

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE ASPECTO ANCHO/TIRANTE (B/H) EN LOS FLUJOS EN CURVA

Leticia Tarrab¹, Carlos A. Vionnet^{2,3} y Andrés Rodríguez^{1,3}

¹ Laboratorio de Hidráulica – FCEFYN / ISRH – SECYT / UNC, Córdoba

² CENtro de Estudios Hidro-Ambientales - CENEHA, FICH, UNL, Santa Fe, ³ CONICET

E-mail: ltarrab@isrh.unc.edu.ar; cvionnet@email.arizona.edu; arodrig@isrh.unc.edu.ar

RESUMEN

Los patrones de flujo en las curvas de los ríos muestran diferentes comportamientos en función de la configuración geométrica, y particularmente de la relación B/H (ancho/tirante). Esta relación es considerada frecuentemente como parámetro principal para caracterizar el flujo en canales curvos. En este trabajo se analiza la dinámica del flujo transversal en dos curvas diferentes pertenecientes al sistema aluvial del Río Paraná. Para lo cual, se realizaron mediciones de topografía con una sonda ecógrafa y mediciones de velocidad 3D con un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) en varias secciones transversales de las dos áreas de estudio. Los campos de velocidad transversal muestran un comportamiento del flujo disímil en cada caso en coincidencia con las investigaciones previas mostradas por otros autores, aunque la mayoría están basadas sobre datos de laboratorio. En el presente, se están realizando trabajos de campo que permitirán un estudio más profundo del proceso que gobierna los flujos laterales en curvas con diferentes relaciones B/H .

ABSTRACT

Flow patterns in river bends exhibit different behaviors depending on the geometric configuration of the cross section, and particularly, on the aspect ratio between the mean channel width the mean water depth, i.e., B/H . It turns out that this ratio plays a major role to characterize the flow in crosswise direction in river bends. In this communication, the behavior of the crosswise flow measured at two different river bends located within the alluvial system of the Paraná River system is analyzed. River bottom surveying with an echo-sounder and 3D velocity measurements with an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) were undertaken in several cross sections of both study areas. The crosswise velocity fields show a dissimilar behavior in each case, in coincidence with previous findings reported by several authors albeit mainly based upon flume data instead of field data. At present, additional field work is underway to allow a deeper understanding of the fundamentals mechanisms governing cross flows in river bends characterize with different aspect ratio B/H .

INTRODUCCIÓN

El flujo en canales curvos difiere de aquel en canales rectos a causa de la aceleración centrípeta. Como consecuencia, se produce una sobreelevación de la superficie del agua la cual conduce, bajo ciertas condiciones, a un movimiento helicoidal en respuesta a una corriente secundaria que se establece en dirección perpendicular al sentido del escurrimiento principal.

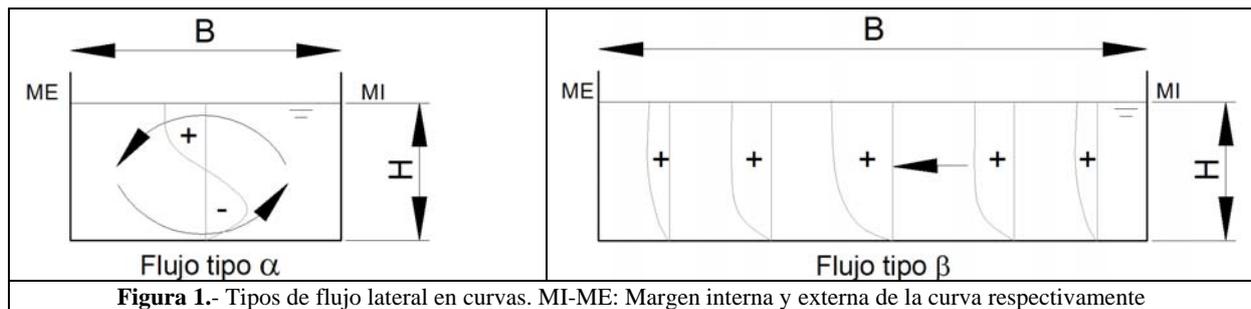
Una celda de circulación secundaria es, por definición, una celda cerrada en donde el flujo neto transversal es cero. La detección de una componente no nula de velocidad transversal en un cauce natural es condición necesaria, aunque no suficiente, para la existencia de una celda de circulación secundaria. En una curva de un río, la acción de la fuerza centrífuga en superficie excede el gradiente de presión lateral y el agua es llevada hacia la margen externa. Por el contrario, la fuerza de presión es dominante en proximidades del lecho, puesto que la presión hidrostática adicional no se encuentra equilibrada por la aceleración centrípeta, y las partículas de agua se desvían hacia la margen convexa. Las corrientes verticales, hacia arriba en la zona de la margen interna, y hacia abajo en la zona de la margen externa, completan la celda de circulación secundaria (Engelund, 1974; Falcon, 1984).

Es difícil visualizar la existencia de una celda de circulación transversal en ríos meandrosos con relaciones de aspecto ancho del cauce/tirante (B/H) del orden de 100, o mayores, a diferencia de lo que ocurre en canales de laboratorio distorsionados (Matthes, 1941; Dietrich y Whiting, 1989), que se caracterizan por razones de aspecto del orden $B/H \leq 20$ aproximadamente. Friedkin (1945) observó distintos comportamientos en la erosión que se produce en curvas de canales anchos con respecto a la de canales angostos, o de baja relación B/H . Por tanto, la evidencia acumulada indicaría que la evolución morfológica de un río meandriforme depende, entre otros parámetros de interés, de la relación B/H . Experimentos con visualizaciones de flujo (Francis y Safari, 1970) mostraron que cuando las relaciones $B/H \gg 10$, la intensidad de las corrientes secundarias decrece. Bathurst (1979) observó que las corrientes secundarias se tornan más significativas para caudales medios que para los caudales bajos o altos, lo cual permite inferir que para distintas relaciones B/H las corrientes secundarias muestran comportamientos diferentes. A su vez, Yen (1972) mostró que para curvas con relaciones $B/H \geq 12$ la intensidad de las corrientes secundarias es despreciable ya que la sobreelevación de la superficie del agua es pequeña, con lo cual la fuerza de presión (que al contrabalancear parcialmente el efecto de aceleración centrípeta produce la celda de corrientes secundarias) es despreciable. Por su parte, Hooke (1975) realizó varios experimentos en un canal de ancho unitario ($B = 1m$) analizando el efecto de la relación B/H en la topografía de equilibrio de un canal. Encontró que dentro del rango [8,20] de B/H no se aprecian cambios significativos en los patrones de erosión y deposición en la curva. Banerjee (2000) demostró a través de experimentos numéricos que abarcaron el rango [10,67] de la relación B/H que la evolución morfológica del cauce en una curva no depende de las celdas de corrientes secundarias, ya que simuló mediciones de laboratorio sin considerar las corrientes secundarias y considerando su efecto. En ambos casos no hubo diferencias significativas. Yalin (1992) analizó el comportamiento de los flujos en canales curvos, sugiriendo que en función de la relación B/H , se pueden desarrollar dos tipos de flujo (Figura 1):

- a- Flujo α , o flujo helicoidal: propio de canales angostos. Es un flujo inducido por la mayor curvatura del canal ($1/R$) y consiste en un movimiento del flujo longitudinal paralelo a los bordes al cual se le superpone una circulación transversal.
- b- Flujo β , o flujo lateral oscilante: propio de canales anchos. Este flujo es inducido por la variación de la curvatura del canal $\partial(1/R)/\partial l$ en la dirección longitudinal l y es formado por la masa de fluido que se traslada (en todo el espesor H de la lámina líquida) periódicamente entre la margen izquierda y la margen derecha mientras se mueve a lo largo de la longitud de la curva.

Yalin y Da Silva (2001) encontraron que la velocidad transversal se incrementa con la relación B/H , además del ya conocido incremento con la relación B/R . Ellos concluyen, que la intensidad de la circulación secundaria depende del ángulo inicial de deflexión del canal θ , la relación B/H , la sinuosidad del canal, la resistencia del canal, y la velocidad media del canal.

El objetivo del presente trabajo consistió en analizar la influencia de la relación de aspecto B/H sobre flujos transversales observados en campo (en este caso, en un gran río de llanura de baja pendiente). Se realizaron campañas en dos curvas del sistema aluvial del Río Paraná, en noviembre de 2004 y mayo de 2006, curvas que se caracterizan por exhibir razones de B/H diferenciadas, entre otros rasgos morfológicos distintivos de cada zona.



MATERIALES Y METODOS

Las mediciones de campo se realizaron en dos curvas en las cercanías de la ciudad de Santa Fe. Una de ellas se sitúa en el tramo exterior del canal de acceso al puerto de la ciudad, en la desembocadura del Río Colastiné antes de unirse al cauce principal del Río Paraná. La otra zona elegida para verificar el establecimiento de posibles flujos tipo α , y/o tipo β , se situó en un meandro natural del Río Coronda (Figura 2).



Las mediciones fueron realizadas con un ADCP Sontek® de 1000 kHz, perteneciente a la FICH. Este equipo se coloca normalmente sobre el lateral de una embarcación especialmente acondicionada para mediciones de campo. Por otra parte, se relevó la topografía del cauce mediante una sonda ecógrafa Raytheon con salida digital, vinculada a un sistema de posicionamiento satelital con corrección diferencial (DGPS), a los fines de minimizar el error en la localización de las transectas.

Las mediciones en el canal de acceso se realizaron en seis Secciones Transversales, mientras que en el Río Coronda se seleccionaron cuatro ST (Figura 3). Las ST 0 y 1 en el canal de acceso se ejecutaron con el propósito de realizar una post-validación del algoritmo desarrollado para proyectar las CS, puesto que era de esperar que al menos una de ellas

exhibiera una partición el flujo entre el agua del Colastiné que se divide entre el canal de acceso y la desembocadura al Paraná.

Debido a la ambigüedad inherente a la definición de una ST (Lane et al., 2000; Rhoads y Kenworthy, 1998), en este trabajo se consideró como componente transversal de velocidad a toda aquella componente no paralela a la dirección del thalweg. Desde un punto de vista práctico, las ST se definieron en gabinete a partir de un centro de curvatura imaginario, y luego se intentó que la embarcación recorriera dicha alineación de la forma más fiel posible utilizando navegación con GPS a tiempo real. Se repitieron las mediciones en cada ST con la finalidad de analizar la persistencia –o no– de los patrones de flujo secundario.

Los datos obtenidos directamente por el ADCP se colectan en diferentes verticales, las cuales no se encuentran alineadas a lo ancho de la ST teórica, sino que se ubican en forma alternada a lo largo del recorrido de la lancha. Por lo cual, mediante un algoritmo denominado SC (Vionnet, 2004), se realizó el procesamiento de la información definiendo una única ST media de todas las pasadas, o recorridos de la embarcación, a lo largo de la ST predefinida. Esta promediación produce una proyección consistente de las componentes transversales de la velocidad de la corriente, las que pueden ajustarse a un patrón de flujo tipo α , o tipo β , los que según Yalin (1992) son consecuencia de la relación B/H dominante.

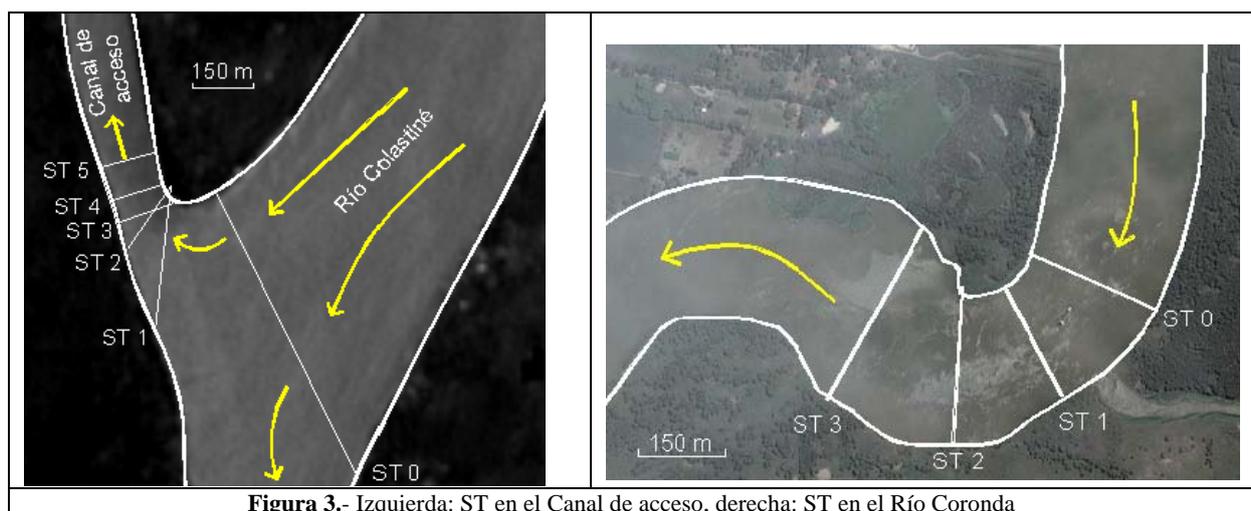


Figura 3.- Izquierda: ST en el Canal de acceso, derecha: ST en el Río Coronda

RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de las mediciones realizadas en campo en mayo del 2006. El caudal medido en el canal de acceso fue de $917 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que en el Río Coronda fue de $1870 \text{ m}^3/\text{s}$. Las características hidráulicas de las ST en cada recorrido de la embarcación se muestran en la Tabla 1, para el caso del canal de acceso, y en la Tabla 2 para el Río Coronda. Se observa que la relación B/H en la zona central de la curva del canal de acceso (ST 2 y 3) fue del orden de 10, menor que la relación en la zona central de la curva del Río Coronda (ST 2), la cual fue del orden de 15. Para estimar la relación B/H se consideró a la profundidad hidráulica (área/ancho) como profundidad representativa de la sección transversal H .

El intervalo de promediación Δt es el período de tiempo (en segundos) en el cual el ADCP promedia los datos para calcular la velocidad media en el perfil (en cada punto de la vertical).

El parámetro Δt no fue el mismo para todas las mediciones realizadas a los fines de analizar la influencia de dicho parámetro en las velocidades medidas.

Tabla 1.- Parámetros hidráulicos en el canal de acceso

Sección	Número de medición	Δt	Caudal	Area	Velocidad media	Ancho	Profundidad Hidráulica	Profundidad máxima	B/H
		(s)							
ST 0	CA06-18	10	1968	3027	0.65	774	3.9	9.4	198
ST 1	CA06-16	10	998	2694	0.37	343	7.9	15.3	44
	CA06-17	10	1036	3093	0.33	367	8.4	15.1	44
ST 2	CA06-10	10	937	1813	0.52	143	12.7	17.6	11
	CA06-11	10	937	1824	0.51	143	12.8	17.6	11
	CA06-12	10	1032	1970	0.52	161	12.3	16.4	13
	CA06-13	10	901	1695	0.53	140	12.1	17.7	12
	CA06-14	5	906	1850	0.49	144	12.9	17.6	11
	CA06-15	5	914	1730	0.53	142	12.2	17.5	12
ST 3	CA06-6	10	893	1724	0.52	131	13.2	18.3	10
	CA06-7	10	892	1653	0.54	110	15.0	17.7	7
	CA06-8	10	913	1595	0.57	130	12.2	18.5	11
	CA06-9	10	866	1568	0.55	128	12.2	18.4	10
ST 4	CA06-2	10	864	1208	0.72	99	12.2	18.6	8
	CA06-3	10	834	1271	0.66	115	11.1	18.2	10
	CA06-4	10	873	1365	0.64	110	12.4	18.5	9
	CA06-5	10	915	1277	0.72	107	12.0	18.4	9
ST 5	CA06-1	10	883	1105	0.80	126	8.8	13.9	14

Δt : Intervalo de promediación del ADCP

Tabla 2.- Parámetros hidráulicos en el Río Coronda

Sección	Número de medición	Δt	Caudal	Area	Velocidad media	Ancho	Profundidad Hidráulica	Profundidad máxima	B/H
		(s)							
ST 0	C006-14	5	1846	2763	0.67	226	12.2	15.2	18
	C006-15	5	1956	2818	0.69	228	12.4	15.2	18
	C006-16	10	1752	2730	0.64	227	12.0	15.0	19
ST1	C006-9	5	1776	3227	0.55	207	15.6	20.2	13
	C006-10	5	1753	3300	0.53	210	15.7	19.9	13
	C006-11	5	1924	3291	0.58	211	15.6	19.4	14
	C006-12	10	1793	3291	0.54	211	15.6	20.0	14
	C006-13	10	1945	3361	0.58	206	16.3	20.0	13
ST 2	C006-5	10	1932	3996	0.48	237	16.8	15.3	14
	C006-6	10	1918	3983	0.48	248	16.1	21.3	15
	C006-7	5	1766	4028	0.44	247	16.3	21.2	15
	C006-8	5	1900	3986	0.48	251	15.9	20.9	16
ST 3	C006-1	10	1871	3248	0.58	292	10.7	29.4	27
	C006-2	10	1971	3518	0.56	303	11.6	38.7	26
	C006-3	10	1851	3352	0.55	203	11.1	24.4	18
	C006-4	10	1960	3310	0.59	232	10.9	24.7	21

Δt : Intervalo de promediación del ADCP

Las Figuras 4 y 5 muestran las batimetrías relevadas en el tramo curvo del Río Colastiné-canal de acceso y en la curva del Río Coronda respectivamente. Las profundidades se encuentran referidas al cero de la superficie libre.

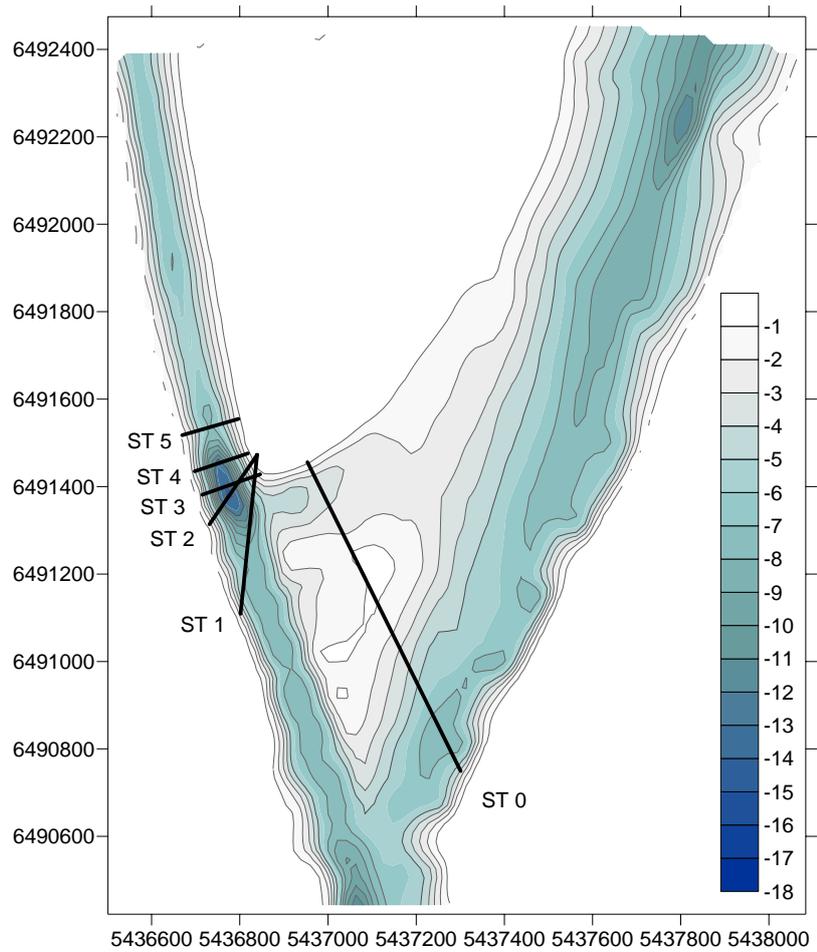


Figura 4.- Batimetría del canal de acceso relevada con ecosonda e interpolada linealmente

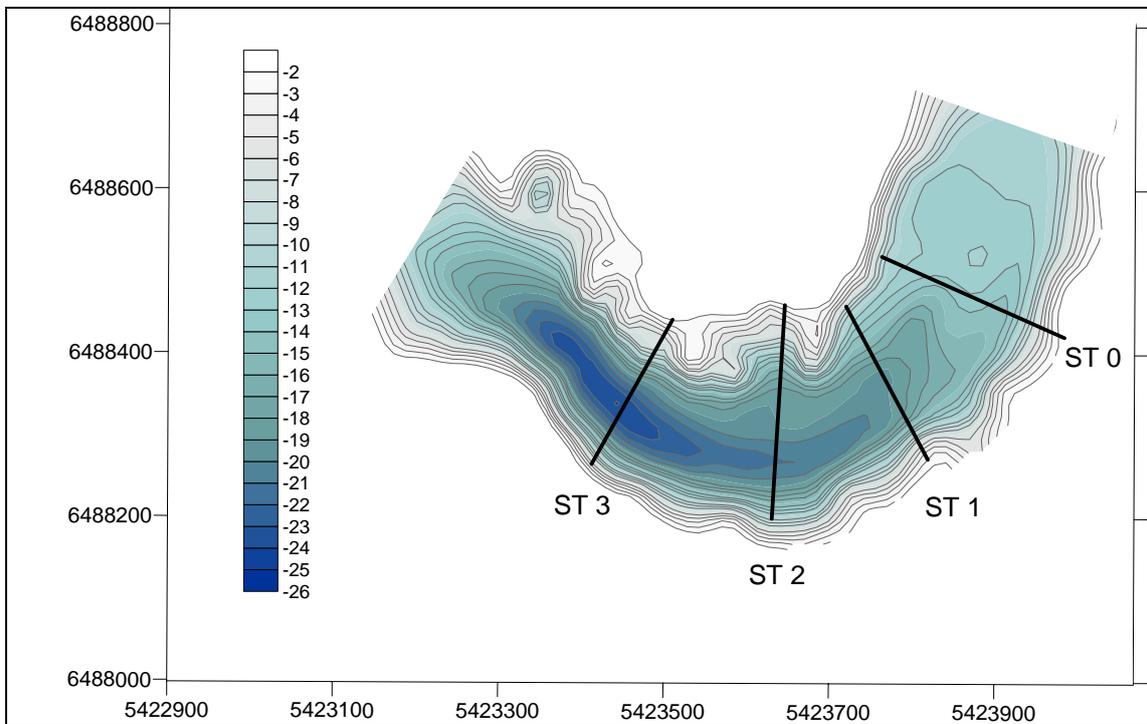


Figura 5.- Batimetría del Río Coronda relevada con ecosonda e interpolada

Componentes horizontales de la velocidad

En las Figuras 6 y 7 se muestran las velocidades longitudinales promediadas en la vertical e instantáneas (medidas en una pasada con la embarcación) en las ST relevadas en campo en el canal de acceso y en Río Coronda respectivamente. En ambos casos, en la entrada de la curva, las velocidades máximas se encuentran sobre la margen interna mientras que en la salida se encuentran sobre la margen externa.

Se observa en ambos casos sobre la margen interna de la curva una zona de separación del flujo en concordancia con lo observado por Rozovskii (1957) y Ferguson et al. (2003). La separación ocurre cuando los bordes se separan del flujo principal (o el flujo principal se separa de los bordes), causando una divergencia de las líneas de corriente (Leeder y Bridges, 1975). En los canales curvos suelen presentarse dos zonas de separación, una en la margen interna y otra en la margen externa de la curva. La separación en la margen interna es mas persistente que la que ocurre en la margen externa y se manifiesta generalmente en las conocidas *point bars* o depósitos de sedimentos. Esta última zona de separación del flujo se encuentra magnificada también por el flujo en espiral que tiende a incrementar el transporte de sedimentos desde el fondo (desde la margen externa hacia la interna) y a trasladar el fluido superficial (que presenta velocidades mayores) hacia la margen externa. La separación en la margen externa no se presenta en todos los casos ya que este tipo de estructura de flujo se observa cuando el canal es de fuerte curvatura (Markham y Thorne, 1992)

En el Río Coronda (Figura 7), además de la zona de separación en la margen interna, se desarrolló una segunda zona de separación del flujo en la entrada de la curva sobre la margen externa, aunque de carácter más débil que la observada sobre la margen interna.

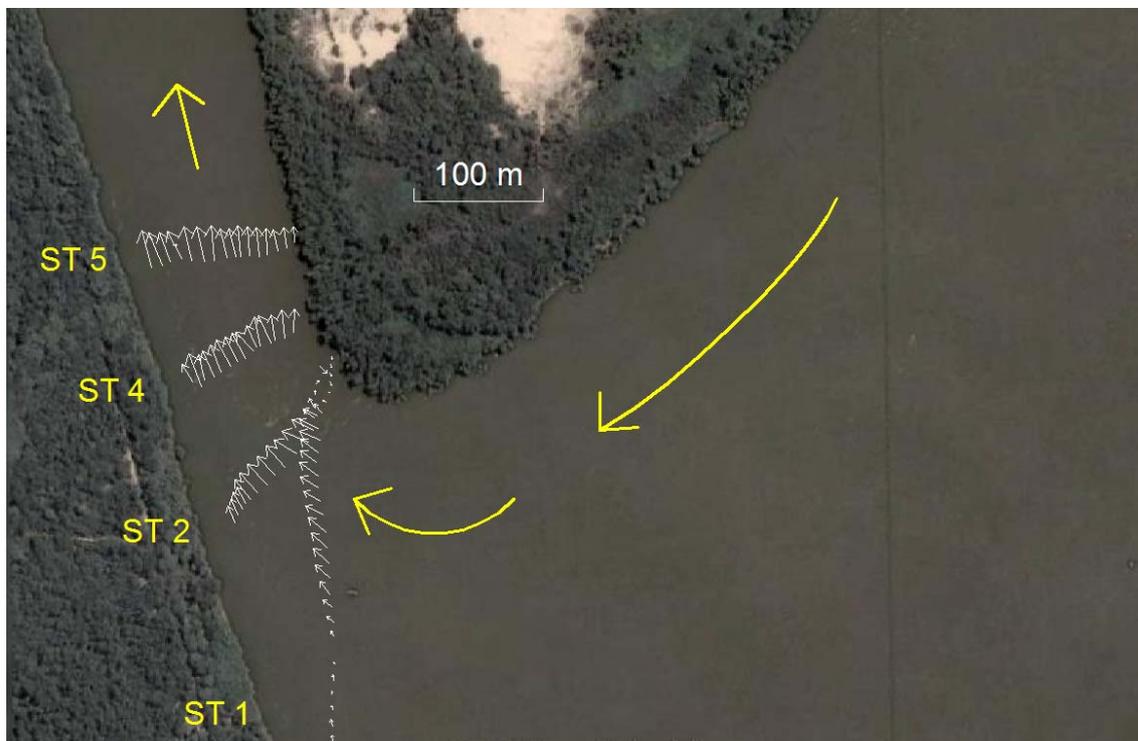


Figura 6.- Velocidades medias en la vertical en el canal de acceso

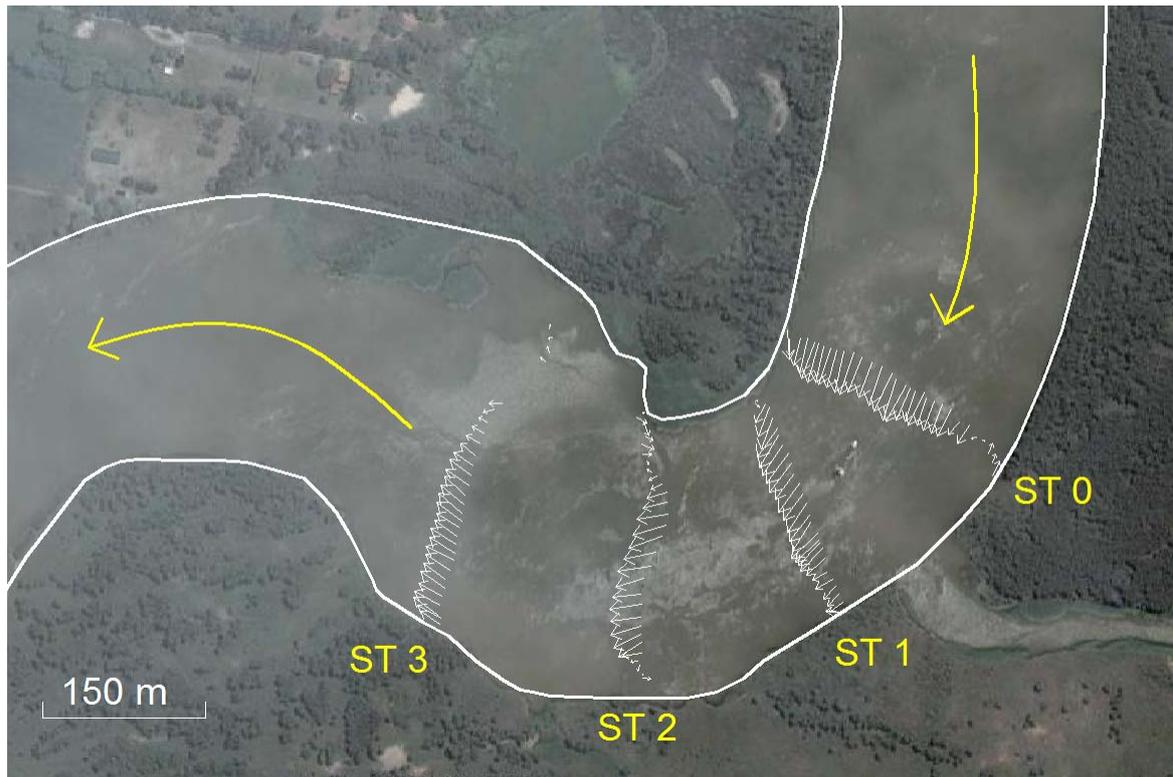


Figura 7.-Velocidades medias en la vertical en el Río Coronda

Componentes transversales de la velocidad

En las Figuras 8, 9, 10, y 11 se muestran los campos de velocidades transversales (unidimensionales y bidimensionales) medidos en el canal de acceso en las ST 2, 3, 4 y 5 respectivamente, durante la campaña de mayo de 2006. En las 4 mediciones, se observó una celda de circulación secundaria de forma helicoidal, en correspondencia a lo que ocurre en los flujos de tipo α . Las celdas de corrientes secundarias observadas en las ST 2 y ST 3 muestran un patrón similar, lo cual no era esperar ya que a pesar de que ambas transectas se encuentran en la misma zona del canal, su plano de orientación difiere sustancialmente. En la ST 5 (Figura 11), se observa un decaimiento de la intensidad de la celda de circulación secundaria debido a que este tramo se encuentra a la salida de la curva y por lo tanto la influencia de las fuerzas centrífugas es más débil.

Las corrientes secundarias en el Río Coronda mostraron un patrón diferente. En todas las ST medidas se observó un flujo lateral unidireccional (Figuras 12 a 15) lo cual indica que se estaría en presencia de un flujo tipo β . El flujo unidireccional se encuentra dirigido hacia la margen externa de la curva (margen izquierda) en las ST 0, 1 y 2 mientras que en el ST 3 (Figura 15) se encuentra dirigido hacia la margen interna (margen derecha). Este cambio de orientación del flujo secundaria sería atribuible a la influencia de la segunda curva (o contracurva) que se encuentra a continuación del tramo en cuestión.

Por otra parte, se observa que en la zona en donde ocurre separación del flujo sobre la margen externa en la ST 0 (Figura 7), la intensidad del flujo lateral disminuye (Figura 12) considerablemente.

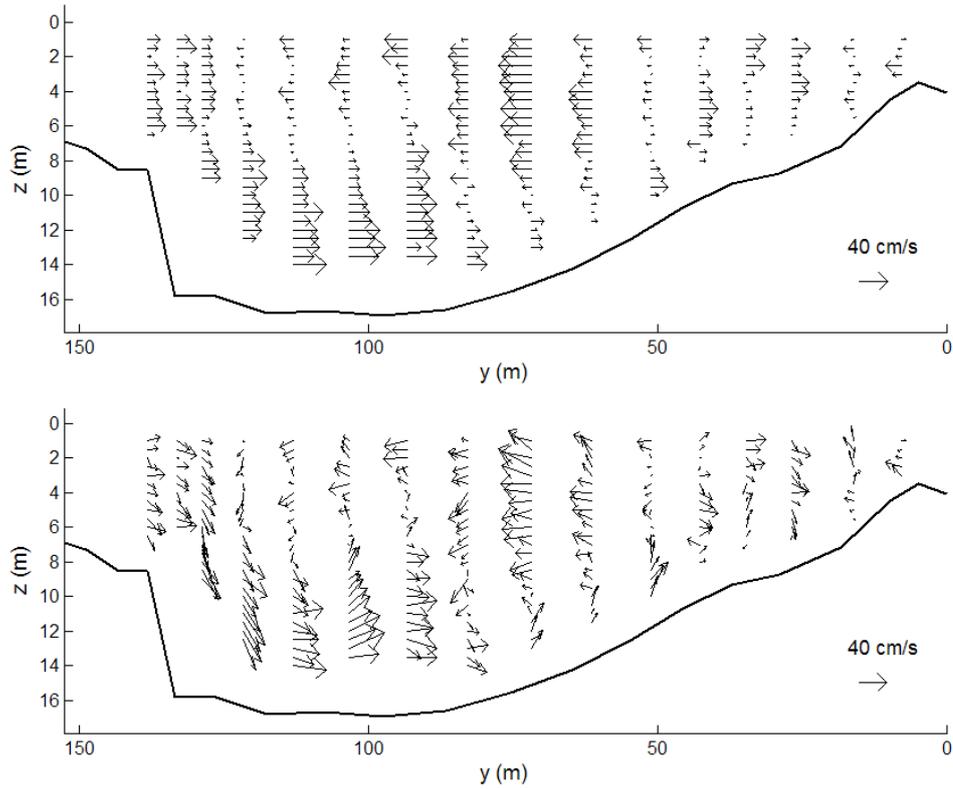


Figura 8.- Velocidad proyectada en la ST 2. Medición CA06-11 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

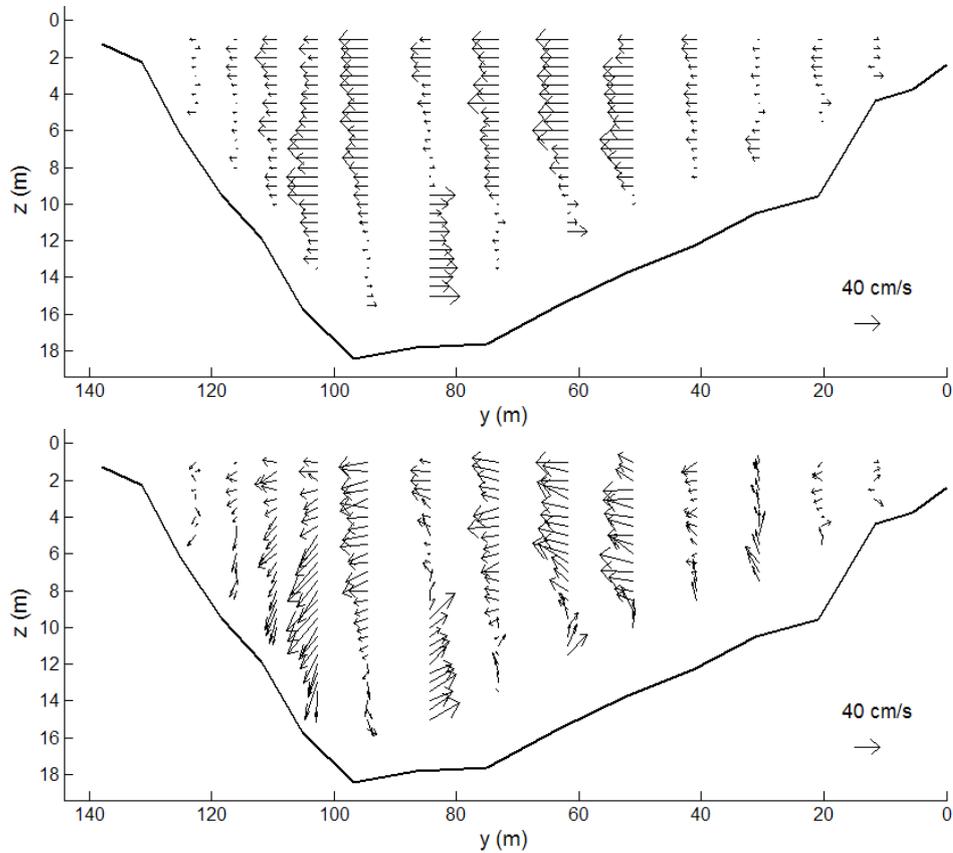


Figura 9.- Velocidad proyectada en la ST 3. Medición CA06-9 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2d

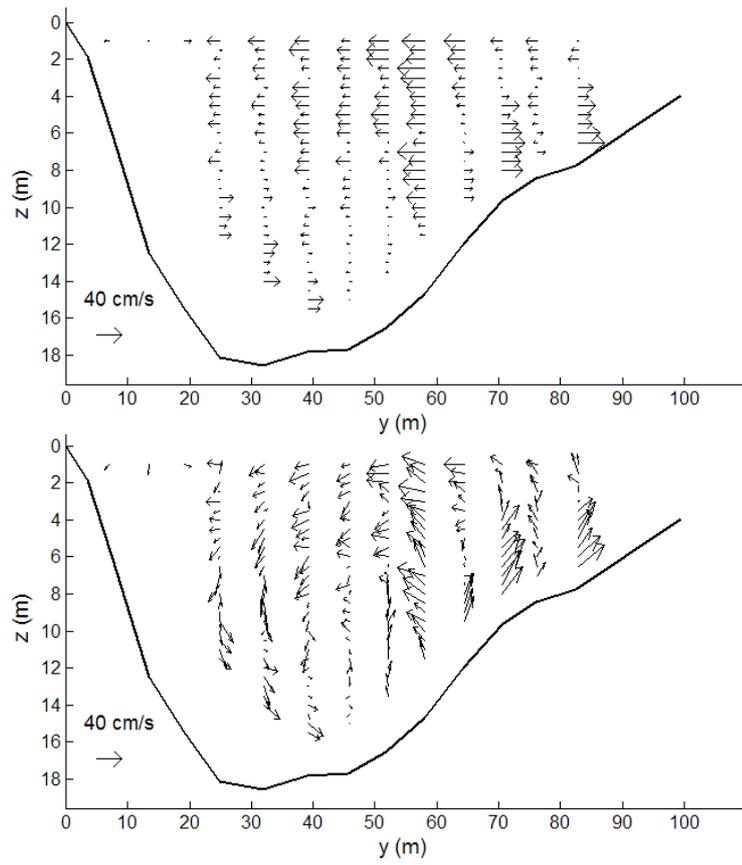


Figura 10.- Velocidad proyectada en la ST 4. Medición CA06-2 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

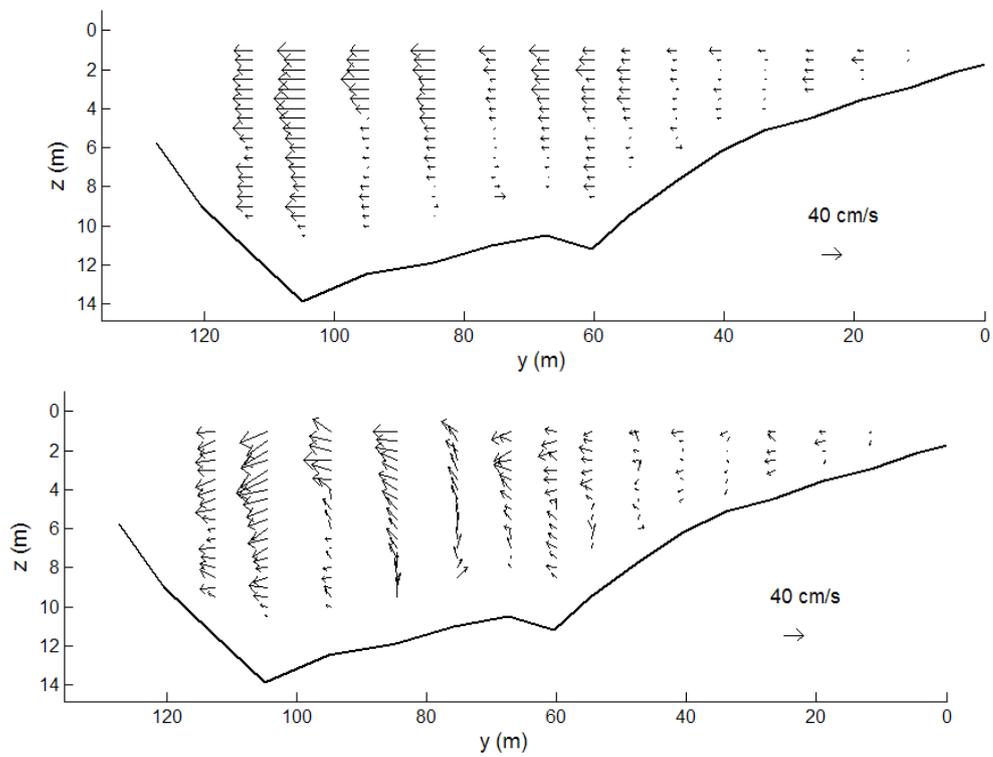


Figura 11.- Velocidad proyectada en la ST 5. Medición CA06-1 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

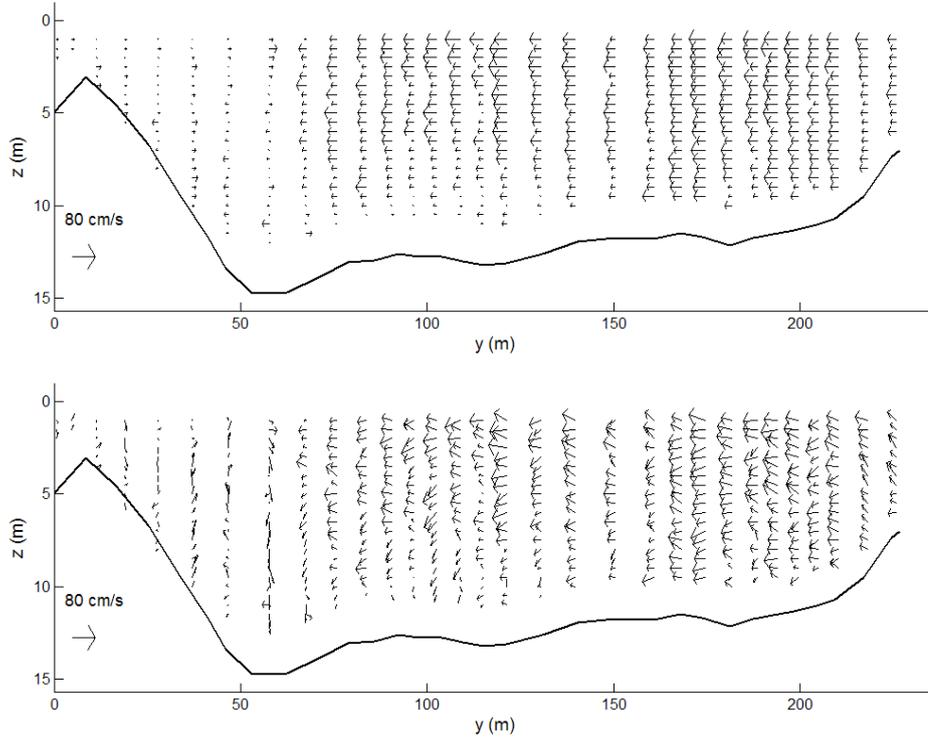


Figura 12.- Velocidad proyectada en la ST 0. Medición CO06-16 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

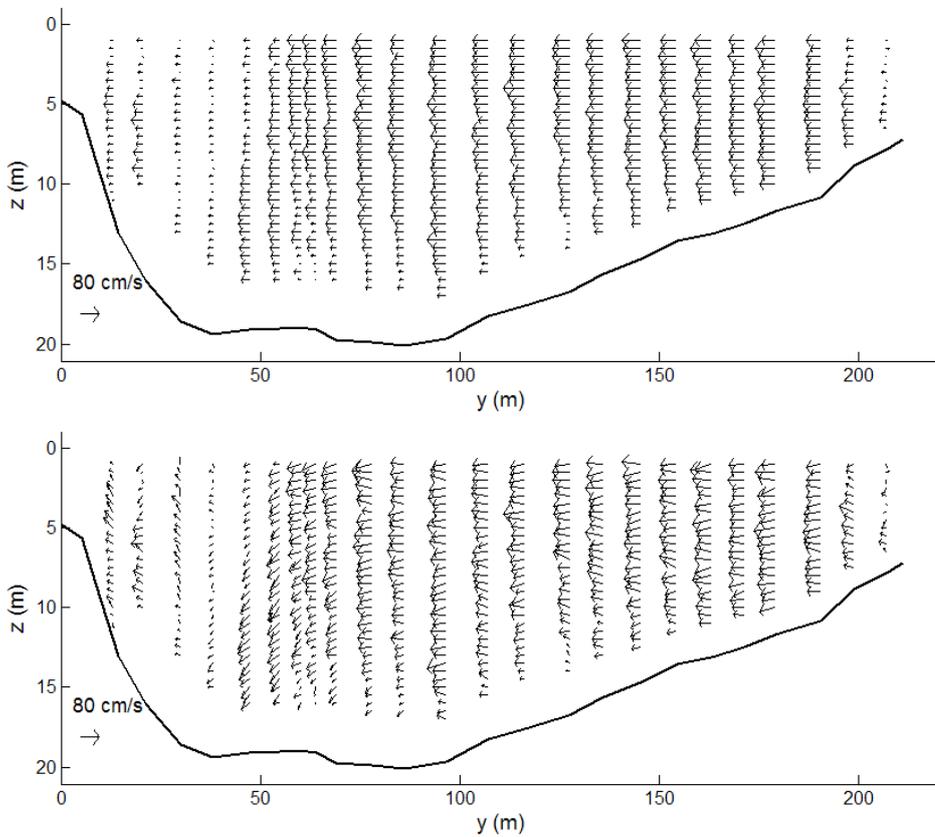


Figura 13.- Velocidad proyectada en la ST 1. Medición CO06-12 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

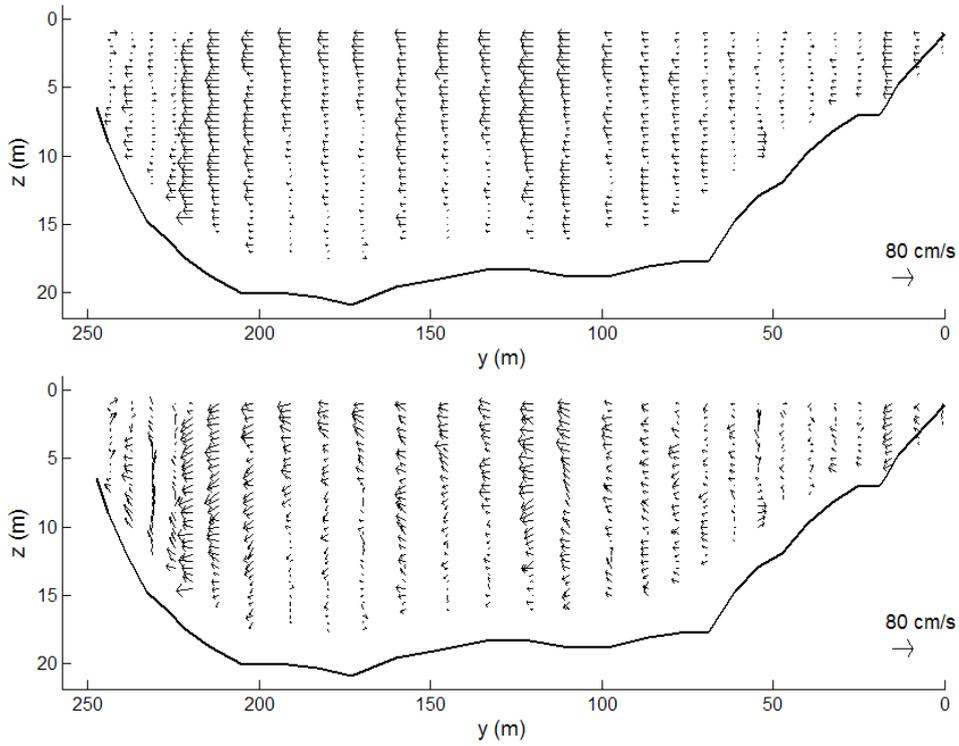


Figura 14.- Velocidad proyectada en la ST 2. Medición CO06-6 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

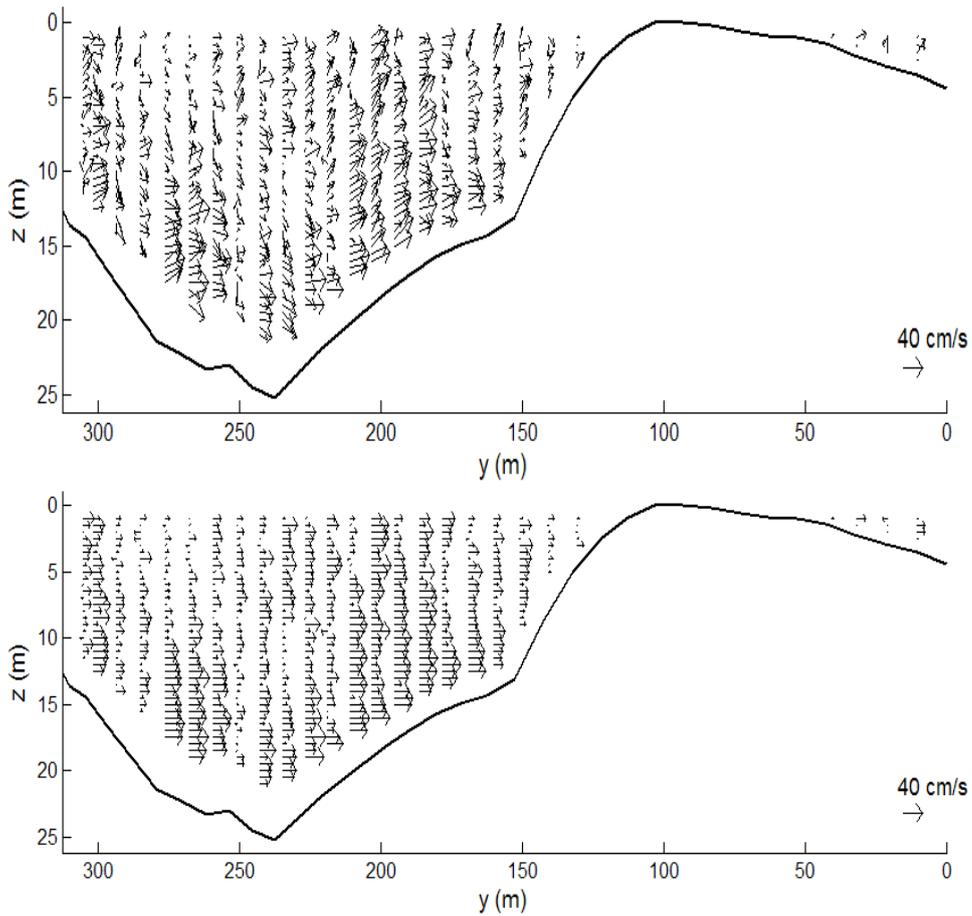


Figura 15.- Velocidad proyectada en la ST 3. Medición CO06-2 Arriba: componente horizontal, Abajo: campo 2D

CONCLUSIONES

En base a las mediciones realizadas en dos tramos curvos de diferente morfología del sistema aluvial del Río Paraná fue posible caracterizar los patrones de flujo secundario –o transversal– en cada una de las ST aforadas. En la curva con menor relación B/H se observó un flujo tipo α , mientras que en la curva con mayor relación B/H el flujo observado fue del tipo β , lo cual es coherente a lo propuesto por Yalin (1992), aunque con valores umbrales para cada caso diferentes a los citados en la literatura especializada.

En los últimos años se ha considerado al flujo helicoidal al único responsable del movimiento del filamento de velocidades máximas desde la margen interna (en la entrada de la curva) hacia la margen externa (en la salida de la curva) como así también de la modificación del perfil transversal del lecho en los ríos meandriiformes. Sin embargo, a pesar de que los patrones de velocidades transversales son diferentes en los dos casos analizados (en un caso se observan celdas de corrientes secundarias y en el otro caso un flujo unidireccional), ambos presentan un comportamiento similar en lo que respecta a la distribución de las velocidades longitudinales promediadas en la vertical. Por otra parte, las topografías de ambos tramos curvos presentan, a grandes rasgos, un carácter típico de una sección transversal en un meandro fluvial (erosión en la margen externa y barra de sedimentos en la margen interna). Con lo cual, la topografía de un canal curvo no sería atribuible principalmente a la existencia de las corrientes secundarias (Hooke, 1980). Es de esperar que en los tramos curvos de los ríos en donde no existen celdas de circulación secundaria (flujos tipo β), la forma de la sección transversal sea similar a aquellos en donde si se presentan celdas de corrientes secundarias o flujos tipo α .

El aumento de las velocidades en la margen externa y por lo tanto de la erosión en esa zona, como así como también la formación de la barra interna de sedimentos sería producto de una conjunción de efectos tales como: la separación del flujo, las corrientes transversales dirigidas hacia la zona de la margen externa, la aceleración y desaceleración local del flujo y la convergencia y divergencia del flujo.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Postgrado de la UNC (Secyt) el apoyo recibido para ejecutar parte de las actividades aquí descritas. El segundo y tercer autor hacen extensivo el reconocimiento al CONICET. Por último, los autores dedican un especial agradecimiento al Ing. José Huespe, de la UNL, por su desinteresada cooperación durante las actividades de campo.

LISTA DE SÍMBOLOS

- A: área de la sección transversal
- B: ancho del cauce
- H: profundidad hidráulica
- R: radio de curvatura del canal

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banerjee, D. (2000), "Initiation of Bed Deformation in Meandering Channels: a Theoretical and Numerical Study", *Master Thesis*, University of Windsor, Ontario, Canadá.

- Bathurst J. C., Thorne C. R., Hey R. D.** (1979). "Secondary Flow and Shear Stress at River Bends", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 105, No. 10, pp. 1277-1295.
- Dietrich, W.E., Whiting, P.J.** (1989). "Boundary Shear Stress and Sediment Transport in River Meanders of Sand and Gravel", in S. Ikeda and G. Parker (Eds.), *River Meandering*, AGU Water Res Monograph 12, pp. 1-50.
- Engelund, F.** (1974). "Flow and Bed Topography in Channel Bends", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol.100, pp. 1631-1648.
- Falcón, M.** (1984). "Secondary Flow in Curved Open Channels". *Annual Rev Fluid Mech*, Vol. 16, pp. 179-193.
- Ferguson, R.I., Parsons, D.R., Lane, S.N. Hardy, R.J.** (2003). "Flow in Meander Bends with Recirculation at the Inner Bank", *Water Resources Research*, 39, art. no.-1322.
- Francis, J. R. D.; Asfari, A. F.** (1970). "Visualization of Spiral Motion in Curved Open Channels of Large Width", *Nature*, 225(5234), pp. 725-728.
- Friedkin, J.F.** (1945). "A laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers", *US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi*.
- Hooke, R.L.** (1980). "Shear-stress Distribution in Stable Channel Bends. Discussion", *J. Hydr. Div.*, ASCE, Vol. 106, No. HY7, pp. 1271-72.
- Hooke, R.L.** (1975). "Distribution of Sediment Transport and Shear Stress in a Meander Bend", *J. Geology*, Vol.83, No. 5.
- Lane, S.N., Bradbrook, K. F., Richards, K. S., Biron, P. M., Roy, A.G.** (2000). "Secondary Circulation Cells in River Channel Confluences: Measurement Artefacts or Coherent Flow Structures?", *Hydrological Processes*, Vol. 14, pp. 2047-2071.
- Leeder, M.R., Bridger, P.H.** (1975). "Flow Separation in Meander Bends", *Nature*, 253, pp. 338-339.
- Markham A. J., Thorne, C. R.** (1992). "Geomorphology of Gravel Bed River Bends" in Billi, P., Hey, R. D., Thorne, C. R. & Tacconi, P. (Eds). *Dynamics of gravel-bed Rivers*, John Wiley & sons Ltd., Chichester, pp. 433-450.
- Matthes, G. H.** (1941). "Basic Aspects of Stream Meanders". *AGU*. Vol. 22, Part III, pp. 632-636.
- Rhoads, B.L., Kenworthy, S.T.** (1998). "Time-Averaged Flow structure in the Central Region of a Stream Confluence", *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 23., pp. 171-191.
- Rozovskii, I. L.** (1957). *Flow of Water in Bends of Open Channels*. Ac. Sc. Ukr. SSR, Isr. Progr. Sc. Transl., Jerusalem, 1961.

Vionnet, C. A. (2004). Procesamiento de la información generada por el ADCP Sontek River-Surveyor, *Inf. CENEHA 03-04*, FICH-UNL, Santa Fe.

Yalin, M.S., Ferreira Da Silva, A.M. (2001). *Fluvial Processes*. IAHR Monograph, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.

Yalin, M.S. (1992). *River Mechanics*. Pergamon Press.

Yen, B. C. (1972). "Spiral Motion of Developed Flow in Wide Curved Open Channels". In *Sedimentation*, ed. H. W. Shen, pp. 22. 1-22. 33. Fort Collins, Colo H. W. Shen. Various paging.