

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA SEDIMENTACION EN EL CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE CONCEPCION DEL URUGUAY

Julio Cardini (*), Alejandro Zabalett y Daniel Mársico

Grupo de Estudio del Río Uruguay

Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concepción del Uruguay

Ing. Pereyra 676 (3260) Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina

(*) Gerente Técnico Serman & Asociados S.A. - E-mail: cardinij@dd.com.ar - Internet: <http://www.serman.com.ar>

RESUMEN

Como resultado de los estudios encarados por el Grupo de Estudio del Río Uruguay en 3 años de trabajo se ha logrado alcanzar objetivos de interés práctico para el desarrollo de la navegación y el transporte de las mercaderías a través del Puerto de Concepción del Uruguay. Se encuentra operativo un modelo hidrodinámico de redes de canales para la predicción de niveles hidrométricos, con un adecuado margen de precisión tanto en aguas bajas (y especialmente en los niveles mínimos que afectan el calado navegable) como en aguas altas (incluyendo crecidas extraordinarias). Se ha investigado con gran detalle la evolución de la sedimentación en el Canal de Acceso al Puerto de Concepción del Uruguay, disponiéndose de un modelo sedimentológico unidimensional que puede predecir la magnitud de la misma ante la ocurrencia de crecidas. Se ha efectuado además una evaluación de las tasas de sedimentación probables en este Canal para el caso de una profundización la vía navegable, hasta un calado de 32 pies al cero local, compatible con las condiciones del Canal Martín García, salida natural de las embarcaciones en el Río de la Plata.

INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta un procedimiento de evaluación de la sedimentación en un canal de navegación, que aplica modelos matemáticos hidrodinámicos y sedimentológicos específicos. El proceso incluye la calibración de ambos modelos, en base a información de niveles y caudales así como a la evolución histórica de las cotas del lecho en el tramo a estudiar. Se discuten los límites de validez del tipo de modelo unidimensional aplicado, y se efectúan pronósticos de sedimentación ante diferentes cotas de dragado, para el caso particular del canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay.

MODELO MATEMÁTICO HIDRODINÁMICO

La modelación matemática hidrodinámica del Río Uruguay implementada es una herramienta que permite conocer los niveles y caudales de agua conducidos por el río en cualquier momento con un grado de precisión suficiente como para ser utilizada a los efectos de predecir el calado navegable de la vía fluvial o para encarar la realización de estudios de sedimentación.

El Río Uruguay se caracteriza por la variabilidad de sus niveles, que pueden cambiar varios decímetros por día (especialmente para aguas bajas), debido a la influencia del viento sobre su superficie, las mareas meteorológicas en el Río de la Plata y las fluctuaciones de la descarga de la Central Hidroeléctrica Salto Grande. Se implementó y calibró el modelo matemático hidrodinámico unidimensional MIKE-11 para el tramo del Río Uruguay entre Concordia y la Isla Martín García (en el Río de la Plata), considerando la influencia de los brazos del Río Paraná que aportan caudales laterales.

Se realiza una predicción de niveles en distintas escalas con unas 24 horas de anticipación, cuya precisión ha ido mejorando en el tiempo a medida que los operadores del modelo obtienen mayor experiencia en su aplicación. La precisión alcanzada actualmente en el pronóstico a 18 hs (desde las 18 de un día hasta las 12 del día siguiente) se puede apreciar en la Tabla 1, que es un Cuadro síntesis de las diferencias entre los niveles (pronosticados - medidos) máximos y mínimos para aguas bajas (valores en metros).

El alto desvío en Concordia se debe a la gran variabilidad horaria de la descarga de la Central en aguas bajas, mientras que el desvío en Martín García es causado por efectos meteorológicos en el Río de la Plata no previstos.

Tabla 1 - Diferencias entre medición y pronóstico

Tipo de Parámetro	Concordia		Concepción Uruguay		Gualeguaychú		Nueva Palmira		Martín García	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Promedio	0,34	-0,28	-0,03	-0,05	0,02	-0,05	0,04	-0,06	-0,18	-0,28
Desvío Standard	0,96	0,97	0,22	0,23	0,21	0,27	0,26	0,31	0,36	0,44

ESQUEMATIZACIÓN DEL MODELO MORFOLÓGICO DE REDES DEL RÍO URUGUAY

Para realizar el estudio del Canal de Acceso a Concepción del Uruguay se incorporó en el modelo matemático la rama del Riacho Itapé (donde se ubica el Puerto). El esquema de la zona cercana a Concepción del Uruguay se presenta en la Figura 1.

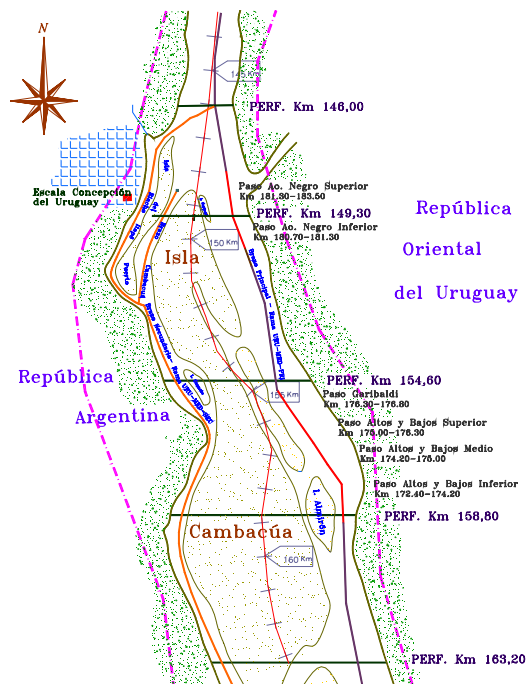


Figura 1 Esquemización del Area cercana a Concepción

Se ajustó el modelo hidrodinámico realizando corridas de flotadores en aguas medias y altas, de cuya calibración resultó la distribución de caudales que se presenta en las Figuras 2 y 3.

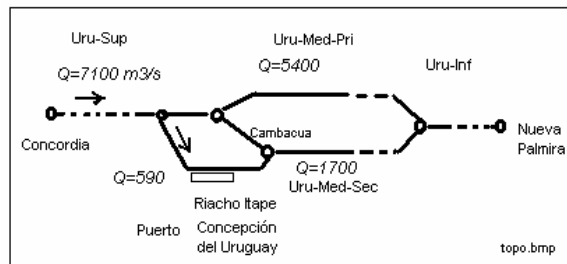


Figura 2 – Calibración en Aguas Medias

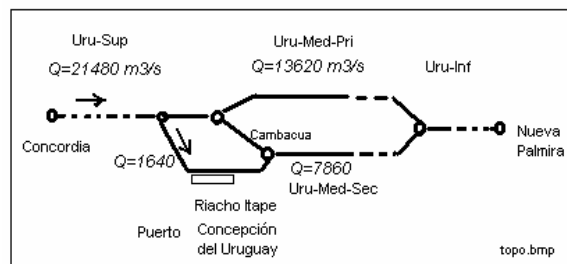


Figura 3 – Calibración en Aguas Altas

ANÁLISIS EVOLUTIVO DEL CANAL DE ACCESO Y DARSENA PORTUARIA MEDIANTE PROCESAMIENTO DE INFORMACION BATIMETRICA

Se han utilizado los planos de relevamientos batimétricos del canal exterior, canal interior y dársena interior, efectuados mensualmente por la administración del puerto, para efectuar un exhaustivo análisis de la evolución morfológica del sector durante el período de dos años que media entre el 31/7/96 y el 30/6/98.

En este período se han alternado condiciones de estiaje (marzo/abril 97), aguas medias y dos crecidas extraordinarias (octubre/noviembre 97 y enero/abril 98). Las tasas de sedimentación en condiciones de aguas medias/bajas no son muy importantes y pueden predecirse en forma aproximada para un período de tiempo más o menos prolongado.

La sedimentación se incrementa fuertemente en períodos de crecidas, los cuales son de gran interés para el análisis mediante el modelo matemático, a los efectos de tratar de predecir las tasas de sedimentación en distintas condiciones de nivel fluvial y de cota de fondo del canal.

Las Tablas 2 y 3 ilustran el comportamiento del canal y la dársena portuaria en condiciones de aguas altas.

Tabla 2 - Sedimentación neta acumulada en el canal y espesor medio equivalente del depósito

Período	Días	Sedimentación Volumen Neto (miles de m ³)	Espesor Medio Neto (m)
2-10-97 a 1-12-97	60	60	0,83
1-12-97 a 30-12-97	29	92	1,28
30-12-97 a 2-4-98	93	103	1,43
2-4-98 a 4-5-98	32	121	1,68
4-5-98 a 1-6-98	28	99	1,38

Tabla 3 - Sedimentación y Erosión en la dársena interior

Período	Días	Sediment Bruta (m ³)	Erosión (m ³)	Sediment Neta - Erosión
2-10-97 a 1-12-97	60	2068	-32510	-30442
1-12-97 a 30-12-97	29	50428	0	50428
30-12-97 a 2-4-98	93	0	-55585	-55585
2-4-98 a 4-5-98	32	7089	-15827	-8738
4-5-98 a 1-6-98	28	242	-26188	-25946
-	242	59827	-130109	-70282

En la Dársena ocurrió una erosión significativa, la cota media pasa inicialmente del valor -6,94 m a -7,23 m (casi 30 cm en promedio) y sigue profundizándose hasta alcanzar -7,57 m el 30/6/98.

SIMULACION DE LA EVOLUCION MORFOLOGICA MEDIANTE EL MODELO SEDIMENTOLÓGICO

La **Tabla 4** muestra la variación de la cota media del lecho medida y simulada por el modelo matemático.

Fecha	Nivel Medio mes previo (m)	Cota Media Lecho (m)	Variación Media Modelo (m)	Variación Media Medida (m)
1/10/1997	3,24	-7.64	-----	-----
1/11/1997	10,65	-7.29	0.35	Sin datos
1/12/1997	12,61	-6.87	0.77	0.83
1/1/1998	6,98	-6.81	0.83	1.28
1/2/1998	10,53	-6.57	1.07	Sin datos
1/3/1998	11,66	-6.34	1.30	Sin datos
1/4/1998	9,97	-6.21	1.44	1.43
1/5/1998	11,30	-5.97	1.67	1.68
31/5/1998	10,33	-5.83	1.81	1.38

La variación global resulta bien representada por el modelo matemático para los períodos 1/10-1/12/97 y 1/10/97-1/4/98. Ciertas variaciones parciales tienen un aparente desajuste que podría estar causado por un error en la reducción de un relevamiento intermedio.

ESTIMACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN DURANTE UNA CRECIDA EXTRAORDINARIA PARA DIFERENTES COTAS DE DRAGADO DEL LECHO

Para efectuar una estimación de la sedimentación que podría presentarse en el Canal Interior de Acceso al Río Uruguay, durante una crecida, se analizaron los registros de niveles de los años 1997 y 98, seleccionándose como una crecida extraordinaria típica de dos meses de duración, el intervalo de Octubre y Noviembre de 1997.

Se seleccionaron diferentes condiciones de dragado, en un ancho de 80 metros (incluyendo la revancha lateral habitual), correspondientes a distintas profundidades náuticas al cero local. Se consideró una revancha bajo quilla de 2 pies y una previsión para sedimentación futura de 2 pies, totalizando 1,2 m de sobredragado. El calado navegable, sería igual a la determinante si el nivel del río se ubicara en cercanías del cero. Para condiciones medias, puede disponerse con cierta seguridad de 2 o 3 pies extra, siempre que no sople viento del sector norte.

Calado Navegable Al cero local (pies)	Sediment Media 1 mes (m)	Sediment media 2 meses (m)	Aumento de Sedim. (%)	Volumen Sediment 2 meses (miles m ³)
Aprox. < 21	0,35	0,77	-	55,4
21' en 80 m	0,46	1,03	34	74,2
23' en 80 m	0,48	1,08	40	77,8
27' en 80 m	0,51	1,15	49	82,8
32' en 80 m	0,53	1,22	58	87,8

Bajar las cotas del lecho y uniformizar el ancho de solera para lograr 80 m a la cota de diseño de 21 pies, incrementaría la sedimentación en un 34% respecto de las condiciones reales previas. Alcanzar 32 pies en 80 m provocaría un incremento del orden del 20% respecto de la condición para 21 pies (de 1,03 a 1,22 m).

CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas de modelación matemática unidimensional es una herramienta válida para estudiar problemas de sedimentación localizados en canales estrechos, donde el flujo se encuentra alineado con el eje del canal, y pronosticar su evolución ante diferentes escenarios de condiciones hídricas y cotas de dragado. Este tipo de modelos permite además realizar pronósticos en tiempo real de los niveles de agua del río, por lo que en su conjunto pueden aportar una valiosa información para la operativa portuaria, en especial en sitios donde las condiciones hidrosedimentológicas son muy variables.