menajovsky, S. 305  
 Montt, J. 85  
 Moya, G. 305  
 Muñoz, J.F. 15, 477  
 Musalem, R. 443  
 Niño, Y. 97, 131, 443, 465, 501  
 Núñez, C. 337  
 Olivares, M. 97  
 Orellana, A. 205  
 Orona, C. 305  
 Orso, M. 305  
 Ospino, R. 455  
 Pagliero, L. 73  
 Pagot, M. 305  
 Pérez, C. 143  
 Pizarro, R. 263  
 Pujol, J. 489  
 Rengifo, P. 15  
 Reyes, J. 477  
 Reyes, L. 443, 501  
 Reyna, S. 305  
 Rivera, P. 85  
 Rodríguez, A. 305  
 Rodríguez, P. 59  
 Soto, C. 379  
 Stappung, C. 277, 291  
 Stowhas, L. 181, 215, 379, 429  
 Suazo, A. 15  
 Tamburrino, A. 455, 489  
 Tripodi, D. 193  
 Varas, E. 205, 477  
 Vargas, J. 109, 143, 239, 73  
 Vargas, X. 251, 337, 169  
 Vergara, J. 317