PUNTO	CASO 1 NODO Nº	CASO 1 V (m/s)	CASO 2 NODO Nº	CASO 2 V (m/s)
O	809	0,245	417	0,279
O'	793	0,063	489	0,082
A	909	0,258	391	0,279
A'	906	0,256	399	0,082
B	4.161	0,254	2.451	0,781
B'	3.297	0,254	2.702	0,781
B1	-	-	1.990	0,781
B1'	-	-	2.046	0,781
C	746	3,584	414	3,695
C'	721	1,697	474	1,836
D	750	4,258	410	3,695
D'	737	2.121	437	1,636
E	1.549	0,394	813	0,607
E'	1.477	0,185	885	0,351
F	1.665	0,258	787	0,607
F'	1.662	0,256	795	0,351
G	506	8,257	245	7,937
G'	481	11,091	270	10,072
H	510	8,359	241	7,937
H'	501	11,239	250	10,072
I	26	7,936	5	7,936
I'	1	7,937	30	7,937
J	30	7,936	1	7,936
J'	21	7,937	14	7,937

Nodos y velocidades en las caras límites de los volúmenes que definen el flujo

TABLA Nº3

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

X CONGRESO NACIONAL

METODO NUMERICO PARA EL CALCULO DEL FLUJO SECUNDARIO EN CANALIZACIONES ABIERTAS

VICTOR AROS A. (1)
MARIO CORNEJO S. (2)

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un modelo conceptual planteado por Chiu (**2**), el cual a partir de una simulación del flujo primario y utilizando las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento, permite determinar el campo de velocidades secundarias del escurrimiento y tensiones de corte en la sección transversal de un cauce abierto.

El metodo numérico se dirige a determinar los parámetros que caracterizan el modelo de simulación del flujo primario, a través de una solución expedita de un sistema algebraico de ecuaciones no lineales; y las velocidades secundarias a través del método de diferencias finitas aplicado a un sistema de ecuaciones diferenciales. Esta metodología permite calcular el flujo secundario generado en el cauce del Estero Mininco de la Hoya Hidrográfica del río Bío Bío.

(1) Ingeniero Civil. U. de Chile. Depto. Ing. Civil. U. de Concepción
(2) Ingeniero Civil. U.de Concepción, Depto.Ing.Civil. U. de Concepción

INTRODUCCION

El escurrimiento secundario, llamado también "corrientes secundarias", consiste en un movimiento circulatorio de las partículas de líquido a través de la sección transversal del canal. Este movimiento, en conjunto con el primario, hacen que las partículas de agua describan una trayectoria helicoidal en la dirección principal del escurrimiento. Se cree que este fenómeno se debe a las siguientes razones:

(i) La existencia de la fricción en las paredes del canal
(ii) La actuación de la fuerza centrífuga
(iii) La desigual distribución de velocidades en la vertical

Debido a que las corrientes secundarias afectan varios aspectos interesantes del flujo en un canal abierto (resistencia hidráulica, distribución de velocidades del flujo primario, tensiones de corte, sedimentación y transporte de sedimentos), es que se hace necesario considerar este fenómeno.

Si se define un sistema coordenado cartesiano ortogonal (x, y, z) en una canalización, de modo que "x" coincida con la dirección principal e "y", y "z" se sitúen en una sección transversal, las componentes respectivas u, v y w caracterizan, la primera el flujo primario y las dos últimas, al flujo secundario. La componente longitudinal u se puede obtener con relativa facilidad mediante mediciones directas o bien modelos semi-empíricos; en cambio, medir las componentes transversal y vertical es extremadamente difícil. Una solución al problema es la formulación de modelos semi-empíricos desarrollados por Chiu (3). Estos modelos son básicamente similares y tienen las siguientes características generales:

(i) Utilizan una representación del flujo primario (curvas isotáquicas), en una sección transversal, en base a una extensión heurística de la ley de distribución universal de Prandtl-von Karman.

(ii) Consideran que el eje vertical definido en la sección transversal del canal, pasa por el punto de máxima velocidad del flujo primario.

(iii) Las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento, necesarias para determinar el campo secundario (v y w), se aplican a un sistema de coordenadas curvilíneas formado por las curvas isotáquicas del flujo primario (curvas ξ) y las correspondientes curvas ortogonales (curvas η), contenidas en la sección transversal del canal.

La diferencia entre los modelos radica en la forma de representar las curvas isotáquicas, las que a su vez dependen de la forma de la sección. En el caso de corrientes anchas y poca hondura, las paredes laterales tienen muy poca o nula influencia, sólo influye las características geométricas del fondo. Como consecuencia, las curvas isotáquicas son casi líneas paralelas. En el caso de corrientes de anchura restringida, la repartición de velocidades es mucho más compleja; las curvas se asemejan a arcos de elipses, la variación junto a las paredes es mucho más rápida, la repartición de velocidades en una vertical no se asemeja a una curva logarítmica (canal ancho).

METODOLOGIA Y DATOS

(i) Formulación del Modelo. El modelo que se desarrolla está constituido por el siguiente conjunto de relaciones:

$$u = u^*/\varkappa \ \ln(\xi/\xi_o) \qquad (1)$$

$$\xi = y/D\,(1 - |z|/B_i)^{\beta_i} \qquad (2)$$

$$\eta = y^2 - 1/\beta_i\,(B_i - |z|)^2 \qquad (3)$$

u : velocidad del flujo primario en la dirección x
u* : velocidad de corte; $\varkappa$ constante de Von Karman $\simeq$ 0.4
ξ : variable adimensional que representa una línea de igual velocidad. A lo ancho del lecho del canal $\xi = \xi_o$. De este modo u = o en todo punto de la línea ξ_o.
y : coordenada espacial en la dirección vertical. El eje y es elegido de modo que pase a través del punto de máxima velocidad del escurrimiento primario.
z : coordenada espacial en la dirección transversal ($y \perp z$)

D : profundidad máxima del agua en el eje "y"

B_i : distancia transversal sobre la superficie del agua entre el eje y la orilla izquierda o derecha según si $i = 1$ ó 2

β_i : dos coeficientes según si $i = 1$ ó 2 (lado izquierdo o derecho de la sección).

η : variable que representa una curva ortogonal a la curva ξ

Los valores ξ_0, β_1 y β_2 se denominan los parámetros del modelo y se determina con datos experimentales, sección transversal del canal, altura de agua y caudal de circulación.

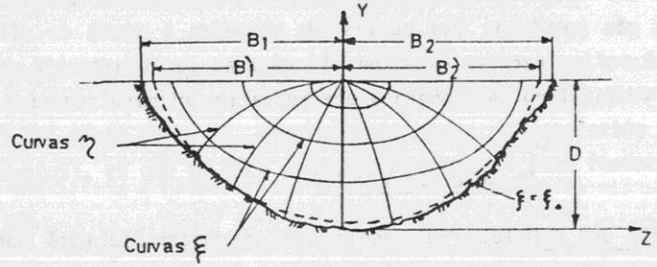


Fig. Nº1: Croquis del sistema coordenado $\xi - \eta$ en una sección transversal

La expresión (1) corresponde a una extensión de la expresión de Prandtl-Von Karman, en que la variable "y" cuyo dominio es el eje vertical ha sido extendida a la variable "ξ" cuyo dominio es todo el plano transversal del canal.

La expresión (2) representa el conjunto de las isotáquicas del flujo primario en la sección de un canal abierto. Fue obtenida (1) mediante análisis estadístico de un río con fuerte predominio del ancho sobre la altura de agua (30/1). Por tanto, se estima aplicable para canalizaciones de relaciones iguales o mayores.

La expresión (3) representa el conjunto de las curvas ortogonales a las curvas η y se obtiene por resolución de la ecuación:

$$\left.\frac{dy}{dz}\right)_{\eta=cte} \cdot \left.\frac{dy}{dz}\right)_{\xi=cte} = -1 \qquad (4)$$

Las familias de curvas ξ y η forman una malla de coordenadas curvilíneas muy conveniente en la obtención del campo de velocidades del flujo secundario. En efecto, al aplicar las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento en el sistema ($x - \eta - \xi$) es posible obtener las velocidades v_η y v_ξ. Luego, mediante un cambio de coordenadas se obtienen las velocidades v y w, componentes cartesianas del flujo secundario, para la sección considerada. Los coeficientes métricos o factores de escala sobre el sistema coordenado curvilíneo, necesarios en la transformación de coordenadas pueden ser determinados en la ecuación Nº 2 y Nº 3 mediante las expresiones:

$$h_\xi = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \xi}\right)^2} = \frac{D\,B_i}{\left(1-\frac{(z)}{\beta_i}\right)^{\beta_i - 1}\sqrt{(B_i - |z|)^2 + \beta_i^2\, y^2}} \qquad (5)$$

$$h_\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \eta}\right)^2} = \frac{\beta_i}{2\sqrt{(B_i - |z|)^2 + \beta_i^2\, y^2}} \qquad (6)$$

(ii) Determinación de los parámetros del modelo. Los llamados parámetros del modelo propuesto ξ_0, β_1 y β_2 se determinan considerando como datos el perfil superficial del agua para un caudal dado en el Estero Mininco.

Despejando "y" de la relación (2) se tiene:

$$y = f(z) = D \cdot \xi_0 \left(1 - \frac{|z|}{B_i}\right)^{-\beta_i} \qquad (7)$$

El área a cada lado del eje vertical, puede obtenerse de:

$$A_i = \int_{z=0}^{B_i'} \int_{y=f(z)}^{D} dy\, dz \qquad (8)$$

Desarrollando la integral:

$$A_i = B_i D \left[1 - \frac{1}{1-\beta_i} \left(\xi_o - \beta_i \, \xi_o^{1/\beta_i} \right) \right] \qquad (9)$$

La expresión $r_i = A_i / B_i \, D = 1 - \frac{1}{1-\beta_i} \left(\xi_o - \beta_i \, \xi_o^{1/\beta_i} \right)$ (10)

es una medida de la forma geométrica a cada lado de la sección transversal. Si $r_i = 1$ representa una forma rectangular y si $r_i = 1/2$ la forma es triangular. En cauces naturales $1/2 < r_i < 1$.

<u>El caudal</u> a través del área A_i se expresa como:

$$Q_i = \int_{z=o}^{B_i'} \int_{y=f(z)}^{D} u \, dy \, dz \qquad (11)$$

Desarrollando la integral:

$$Q_i = B_i D \, \frac{u^*}{\varkappa} \left(-1 - \beta_i - \ln \xi_o + \frac{1}{1-\beta_i} \xi_o - \frac{\beta_i^2}{1-\beta_i} \, {}_o^{1/\beta_i} \right) \qquad (12)$$

El caudal total es:

$$Q = Q_1 + Q_2 = BD \, \frac{u^*}{\varkappa} \left[-1 - \ln \xi_o + \xi_o - \frac{1}{B} (B_1 \beta_1 r_1 + B_2 \beta_2 r_2) \right] \qquad (13)$$

Las ecuaciones (9) y (13) forman un sistema de 3 ecuaciones no lineales con 3 incógnitas.

(iii) <u>Velocidades del escurrimiento secundario</u>. Existen importantes ventajas en usar el sistema coordenado curvilíneo ($x - \xi - \eta$) en una sección transversal del canal. En efecto, las velocidades del escurrimiento primario son funciones sólo de ξ ; por lo tanto, el gradiente de u en la dirección η es cero y la tensión de corte $\tau_{\eta x}$ también lo es. Por otra parte, la ecuación de cantidad de movimiento en la dirección x y la ecuación de continuidad, ambas en las coordenadas curvilíneas indicadas proporcionan expresiones para las componentes v_ξ y v_η respectivamente.

Ec. de cantidad de movimiento s/x:

$$g_x + \frac{1}{h_\xi h_\eta} \frac{\partial}{\partial x} (\sigma_{xx} h_\eta h_\xi) + \frac{\partial}{\partial \xi} (\tau_{\xi x} h_\eta) + \frac{\partial}{\partial \eta} (\tau_{\eta x} h_\xi) =$$

$$= \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v_\xi \frac{1}{h_\xi} \frac{\partial v_\xi}{\partial \xi} + v_\eta \frac{1}{h_\eta} \frac{\partial v_\eta}{\partial \eta} \right) \qquad (14)$$

Ec. de continuidad:

$$\frac{\partial}{\partial x} (u \, h_\xi h_\eta) + \frac{\partial}{\partial \xi} (v_\xi h_\eta) + \frac{\partial}{\partial \eta} (v_\eta h_\xi) = o \qquad (15)$$

Para escurrimiento permanente y uniforme y considerando que:

$$\sigma_{xx} = p + \rho g H \qquad (16)$$

resulta:

$$v_\xi = \left(\frac{\rho}{h_\xi} \frac{\partial u}{\partial \xi} \right)^{-1} \left(\rho g I + \frac{1}{h_\xi} \frac{\partial \tau_{\xi x}}{\partial \xi} + \frac{\tau_{\xi x}}{h_\eta h_\xi} \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \right) \qquad (17)$$

$$v_\eta = v_{\eta *} - \frac{1}{h_\xi} \int_{\eta *}^{\eta} \left(h_\eta \frac{\partial v_\xi}{\partial \xi} + v_\xi \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \right) d\eta \qquad (18)$$

en que I es la pendiente del fondo y η_* el punto límite donde se calcula la velocidad $v_{\eta *}$ e indica el comienzo de la integración. Este punto límite puede ser seleccionado sobre la superficie del agua, donde la componente v del escurrimiento secundario es nula. Esta condición junto con v_ξ y la relación de transformación de coordenadas se puede determinar $v_{\eta *}$ y w en la superficie del agua a partir de la cual se inicia la integración de la ecuación (18).

Ec. de transformación de coordenadas:

$$v_\xi = h_\xi \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} v + \frac{\partial \xi}{\partial z} w \right) \qquad (19)$$

$$v = h_\eta \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} v + \frac{\partial \eta}{\partial z} w \right) \qquad (20)$$

Reemplazando v = o en la sup. del agua y despejando w:

$$v_{\eta_x} = h_\eta \frac{\partial \eta}{\partial z} w \qquad (21)$$

$$w = v_\xi \left(h_\xi \frac{\partial \xi}{\partial z}\right)^{-1} \qquad (22)$$

(iv) Tensión de corte y flujo secundario.

La ecuación (14) puede expresarse en la forma:

$$\frac{\partial \tau_{\xi x}}{\partial \xi} + \frac{1}{h_\eta}\frac{\partial h_\eta}{\partial \xi}\tau_{\xi x} = h_\xi F \qquad (23)$$

en que : $F = \rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v_\xi \frac{1}{h_\xi}\frac{\partial u}{\partial \xi}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho g H) - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}$

cuya solución es:

$$\tau_{\xi x}(\xi_i, \eta) = -\frac{1}{h_\eta}\int_{\xi_i}^{\xi_D(\eta)} h_\xi h_\eta F \, d\xi + \tau_{\xi x}\left[\xi_D(\eta), \eta\right] \qquad (24)$$

en que $\xi_D(\eta)$ es el valor de ξ sobre la superficie del agua sobre cada curva η ; por lo tanto, el último término de (24), es la tensión de corte sobre la superficie. Para $\xi_i = \xi_o$ la ecuación (24) representa la tensión de corte sobre el fondo del canal. Para un escurrimiento permanente y uniforme en la dirección X, la ecuación (24) se reduce a:

$$\tau_{\xi x}(\xi_i, \eta) = \frac{1}{h_\eta}\left[g I \int_{\xi_i}^{\xi_D(\eta)} h_\xi h_\eta \, d\xi - \int_{\xi_i}^{\xi_D(\eta)} h_\eta v_\xi \frac{\partial u}{\partial \xi} d\xi\right] \qquad (25)$$

donde la 1era integral expresa el efecto de la gravedad y la 2da, el efecto del escurrimiento secundario. Resulta interesante considerar el caso extremo, en que las curvas isotáquicas del flujo primario (ξ) son horizontales y paralelas y las curvas η verticales y paralelas. Esta situación correspondería a un canal "muy ancho" y en su sección se verificaría que h_η y h_ξ

son constantes a lo largo de una línea η e independiente de ξ . Entonces, $h_\eta(\xi, \eta) = h_\eta(\xi_o, \eta)$;

$h_\xi(\xi, \eta) = h_\xi(\xi_o, \eta)$; $\xi_D = 1$; $\xi = y/D$; $R = D$; $\tau_{\xi x} = \tau_{yx}$

y $v_\xi = v$; así la ecuación (25) queda:

$$\tau_{\xi x}(\xi, \eta) = \tau_{yx} = \rho g D I (1 - y/D) - \rho\int_y^D v\frac{\partial u}{\partial y} dy \qquad (26)$$

$$y \quad \tau_o = \rho g D I - \rho\int_o^D v\frac{\partial u}{\partial y} dy \qquad (27)$$

Si la velocidad del flujo secundario, v, es despreciada resulta:

$$\tau_{\xi x} / \tau_o = 1 - y/D \qquad (28)$$

que es la fórmula comúnmente usada en la Hidráulica de Canales.

La ecuación (25) no es adecuada para calcular la tensión de corte, debido a que se requiere conocer v_ξ en toda la sección transversal del canal. Por otra parte, para calcular v_ξ es necesario conocer la distribución de la tensión de corte. La indeterminación puede resolverse expresando la solución de la ecuación (23) en forma de un polinomio en $\left[\xi_D(\eta) - \xi\right]$ de la siguiente forma:

$$\tau_{\xi x}(\xi, \eta) = \alpha_o + \alpha_1\left[\xi_D(\eta) - \xi\right] + \alpha_2\left[\xi_D(\eta) - \xi\right]^2 \qquad (29)$$

cuyas constantes se determinan introduciendo las condiciones de borde de la superficie del agua y el lecho del canal (paredes y fondo) en las ecuaciones (23) y (29). Las expresiones resultantes son:

$$\alpha_o = o \; ; \; \alpha_1 = -\left(h_\xi F_o\right)_{\substack{y=D \\ z=o}}$$

$$y \quad \alpha_2 = \frac{-h_\xi F_0 - \alpha_1 \left\{ 1 - \frac{1}{h_\eta} \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \left[\xi_D(\eta) - \xi_0 \right] \right\}}{2 - \frac{1}{h_\eta} \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \left[\xi_D(\eta) - \xi_0 \right]} \qquad (30)$$

en que F_0 corresponde al valor F para $v_\xi = 0$; h_ξ y h_η y sus derivadas son evaluadas en cada punto (ξ_0, η) sobre el lecho del canal.

(v) Cálculo Numérico del flujo secundario.

Las principales fases que se desarrollan para determinar el campo de velocidades del flujo secundario para una sección transversal determinado, son las siguientes:

- Determinación de los parámetros del modelo. $(\xi_0, \beta_1, \beta_2)$, mediante la resolución del sistema de ecuaciones no lineales de orden 3 indicado en (9) y (13). Para ello, se utiliza la rutina ZSPOW, disponible en la biblioteca IMSL del computador DEC-1091 de la U. de Concepción.

- Determinación de la componente v_ξ. Mediante las ecuaciones (17), (1), (29) y (30) se determina la función V_ξ en forma de un conjunto de valores calculados en los puntos de la red $\xi - \eta$.

- Determinación de la componente v_η. Mediante la ecuación (18), en la cual $\frac{\partial v_\xi}{\partial \xi}$ se calcula a través de la formulación en términos de diferencias finitas del conjunto de valores v_ξ determinados anteriormente. El valor $v_{\eta *}$ es el valor de v_η en el punto límite η_*, ubicado en la superficie del agua. El cálculo se avanza a lo largo de cada línea ξ desarrollando el proceso de integración numérico denominado "método del trapecio".

- Determinación de las componentes cartesianas. Las ecuaciones (2) y (3) se utilizan para determinar la red (y-z) y las relaciones (19) (20) (5) y (6) para calcular las componentes v y w.

Debido a la excesiva cantidad de cálculos y a la necesidad de ordenar los procesos numéricos, en la determinación de las velocidades secundarias, ha sido necesario diseñar un programa computacional; para estos efectos, se contó con el computador DEC-1091 de la U. de Concepción, utilizando lenguaje FORTRAN.

Este programa computacional está estructurado en un programa principal, cuatro subprogramas, tres subrutinas y una function que realizan los procesos de cálculo.

En el programa principal se realizan los procesos de lectura de variables de entrada por pantalla, llamado a rutinas y la impresión de velocidades del escurrimiento secundario en un archivo.

En la subrutina COORD, se calcula el valor de las coordenadas cartesianas y de los coeficientes métricos en los puntos de la red $\xi - \eta$. Además, se obtienen los coeficientes α_1 y α_2 de la distribución de la tensión de corte.

En la subrutina INTE, se realiza el proceso de cálculo de la tensión de corte, y de las velocidades del escurrimiento secundario en coordenadas curvilíneas.

En la subrutina CART, se realiza el proceso de transformación de las velocidades del escurrimiento secundario, del sistema curvilíneo al sistema cartesiano.

En la function RAD, se realiza el proceso iterativo de Newton, necesario en la determinación de las coordenadas cartesianas "y" (vertical) y "z" (horizontal) de los puntos de la red del sistema $\xi - \eta$.

(vi) Datos.

La información experimental utilizada corresponde a las velocidades medidas en un aforo de la sección transversal del Estero Mininco (de la cuenca del río Bío Bío).

CONCLUSIONES Y RESULTADOS

1. La modelación expuesta permite establecer un vínculo explícito entre las diferentes variables que interactúan en el escurrimiento de canales abiertos. Esto es, la distribución de velocidades del flujo primario, la geometría de la sección transversal, el flujo secundario y la distribución de tensiones de corte.

2. La exactitud de los cálculos, depende de la distribución de velocidades simulada por el modelo y que es utilizada como base para la formación del sistema coordenado curvilíneo. Por lo tanto, es absolutamente necesario contar con datos de velocidad del escurrimiento primario, para así determinar en la forma más exacta posible las curvas isotáquicas del flujo primario.

3. Se ha utilizado una expresión que permite determinar la distribución de las tensiones de corte a lo ancho del lecho del canal. Esta expresión incluye los efectos de la gravedad y la distribución de velocidades del flujo primario y secundario. La forma de la distribución de las tensiones de corte coincide con las erosiones locales observadas en la práctica, cerca de la esquina de la sección transversal.

4. Las tensiones de corte en el lecho, en conjunto con las corrientes secundarias son los principales mecanismos responsables de la erosión en canales abiertos.

5. Debido a la escasez de datos de velocidades del escurrimiento secundario y del esfuerzo de corte para calibrar los modelos, se hace necesario en el futuro, idear técnicas que permitan determinar estos datos en el terreno.

6. Los resultados del método aplicado a la sección escogida se indican en las Figs. Nº2, 3, 4,5 y cuadros numéricos Nº1, 2, 3, 4

BIBLIOGRAFIA

1. BUTKOV, EUGENE. "Mathematical Physics". Addison Wesley Publishing Company, 1968.

2. CHIU-CHAO-LIN, H.C. and Mizmura, K. "Simulation of Hydraulic Processes in Open Channel". Journal of Hydraulics Division, ASCE. Vol. 102 Nº HY2, Febrero 1976.

3. CHIU-CHAO-LIN and Hsiung, D.F. "Secondary Flow, Shear Stress and Sediment Transport". Journal of Hydraulics Division. ASCE. Vol. 107, NºHY7. July 1981.

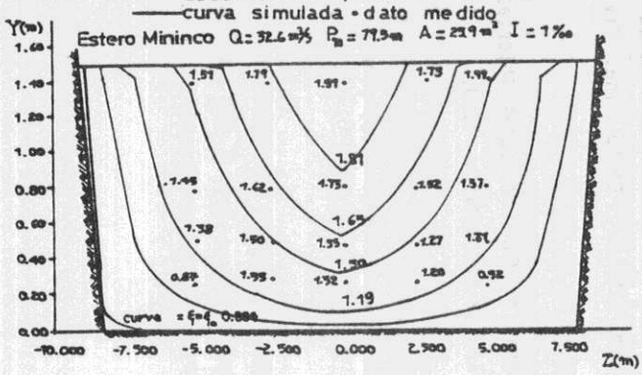
4. DOMINGUEZ, Fco. Javier. "Hidráulica". Ed. Universitaria, 1974.

5. FIGUEROA, E. "Introducción al Análisis Numérico". U. de Concepción. 1980.

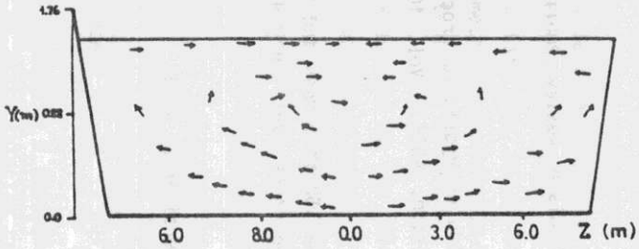
6. GODOY, J. "Métodos Numéricos para el cálculo de corrientes secundarias en canalizaciones abiertas". Memoria de título. Depto. Ing. Civil. U. de Concepción. 1990.

7. FUENTES, R. "Escurrimiento tridimensional en Canalizaciones Abiertas". Memoria de título.. Depto. Ing. Civil. U. de Concepción. 1990.

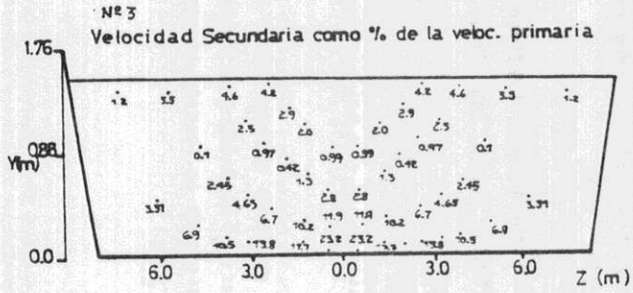
Nº2 Escurrimiento primario (m/s)
——curva simulada • dato medido
Estero Mininco Q= 32.6 m³/s P_m = 77.9 m A = 29.9 m² I = 1‰



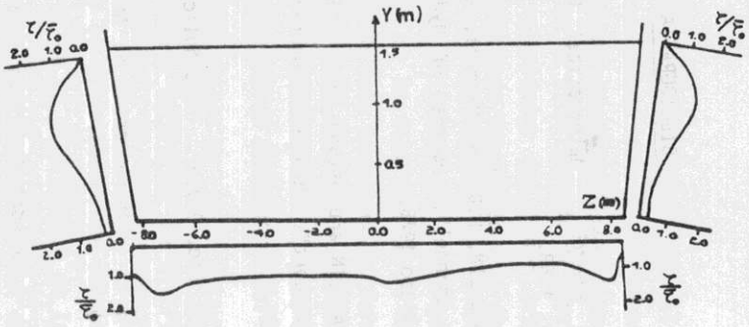
Nº4 Direcciones del escurrimiento Secundario



Nº3
Velocidad Secundaria como % de la veloc. primaria



Nº5 Tensiones de corte sobre el lecho del cauce



VELOCIDADES DEL ESCURRIMIENTO SECUNDARIO

ANALISIS LADO : izquierdo
DATOS DE LA SECCION :
Area : 12.938
Ancho : 9.000
Prof. eje Y : 1.500

PARAMEROS DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL ESCURRIMIENTO PRIMARIO :
EO = ξ_0 : 0.9847E-03
BT = β_i : 1.7254

COORD Y (m)	COORD Z (m)	VY (m/s)	VZ (m/s)	VT (m/s)	CORTE(kg/m^2)
0.137E+01	-0.732E+01	0.686E-10	-0.151E-01	0.151E-01	0.784E-01
0.516E+00	-0.605E+01	0.122E-01	-0.417E-01	0.435E-01	0.705E+00
0.289E+00	-0.488E+01	0.110E-01	-0.872E-01	0.879E-01	0.846E+00
0.203E+00	-0.395E+01	0.941E-02	-0.132E+00	0.132E+00	0.952E+00
0.158E+00	-0.316E+01	0.828E-02	-0.174E+00	0.174E+00	0.104E+01
0.130E+00	-0.246E+01	0.747E-02	-0.215E+00	0.215E+00	0.113E+01
0.111E+00	-0.183E+01	0.684E-02	-0.254E+00	0.254E+00	0.121E+01
0.973E-01	-0.125E+01	0.634E-02	-0.292E+00	0.292E+00	0.128E+01
0.867E-01	-0.716E+00	0.594E-02	-0.329E+00	0.329E+00	0.136E+01
0.140E+01	-0.559E+01	-0.157E-09	0.440E-01	0.440E-01	0.359E-01
0.944E+00	-0.471E+01	0.888E-02	0.833E-03	0.892E-02	0.319E+00
0.693E+00	-0.387E+01	0.113E-01	-0.308E-01	0.328E-01	0.532E+00
0.547E+00	-0.312E+01	0.116E-01	-0.586E-01	0.597E-01	0.695E+00
0.453E+00	-0.244E+01	0.111E-01	-0.838E-01	0.845E-01	0.829E+00
0.387E+00	-0.182E+01	0.106E-01	-0.107E+00	0.108E+00	0.944E+00
0.339E+00	-0.124E+01	0.100E-01	-0.129E+00	0.129E+00	0.105E+01
0.302E+00	-0.707E+00	0.948E-02	-0.150E+00	0.150E+00	0.114E+01
0.144E+01	-0.377E+01	0.240E-09	0.573E-01	0.573E-01	0.308E-01
0.117E+01	-0.311E+01	0.271E-02	0.313E-01	0.314E-01	0.209E+00
0.978E+00	-0.247E+01	0.396E-02	0.121E-01	0.127E-01	0.379E+00
0.841E+00	-0.187E+01	0.436E-02	-0.306E-02	0.533E-02	0.531E+00
0.737E+00	-0.131E+01	0.436E-02	-0.155E-01	0.161E-01	0.668E+00
0.657E+00	-0.776E+00	0.416E-02	-0.259E-01	0.262E-01	0.791E+00
0.594E+00	-0.275E+00	0.388E-02	-0.347E-01	0.349E-01	0.905E+00
0.149E+01	-0.244E+01	-0.137E-09	0.531E-01	0.531E-01	0.851E-02
0.129E+01	-0.187E+01	-0.355E-03	0.368E-01	0.368E-01	0.158E+00
0.114E+01	-0.133E+01	-0.880E-03	0.255E-01	0.256E-01	0.306E+00
0.102E+01	-0.818E+00	-0.150E-02	0.177E-01	0.178E-01	0.446E+00
0.919E+00	-0.326E+00	-0.214E-02	0.125E-01	0.127E-01	0.576E+00
0.150E+01	-0.123E+01	0.180E-09	0.339E-01	0.339E-01	0.205E-02
0.135E+01	-0.736E+00	-0.244E-02	0.260E-01	0.261E-01	0.141E+00
0.122E+01	-0.261E+00	-0.450E-02	0.218E-01	0.222E-01	0.276E+00

DISTRIBUCION TENSION DE CORTE SOBRE EL LECHO

COORD Y (m)	COORD Z (m)	CORTE (kg/m^2)
0.150E+01	-0.884E+01	0.353E-07
0.112E+01	-0.881E+01	0.159E+01
0.534E+00	-0.870E+01	0.100E+01
0.513E-01	-0.785E+01	0.172E+01
0.170E-01	-0.682E+01	0.132E+01
0.106E-01	-0.613E+01	0.117E+01
0.786E-02	-0.558E+01	0.113E+01
0.697E-02	-0.534E+01	0.112E+01
0.572E-02	-0.490E+01	0.111E+01
0.526E-02	-0.469E+01	0.112E+01
0.487E-02	-0.449E+01	0.112E+01
0.454E-02	-0.431E+01	0.113E+01
0.401E-02	-0.395E+01	0.114E+01
0.379E-02	-0.378E+01	0.115E+01
0.359E-02	-0.362E+01	0.116E+01
0.342E-02	-0.346E+01	0.117E+01
0.312E-02	-0.316E+01	0.120E+01
0.287E-02	-0.287E+01	0.122E+01
0.266E-02	-0.260E+01	0.124E+01
0.256E-02	-0.246E+01	0.125E+01
0.240E-02	-0.220E+01	0.128E+01
0.232E-02	-0.208E+01	0.129E+01
0.219E-02	-0.183E+01	0.131E+01
0.207E-02	-0.160E+01	0.134E+01
0.201E-02	-0.148E+01	0.135E+01
0.191E-02	-0.126E+01	0.138E+01
0.182E-02	-0.104E+01	0.140E+01
0.178E-02	-0.928E+00	0.141E+01
0.174E-02	-0.822E+00	0.143E+01
0.170E-02	-0.717E+00	0.144E+01
0.167E-02	-0.613E+00	0.145E+01
0.163E-02	-0.511E+00	0.146E+01
0.160E-02	-0.410E+00	0.148E+01
0.157E-02	-0.310E+00	0.149E+01

VELOCIDADES DEL ESCURRIMIENTO SECUNDARIO

ANALISIS LADO : derecho

DATOS DE LA SECCION : Area : 12.938

Ancho : 9.000

Prof. eje Y : 1.500

PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL ESCURRIMIENTO PRIMARIO : EO = F_o : 0.9847E-03

BT = β_1 : 1.7254

COORD Y (m)	COORD Z (m)	VY (m/s)	VZ (m/s)	VT (m/s)	CORTE (kg/m^2)
0.137E+01	0.732E+01	0.686E-10	-0.151E-01	0.151E-01	0.784E-01
0.516E+00	0.605E+01	0.122E-01	0.417E-01	0.435E-01	0.705E+00
0.289E+00	0.488E+01	0.110E-01	0.872E-01	0.879E-01	0.846E+00
0.203E+00	0.395E+01	0.941E-02	0.132E+00	0.132E+00	0.952E+00
0.158E+00	0.316E+01	0.828E-02	0.174E+00	0.174E+00	0.104E+01
0.130E+00	0.246E+01	0.747E-02	0.215E+00	0.215E+00	0.113E+01
0.111E+00	0.183E+01	0.684E-02	0.254E+00	0.254E+00	0.121E+01
0.973E-01	0.125E+01	0.634E-02	0.292E+00	0.292E+00	0.128E+01
0.867E-01	0.716E+00	0.594E-02	0.329E+00	0.329E+00	0.136E+01
0.140E+01	0.559E+01	-0.157E-09	-0.440E-01	0.440E-01	0.359E-01
0.944E+00	0.471E+01	0.888E-02	0.833E-03	0.892E-02	0.319E+00
0.693E+00	0.387E+01	0.113E-01	0.308E-01	0.328E-01	0.532E+00
0.547E+00	0.312E+01	0.116E-01	0.586E-01	0.597E-01	0.695E+00
0.453E+00	0.244E+01	0.111E-01	0.838E-01	0.845E-01	0.829E+00
0.387E+00	0.182E+01	0.106E-01	0.107E+00	0.108E+00	0.944E+00
0.339E+00	0.124E+01	0.100E-01	0.129E+00	0.129E+00	0.105E+01
0.302E+00	0.707E+00	0.948E-02	0.150E+00	0.150E+00	0.114E+01
0.144E+01	0.377E+01	0.240E-09	-0.573E-01	0.573E-01	0.308E-01
0.117E+01	0.311E+01	0.271E-02	-0.313E-01	0.314E-01	0.209E+00
0.978E+00	0.247E+01	0.396E-02	-0.121E-01	0.127E-01	0.379E+00
0.841E+00	0.187E+01	0.436E-02	0.306E-02	0.533E-02	0.531E+00
0.737E+00	0.131E+01	0.436E-02	0.155E-01	0.161E-01	0.668E+00
0.657E+00	0.776E+00	0.416E-02	0.259E-01	0.262E-01	0.791E+00
0.594E+00	0.275E+00	0.388E-02	0.347E-01	0.349E-01	0.905E+00
0.149E+01	0.244E+01	-0.137E-09	-0.531E-01	0.531E-01	0.851E-02
0.129E+01	0.187E+01	-0.355E-03	-0.368E-01	0.368E-01	0.158E+00
0.114E+01	0.123E+01	-0.880E-03	-0.255E-01	0.256E-01	0.306E+00
0.102E+01	0.818E+00	-0.150E-02	-0.177E-01	0.178E-01	0.446E+00
0.919E+00	0.326E+00	-0.214E-02	-0.125E-01	0.127E-01	0.576E+00
0.150E+01	0.123E+01	0.180E-09	-0.339E-01	0.339E-01	0.205E-02
0.135E+01	0.736E+00	-0.244E-02	-0.260E-01	0.261E-01	0.141E+00
0.122E+01	0.261E+00	-0.450E-02	-0.218E-01	0.222E-01	0.276E+00

DISTRIBUCION TENSION DE CORTE SOBRE EL LECHO

COORD Y (m)	COORD Z (m)	CORTE (kg/m^2)
	0.150E+01	0.884E+01
	0.534E+00	0.870E+01
	0.513E-01	0.765E+01
	0.250E-01	0.725E+01
	0.170E-01	0.682E+01
	0.130E-01	0.645E+01
	0.902E-02	0.565E+01
	0.786E-02	0.558E+01
	0.697E-02	0.534E+01
	0.572E-02	0.490E+01
	0.526E-02	0.469E+01
	0.487E-02	0.449E+01
	0.426E-02	0.413E+01
	0.379E-02	0.378E+01
	0.342E-02	0.346E+01
	0.312E-02	0.316E+01
	0.276E-02	0.273E+01
	0.256E-02	0.246E+01
	0.248E-02	0.223E+01
	0.232E-02	0.208E+01
	0.219E-02	0.183E+01
	0.207E-02	0.160E+01
	0.201E-02	0.148E+01
	0.187E-02	0.114E+01
	0.178E-02	0.928E+00
	0.174E-02	0.822E+00
	0.170E-02	0.717E+00
	0.167E-02	0.613E+00
	0.160E-02	0.410E+00
	0.157E-02	0.310E+00

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

X CONGRESO NACIONAL

COEFICIENTES DE GASTO DE VERTEDEROS DE RANURA.

EUGENIO VASQUEZ P.

LUDWIG STOWHAS B.

RESUMEN

Se presenta una expresión analítica teórico experimental, validada en base a mediciones efectuadas en prototipos en operación, para el cálculo de coeficientes de descarga de vertederos de marcos partidores de boquera o ranura lateral, que permite ampliar el rango de utilización de este tipo de estructuras al caso de extracción de fracciones muy pequeñas del caudal de un canal, en que el ancho de las ranuras resulta inferior al rango de valores experimentales disponibles hasta la fecha.

Se analiza la sensibilidad del coeficiente de descarga ante variaciones de la carga sobre el vertedero y variaciones de la rugosidad de las paredes del mismo, evaluándose la variación de la razón de partición o error de partición del vertederos ante variaciones de la carga respecto al valor de diseño.

Se concluye que es posible extender el uso de partidores de ranura para la extracción de fracciones muy pequeñas del caudal de un canal, con errores inferiores a los que se obtienen con otras estructurras alternativas utilizadas para dichos propósitos, siempre que se logre un buen control constructivo de la obra en cuanto a respetar las dimensiones y rugosidad de las paredes adoptadas en el proyecto. Se sugiere para ello la normalización de los materiales a utilizar o la prefabricación de los elementos que materializarán las paredes de la ranura.

Ingenieros Civiles, Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaiso.