



# Libro de resúmenes extendidos del VI Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica

Editores: Alejandro Nardín, Alejandro Arcelus, Ricardo Szupiany,  
Francisco Pedocchi y Carlos Marcelo García

**V SIMPOSIO**  
Métodos Experimentales en Hidráulica

5, 6 y 7 de junio de 2019  
Paysandú - Uruguay



FICH UNL











LIBRO DE RESÚMENES EXTENDIDOS DEL VI SIMPOSIO SOBRE  
MÉTODOS EXPERIMENTALES EN HIDRÁULICA, PAYSANDÚ,  
URUGUAY, 5-7 DE JUNIO DE 2019

*Editores*

Alejandro Nardin  
Alejandro Arcelus

*Departamento de Hidrología, Comisión Administradora del Río Uruguay, Paysandú, Uruguay*

Ricardo Szupiany

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina*

Francisco Pedocchi

*Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay*

Carlos Marcelo García

*Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*

## Secretaría Permanente

Carlos M. García  
Marcelo H. García  
Raúl A. Lopardo  
Ricardo Szupiany

## Comisión Administradora del Río Uruguay

### *Delegación Uruguaya*

Capitán de Navío (R) Gastón Sibermann  
*Presidente*  
Arq, Rogelio Texeira  
*Vicepresidente*  
Capitán de Navío (CG) Germán Martella  
*Delegado*  
Ing. Quím. Silvia Aguinaga  
*Delegado*  
Ing. Agrim. Roberto Pérez Rodino  
*Delegado*

### *Delegación Argentina*

Dr. Héctor Mauro Vazón  
*Presidente*  
Emb. Eduardo Andrés Villalba  
*Vicepresidente*  
Juan Enrique Ruiz Orrico  
*Delegado*  
Dr. Jorge Diego Satto  
*Delegado*  
Arq. Eduardo Caminal  
*Delegado*

## Comité Organizador

Alejandro Nardin  
*Coordinador*  
Alejandro Arcelus  
*Co-Coordinador*  
Eduardo Caminal  
Germán Martella  
Marco García  
Marcos Di Giuseppe  
Mariel Bazzalo  
Fernando Rodriguez  
Natalia Rougier  
Jorge Blasig  
Marcos Pittau  
Luz Oradini  
Walter Barrios  
Nestor Vanzini  
Tatiana Arigón  
Ramiro Roda  
Cristina Ruiz Díaz  
Lucas Domínguez Ruben  
Cecilia López Weibel  
Pilar Ojeda

## Comité Científico

Ricardo Szupiany  
Francisco Pedocchi

ISBN: 978-9974-94-430-5

## Índice

Prólogo	ix
<i>Sesiones orales</i>	
Monitoreo autónomo de alta frecuencia de variables oceanográficas en la playa de Pehuén Co, Buenos Aires, Argentina <i>G. M. Mavo Manstretta, A. J. Vitale, G. M. E. Perillo y M. C. Piccolo</i>	3
Monitoreo de las condiciones hidro-meteorológicas en la cuenca del río Sagavanirktok, Alaska, USA <i>H. Toniolo, J. Bailey, J. Keech y D. Vas</i>	5
Mediciones de la demanda de aire de flujos erogados por el descargador de fondo de la presa Tambolar <i>J. A. Orellano, C. Vega Pedrozo, y Z. E. Menna</i>	7
Comparación de técnicas para la cuantificación del transporte de sedimento en suspensión en el Río Uruguay <i>C. López Weibel, R. Szupiany, A. Nardin, A. Arcelus, F. Latosinski y M. Amsler</i>	9
Red de boyas de bajo costo para el monitoreo mar-atmósfera <i>A. J. Vitale, G. M. E. Perillo, M. C. Piccolo y S. A. Genchi</i>	11
Avaliação e expressão da incerteza de medições meteo-oceanográficas <i>I. Fragoso, Í. Lopes, F. Nascimento y H. Pereira</i>	13
Efeito de escala na determinação da velocidade de queda de sedimentos granulares <i>C. Castro, C. C. de Christo Morais, E. Puhl e A. L. de Oliveira Borges</i>	15
Dinámica del frente salino y del área de máxima turbidez en el estuario del río Quequén Grande <i>B. M. Marino y L. P. Thomas</i>	17
Dinámica de la sedimentación en Puerto Quequén <i>L. P. Thomas y B. M. Marino</i>	19
Determinación de condiciones de floculación en presencia de trazador fluorescente en un reactor <i>E. Stürtz, A. Wolfenson, L. Palman, M. Imhoff, G. Buraschi y A. Trento</i>	21
Mapping of vertical stratifications in turbidity currents through medical ultrasound images <i>C. Boffo, L. Pereira, D. Bayer da Silva, A. L. Borges, R. Manica, B. Von Ahn, R. Schwambach, T. Oliveira, P. Paraizo y M. Moraes</i>	23
Cuantificación del volumen sumergido de vegetación acuática arraigada en el sistema fluvial del Río Paraná <i>F. Nardi, Z. Y. Marchetti, A. Carrasco-Millán, R. Alberdi, E. Veizaga y F. Brumnich</i>	25
Estudio del diseño de obras de protección costera flotantes, para la localidad de Miramar (Mar Chiquita, Córdoba) <i>M. E. Pacher, P. Gyssels, S. Grande y A. Rodríguez</i>	27
Dispositivos de atenuación temprana en los proceso de transformación lluvia-caudal en el territorio de área metropolitana de Buenos Aires <i>T. Lasanta, R. Perahia, L. Arbore y P. Taroni</i>	29
Metodologia para Análise da Eficiência de um Gerador de Ondas do tipo Cunha em Canal De Laboratório <i>I. Ribeiro, V. C. S. Gonçalves, D. M. Machado y A. P. Gomes</i>	31
Análise experimental do processo de scour em dutos submarinos sob a ação de ondas <i>M. A. Alves, W. T. Pinto y D. M. Machado</i>	33
Monitoramento Sedimentológico da Ante-praia do Balneário Cassino, Rio Grande-RS <i>M. V. C. de Mesquita, D. M. Machado y J. A. S. Fontoura</i>	35

Estudio experimental da resposta dinâmica de uma viga-coluna suporte de um reservatório excitada por movimentos de base <i>G. L. de Melo y W. T. Pinto</i>	37
Investigação experimental sobre a influência de ondas de gravidade incidindo em estruturas verticais <i>A. Basso, I. Ribeiro, L. Marchetotti, D. Machado y W. Pinto</i>	39
Análise de dados obtidos com medidor de densidade in situ (Rheotune) <i>L. Fiorini, L. Pool, D. M. Machado y J. A. S. Fontoura</i>	41
Mediciones de concentración con sondas de turbiedad (obs) en la presencia de mezclas de sedimentos <i>Y. W. Goes, G. V. Buraschi, L. C. Freire, B. C. Xavier, A. M. T. Alvarez, M. N. Gallo y L. Gallisa</i>	43
Análise experimental da resistência ao avanço de um modelo de embarcação <i>H. C. R. Moreira y W. T. Pinto</i>	45
Utilização de cilindros flexíveis para proteção costeira <i>L. F. Marchetotti, A. H. Basso, D. M. Machado y W. T. Pinto</i>	47
Cuantificación y evaluación de métodos y equipos de aforo para optimización de recursos aplicados en campañas hidrométricas en la Provincia de Santa Fe <i>S. Serra, M. P. Gagliardi, G. Ferreira, A. Robul, F. Eletti y M. Pérez</i>	49
Quantificação das vazões na região interna da Baía de Guanabara (RJ/Brasil) – influência da maré <i>G. Buraschi, L. S. Cairo, E. Fernandes, L. Pessoa, C. Echeverría, M. N. Gallo, M. A. Freitas</i>	51
Modelo físico sobre dragados a pie de muelles utilizando chorros de inyección de agua <i>S. Mangini, H. H. Prendes, J. Huespe y P. Esquivel Yasser</i>	53
Vulnerabilidad de la población expuesta a inundaciones urbanas en Tucumán mediante velocimetría por imágenes a gran escala (LSPIV) <i>F. Bazzano, H. Espinosa Rojas, F. Nanni, D. Aguirre, P. Almaraz, B. Alba Fernández, B. López Kuchudis, E. Ruiz Nofal, H. Barber, F. Serrano y L. Chaile</i>	55
Obtención de curva H-Q mediante aplicación de LSPIV sobre el río Los Sosa en el departamento de Monteros – Tucumán <i>H. D. Aguirre, M. F. Nanni, F. M. Bazzano, H. Espinosa Rojas, E. Ruiz Nofal, B. López Kuchudis, F. Serrano, P. Almaraz, B. Alba Fernández, L. Chaile y H. Barber</i>	57
Programa para la estimación de la concentración de flóculos suspendidos en flujos no estacionarios <i>M. Ragessi, L. P. Thomas, R. N. Szupiany y B. M. Marino</i>	59
Estimación de la salinidad mediante la utilización de un ADV <i>R. Mosquera y F. Pedocchi</i>	61
Mediciones de oleaje con boya-GPS en las proximidades de Colonia <i>R. Alonso y M. Teixeira</i>	63
Measuring orbital velocities of bichromatic-bidirectional waves <i>M. G. de Souza e Silva, N. B. Kerpen y C. F. Neves</i>	65
Estudio de la hidrodinámica en zona de rompiente de playas aplicando técnicas de imágenes <i>G. Echavarría, R. Mosquera y F. Pedocchi</i>	67
Estudio experimental de la calidad de medición en pluviómetros de alta frecuencia <i>J. F. Weber, G. Bogino Castillo, A. Padrón Gentile y E. Díaz</i>	69
Diseño de una propuesta didáctica para la enseñanza de balances macroscópicos de materia <i>N. Alasino, E. E. Reyna and N. Gañán</i>	71
Caracterización experimental del efecto que tiene sobre la estructura del flujo la presencia de hidrófitas. <i>G. Scacchi, A. Radesca, M. Reynares, M. V. Ríos y Z. Marchetti</i>	73
Análisis de presiones en el cauce de restitución en el modelo físico del dique Los Alazanes - provincia de Córdoba, Argentina-	75



<i>J. Muchiut, L. Tarrab, M. Eder, M. Ragessi, A. Patalano, m. García y A. Rodríguez</i>	
Análisis experimental de procesos hidrodinámicos en una curva abrupta del Río Salado, Santiago del Estero. <i>L. A. Olmos, L. Tarrab, C. M. García y J. M. Díaz Lozada</i>	77
Caracterización de tensiones efectivas en flujos turbulentos mediante seguimiento de partículas, en modelos físicos a fondo móvil <i>M. Eder, J. Muchiut, L. Tarrab, I. M. Ragessi, R. Martino, G. Hillman y A. Rodriguez</i>	79
Desarrollo de una Red de Monitoreo Hidrometeorológico <i>F. I. Garat, G. Fernandez, A. G. García, F. Espil Nosa y G. Bianchi</i>	81
Influencia de fluctuaciones periódicas de baja frecuencia del flujo en mediciones mediante perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP) <i>L. Tarrab, I. M. Ragessi, C. M. García y A. Rodriguez</i>	83
Descripción del movimiento de los sedimentos como procesos aleatorios <i>G. Wilson Junior y C. S. Garcia Monteiro</i>	85
Mediciones y relevamientos para la mejora de modelos numéricos y generación de vinculación territorial <i>M. Re, M. Sabarots Gerbec y P. E. García</i>	87
Capacidad de transporte de sedimentos en el canal de navegación del río Uruguay a partir de datos de campo y modelación hidrodinámica <i>A. R. S. Nardin, R. Junes, R. N. Szupiany y C. A. Arcelus</i>	89
Aplicación de un algoritmo computacional para la determinación automática de dimensiones características de formas de fondo en el río Uruguay. <i>A. R. S. Nardin, R. N. Szupiany y C. A. Arcelus</i>	91
Enfoque experimental sobre eyecciones de flujo en el lecho en la resuspensión de sedimentos cohesivos con diferentes densidades en lechos de gravas <i>N. Bustamante y Y. Niño</i>	93
Modelación física Tridimensional del efecto de un nuevo puente en la hidrodinámica de un tramo del Río Suquía (provincia de Córdoba) <i>M. Pagot, M. Eder, L. Tarrab, R. Martino, A. Rodriguez, G. Hillman, H. Muratore, A. Patalano, L. Masso y M. Ragessi</i>	95
Acoustic Sediment Estimation Toolbox (ASET): un software para calibrar y estimar el transporte de sedimento en suspensión con ADCP <i>L. Dominguez Ruben, R. Szupiany, F. Latosinski, C. Lopez Weibel, M. Wood y J. Boldt</i>	97
Estudio de la socavación aguas abajo de cubetas deflectoras con un láser scanner 3D <i>M. J. Espinoza Ayala, J. A. González Verdugo y B. Gutiérrez Torres</i>	99
Medición de flujo secundario en canales curvos <i>H. J. Gómez-Zambrano</i>	101
Medición del transporte de sedimentos en el Río Santa Cruz en el marco de los aprovechamientos hidroeléctricos Cóndor Cliff y La Barrancosa <i>R. Szupiany, M. Garcia, G. Hillman, A. Heredia, C. López Weibel, L. Dominguez, J. M. Díaz Lozada, D. Ferreira, S. Lopez, F. Yoya, M. Gallego y J. Huespe</i>	103
Evaluación en campo de métodos y técnicas experimentales: regata de medición de caudal con técnicas hidroacústicas <i>C. M. Garcia, K. Oberg, R. Szupiany, J. M. Díaz Lozada, A. I. Heredia Ligorria, A. Patalano, N. Guillén y L. Masso</i>	105
Trabajos de campos realizados en el marco del proyecto Relámpago para cuantificar los escurrimientos durante crecidas repentinas <i>C. M. Garcia, F. Dominguez, J. M. Díaz Lozada, J. Alvarez, A. Patalano, C. G. Catalini, S. Pal, C. Bieri, S. López, L. Masso, D. Ferreira, L. Bollatti, N. Guillén, A. I. Heredia Ligorria, H. S. Herrero y E. Castelló</i>	107
Desarrollo de técnicas para cuantificar transporte de sedimentos con ADCP en ríos de la provincia de Córdoba <i>A. I. Heredia Ligorria, C. M. Garcia, J. M. Díaz Lozada y R. Szupiany</i>	109

Determinación experimental del coeficiente de rugosidad de Nikuradse (KS) para un cauce fluvial <i>J. M. Díaz Lozada, F. Pedocchi, C. M. Garcia y A. I. Heredia Ligorria</i>	111
Cuantificación experimental de los recursos hídricos superficiales en cuencas estratégicas de la provincia de Córdoba <i>E. Díaz, H. Herrero, T. Vaschalde, D. Romero Arijón, G. Carnicelli, I. M. Ragessi, C. M. Garcia, A. Patalano, J. P. Brarda y E. Castelló</i>	113
Relevamientos topo-batimétrico de pequeños embalses de la provincia de Córdoba <i>H. Herrero, T. Vaschalde, D. Romero Arijón, G. Carnicelli, E. Díaz, L. Bianchi, J. P. Brarda y E. Castelló</i>	115
Instrumentación del Sistema Hidrológico de la Cuenca del Arroyo San Antonio - Acuífero Salto-Arapey <i>G. Sapriza, J. Ramos, P. Gamazo, E. M. Alvareda Migliaro, N. Blanco, V. Erasun, A. Saracho, R. Banega and M. Gaye</i>	117
Respuesta en frecuencia de la separación de capa límite en el piso de resaltos sumergidos <i>R. A. Lopardo y M. C. Lopardo</i>	119
Comportamiento de residuos marinos en ambientes costeros abrigados <i>G. V. Buraschi, F. F. Criado-Sudau, F. Achete y M. N. Gallo</i>	121
Cazadores de crecidas: avances de un proyecto de ciencia ciudadana <i>A. Patalano, C. M. Garcia, L. Masso, L. F. Masso</i>	123
 <i>Sesiones de posters</i>	
Desarrollo de equipo autónomo de adquisición, procesamiento y transmisión de imágenes de playa <i>G. M. Mavo Manstretta, G. Van Waarde, L. Nuciari, A. J. Vitale, G. M. E. Perillo y M. C. Piccolo</i>	127
Estimación de velocidades de sedimentación de sólidos en suspensión y su variación con la salinidad <i>L. A. Ponce de León, F. Maciel, P. Santoro y F. Pedocchi</i>	129
Enseñanza de microturbinas hidráulicas. Turbinas Turgo, Pelton y Axial. Desafíos y adaptaciones <i>T. Reyna, M. Lábaque y B. Irazusta</i>	131
Estudio del comportamiento hidrodinámico de un prototipo de boya, en modelo hidráulico <i>S. Schmidt, J. Huespe y H. Prendes</i>	133
Teledetección de sólidos suspendidos y clorofila-a en aguas costeras turbias: avances para una estimación confiable <i>F. Maciel, L. Ponce de León y F. Pedocchi</i>	135
Hydrodynamic investigation to identify an optimal configuration of cylindrical porous structures applied to shellfish culture subject to transverse flow <i>V. Nardin, L. M. L. Valentim, J. A. M. Alvarenga, B. G. Kubelka, W. Casas, W. T. Pinto</i>	137
Aplicación de diferentes técnicas de medición para la cuantificación de variables hidro-sedimentológicas en un sistema deltaico del río Paraná. <i>M. Y. Ru, L. Dominguez Ruben, R. Szupiany, F. Latosinski y M. H. Garcia</i>	139
Desarrollo de la línea base geomorfológica de los ríos de la Cuenca Amazonia-Río Huallaga <i>F. Latosinski, L. Guerrero, L. Dominguez, H. Valverde, M. Meléndez, Y. Estrada, J. Abad y R. Szupiany</i>	141
Desarrollo de instrumental para monitoreo de calidad e hidrodinámica caso Embalse San Roque, Córdoba <i>A. Rodriguez, F. Prystupczuk, S. Rodriguez Gonzalez, M. I. Rodriguez, J. Muchiut, M. Capone, G. Ponce, M. Ruiz, F. Nazzi y M. Corral</i>	143
Recomendaciones para medir caudales con ADCP en tributarios de la cuenca del Río Carcarañá <i>J. M. Díaz Lozada, C. M. Garcia, H. Herrero, F. Flores Nieto y A. Heredia Ligorria</i>	145

Evaluación experimental de la influencia de las condiciones de borde laterales sobre la evolución del flujo turbulento alrededor de una pila. <i>L. Massó, A. Patalano, C. Pozzi Piacenza, C. M. Garcia, R. Fernandez, M. H. Garcia, I. M. Ragessi y S. Marquez Damian</i>	147
Uso de técnicas modernas de medición en hidráulica para manejo de embalses <i>N. F. Guillén, C. M. Garcia, H. Herrero, E. Castelló y F. Lopez</i>	149
Avances en la determinación de las curvas altura de superficie libre- caudal líquido escurrido en los Ríos La Leona y Santa Cruz, provincia de Santa Cruz, Argentina <i>A. Heredia, C. M. Garcia, R. Szupiany, J. M. Díaz Lozada, G. Hillman, L. Dominguez, D. F. Ferreira y S. López</i>	151
Optimización del relevamiento de la topometría en sitios favoritos del Proyecto Cazadores de Crecidas <i>L. Bolatti, A. Patalano, L. Bosch y C. M. Garcia</i>	153
Colaboración abierta distribuida (crowdsourcing) para optimizar la disponibilidad de información hidro-meteorológica <i>J. Alvarez, F. Barbero, M. Baraquet, J. M. Diaz Lozada y C. M. Garcia</i>	155





## Prólogo

La Comisión Administradora del Río Uruguay fue creada en el año 1973 por los Estados de Argentina y Uruguay, con el objeto de dictar normas y coordinar la realización de estudios e investigaciones de carácter científico, referidas al levantamiento integral del río, la seguridad de la navegación y uso del canal principal, conservación y preservación de recursos vivos, y prevención la contaminación.

En este marco, en el año 2017 la Comisión consideró propicio proponerse como organizador y sede de la sexta edición del Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. Su rol como organismo gubernamental binacional permite continuar con el legado del Instituto Nacional del Agua (RA), que organizara la quinta edición del Simposio en 2017, favoreciendo la interacción del sector gubernamental, con el académico, e incipientemente con el comercial. Asimismo, el rol binacional de CARU, y el enclave físico de la sede de esta sexta edición, generan las condiciones sin precedentes para fomentar el intercambio entre Argentina, Uruguay y Brasil.

Los Simposios sobre Métodos Experimentales en Hidráulica son reuniones científico/técnicas cuyo espíritu es proporcionar un ámbito de discusión y análisis en el campo de los métodos experimentales implementados en la hidráulica, abarcando desde estudios y relevamientos de campo hasta investigaciones y mediciones desarrolladas en laboratorio. El objetivo de estas reuniones es no sólo difundir y discutir nuevas técnicas de medición, sino también presentar sus aplicaciones y validaciones, focalizando también en la creación de procesos y tecnologías, y la solución a problemas prácticos surgidos de la investigación experimental, o la aplicación técnicas, equipamientos o procesos innovadores.

Esta sexta edición del simposio, en clara coincidencia con las anteriores, tiene como motor principal afianzar la integración entre los diferentes grupos de investigación vinculados a la hidráulica experimental. El contexto de esta edición pretende ser propicio para fomentar el intercambio de información y experiencia, formar recursos humanos y promover la creación de nuevos grupos de investigación interdisciplinarios y multinacionales, para la ejecución de diferentes proyectos que contemplen la movilidad de especialistas y becarios. Considerando la importante participación de grupos de investigación de Argentina, Uruguay, Brasil, Chile, México y Estados Unidos, están dadas todas las condiciones para la consecución de este fin.

El evento es organizado por la Comisión Administradora del Río Uruguay en conjunto con el Centro de Estudios y Tecnología del Agua, la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería - Universidad de la República - Uruguay y el Ven Te Chow Hydrosystems Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign.

A estas instituciones, y a todos los involucrados en la organización, elevo mi sincero agradecimiento, así como también a cada uno de los participantes que ha dedicado su tiempo en generar contenido original, y ha elegido este evento para compartirlo con sus colegas profesionales.

Alejandro Nardin  
*Coordinador del  
Comité Organizador*



*Sesiones orales*





## MONITOREO AUTÓNOMO DE ALTA FRECUENCIA DE VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA PLAYA DE PEHUÉN CO, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Gian M. Mavo Manstretta<sup>1</sup>, Alejandro J. Vitale<sup>1,2</sup>, Gerardo M. E. Perillo<sup>1,3</sup> y M. Cintia Piccolo<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET-UNS), Bahía Blanca, Argentina.

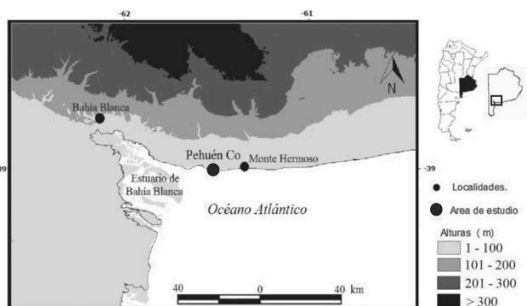
<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>4</sup>Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.  
mavo@iado-conicet.gob.ar, avitale@criba.edu.ar, gmeperillo@criba.edu.ar, ofpiccol@criba.edu.ar

### Introducción

La localidad balnearia de Pehuén Co se encuentra ubicada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), y su costa está caracterizada por pendientes bajas y arenosas, con una extensión de playa que promedia los 150 m (Perillo et al., 2011). A 2 km hacia el este del centro urbano se encuentra la Reserva Geológica, Paleontológica y Arqueológica Provincial Pehuén Co-Monte Hermoso (38°41'48''S, 62°17'46''O) y en ella fue instalada una Estación de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC, <http://emac.iado-conicet.gob.ar/>) construida y desarrollada en el Instituto Argentino de Oceanografía con el objetivo de registrar datos oceanográficos y meteorológicos de forma autónoma. Esta estación es la primera de este tipo que se instala en la República Argentina y, de acuerdo a los antecedentes evaluados, de Latinoamérica.



### Materiales y métodos

La estación consta de un conjunto de sensores desplegados a lo largo de una sección transversal de la playa de 200 m de longitud (Figura 2), que abarca desde la zona subaérea en la playa distal hasta la línea de bajamar en sicigia (Bustos et al., 2013). Permite medir de forma continua la temperatura de agua, temperatura de sedimento y temperatura de aire en función de la posición del sensor y la exposición de la playa en ese instante, también a partir de un sensor de presión ubicado en el extremo del tendido se registra el

nivel de agua, altura y período de olas. La EMAC registra datos cada 10 minutos y los transmite por Internet (GPRS) a un servidor central cada 30 minutos. La estación posee un adquisidor central alimentado por energía solar y conforma un sistema modular de bajo costo cuya característica distintiva es la flexibilidad por parte del usuario para la configuración del monitoreo.

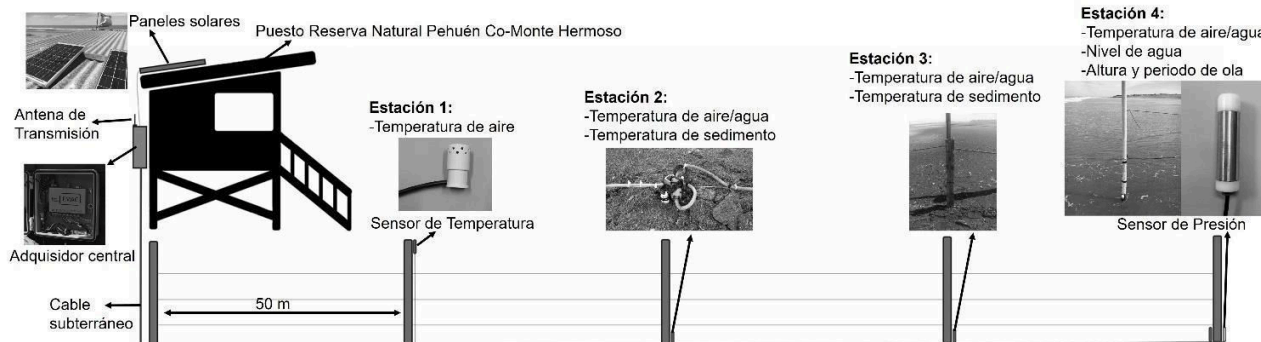
### Evaluación de resultados

Para la evaluación de los resultados se expone el caso del registro de las variables oceanográficas en períodos previos, durante, y posterior a eventos de tormenta que afectaron al área de estudio. Se tomaron 4 eventos de tormentas ocurridos durante 2017.

En el Evento 1, ocurrido del 19 al 22 de mayo, se incrementó el nivel de agua a una altura de 2,4 m (Figura 3A), y fueron las características de las olas las que tuvieron mayor modificación, incrementando la altura hasta 1,72 veces su valor luego del paso del evento (Figura 4A). Este aumento de altura estuvo acompañado con el registro de períodos de ola máximos cercanos a los 10 s (Figura 5A).

En el evento 2, ocurrido los 4 días siguientes al 8 de junio, se registró un aumento del nivel de agua con respecto a las pleamares cercanas al evento meteorológico, con alturas que tuvieron un máximo durante la pleamar de 2,63 m (Figura 3B). Se presentaron dos episodios de aumento en la altura de olas, que estuvieron separados entre sí 72 h, los valores máximos alcanzaron los 0,6 m (Figura 4B). Sin embargo, las olas mantuvieron períodos relativamente cortos, sin superar los 6 s (Figura 5B).

Para el evento 3, ocurrido los días 18, 19 y 20 de junio, se produce una sobre elevación en el nivel de agua y aumento en la altura de olas, lo que se traduce en el apilamiento de masas de agua en las áreas cercanas a la línea de costa y la consiguiente modificación de las condiciones dinámicas. El nivel de agua para la posición del sensor alcanzó los 3,44 m de altura (Figura 3C), superando ampliamente los valores registrados durante los períodos de calma. La altura de las olas también sufrió modificaciones hasta alcanzar valores máximos de 1 m (Figura 4C), con períodos que registraron valores máximos de 7 s (Figura 5C).



El evento 4, ocurrido los días 16 y 17 de julio, se sumó al momento de 3 pleamares consecutivas, lo que ocasionó una sobreelevación del nivel de agua (Figura 3D), registrando una altura mayor a los 4 m, esta combinación generó que las olas alcancen las zonas más altas de la playa, y una modificación en las porciones hidrodinámicas, produciéndose un avance hacia la playa de la zona de deslizamiento. Las alturas de olas registraron máximos de 1,06 m (Figura 4D), representando un incremento de más de 4 veces la altura de olas en condiciones climáticas de calma para el área de estudio y los periodos de las olas oscilaron entre los 4,5 y 7 s (Figura 5D).

### Aplicaciones

Los datos obtenidos por esta EMAC están siendo utilizados para trabajos multidisciplinarios tales como el estudio de los cambios geomorfológicos de la playa en función de los parámetros oceanográficos, afectación a las comunidades biológicas debido a condiciones ambientales (Mavo et al., 2018) y la determinación de las dimensiones y efectos de eventos de tormenta esporádicos (Mavo et al., 2017), causantes principales del intenso proceso erosivo que afecta a la localidad.

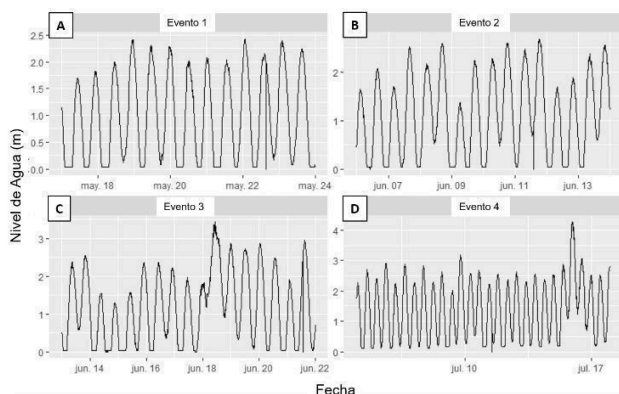


Figura 3. Nivel de agua para los eventos de tormenta: A) Evento 1. B) Evento 2. C) Evento 3. D) Evento 4

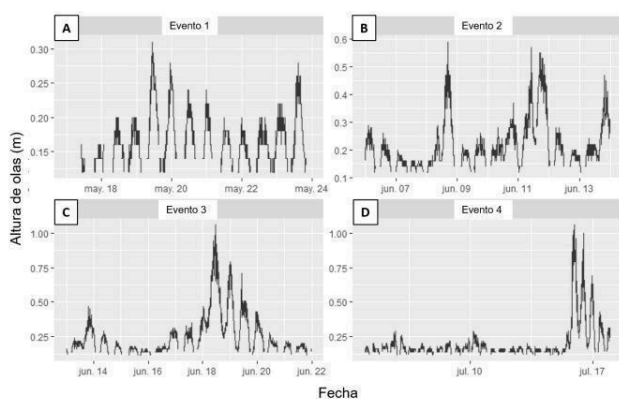


Figura 4. Altura de olas para los eventos de tormenta: A) Evento 1. B) Evento 2. C) Evento 3. D) Evento 4

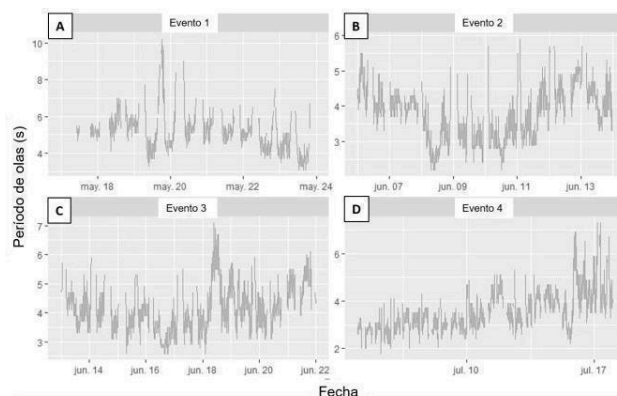


Figura 5. Período de olas para los eventos de tormenta: A) Evento 1. B) Evento 2. C) Evento 3. D) Evento 4

### Conclusiones

Una de las principales limitantes que tienen los estudios que se llevan a cabo en playas es la complejidad para la adquisición *in situ* de las variables oceanográficas, esto debido al ambiente altamente dinámico y energético que se genera en las zonas de rompiente y de lavado, lo que dificulta la instalación, operación, mantenimiento y descarga de los datos. Por esta razón, poder contar con un equipo de medición en alta frecuencia y con transmisión remota en vivo de los datos registrados, representa una herramienta de gran utilidad al momento de hacer las determinaciones ambientales del área de estudio, además de proporcionar información en tiempo real que puede ser utilizada por los componentes sociales que realizan distintos tipos de actividades en la playa.

### Referencias bibliográficas

- Bustos, M. L., Huamantinc Cisneros, M. A., Perillo, G. M. E. y Piccolo, M. C. (2013). "Métodos sencillos para la medición de perfiles de playa y observaciones costeras". 1ª ed. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 55p.
- Perillo, G. M. E., Perillo, M. M., Piccolo, M. C., Revollo G. N., Revollo, N. V. y Alberdi, E. D. (2011). "A preliminary analysis of flat-gravel transport over a sandy beach, Pehuén Co, Argentina". *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 18 (2), 105-120.
- Mavo Manstretta, G. M., Baleani, C. A., Menéndez, M. C., Vitale, A. J., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2018). "Monitoreo autónomo de variables ambientales durante una tormenta en Pehuén Co: consecuencias en el zooplancton". *X Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar*. Libro de resúmenes. Buenos Aires, Argentina.
- Mavo Manstretta, G. M., Bustos, M. L., Perillo, G. M. E. y Piccolo, M. C. (2017). "Impacto de la sudestada del 15 y 16 de julio de 2017 sobre la costa de Pehuén Co". *Segundas Jornadas Bonaerenses sobre Conservación de Ambientes y Patrimonio Costero*. Libro de Resúmenes. Villa Gesell, Argentina.

## MONITOREO DE LAS CONDICIONES HIDRO-METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAGAVANIRKTOK, ALASKA, USA.

Horacio Toniolo<sup>1</sup>, Joel Bailey<sup>2</sup>, John Keech<sup>3</sup> y Dragos Vas<sup>4</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Alaska Fairbanks, Departamento de Ingeniería Civil <sup>(2,3,4)</sup> Centro de Investigaciones en Recursos Hídricos

PO Box: 755900, Fairbanks, AK, USA. Teléfono: +1 (907) - 474 - 7977

E-mail: [hatoniolo@alaska.edu](mailto:hatoniolo@alaska.edu)

### Introducción

Un grupo de investigación de la Universidad de Fairbanks, Alaska, USA ha estado realizando estudios hidro-sedimentológicos a lo largo de un tramo del río Sagavanirktok, localizado al norte del círculo polar Ártico, desde el deshielo del 2015. Una red de monitoreo de las condiciones hidro-meteorológicas fue desarrollada e instalada en las orillas del río, como así también en la cuenca de aporte (Figura 1).

instalados en las estaciones. Aunque los paneles solares no recargan las baterías durante los meses de invierno (debido a la falta de luz solar), la frecuencia de la toma de datos no se altera dado que el número de baterías instaladas en cada estación permite el funcionamiento continuo de los sensores.

Todas las estaciones cuentan con cámaras que reportan las condiciones de visibilidad (que son fundamentales para los pilotos de los helicópteros volando en esa área). Para evitar el daño del equipamiento, por parte de los osos que frecuentan (o visitan) las estaciones, las mismas se encuentran cercadas con cables electrificados.

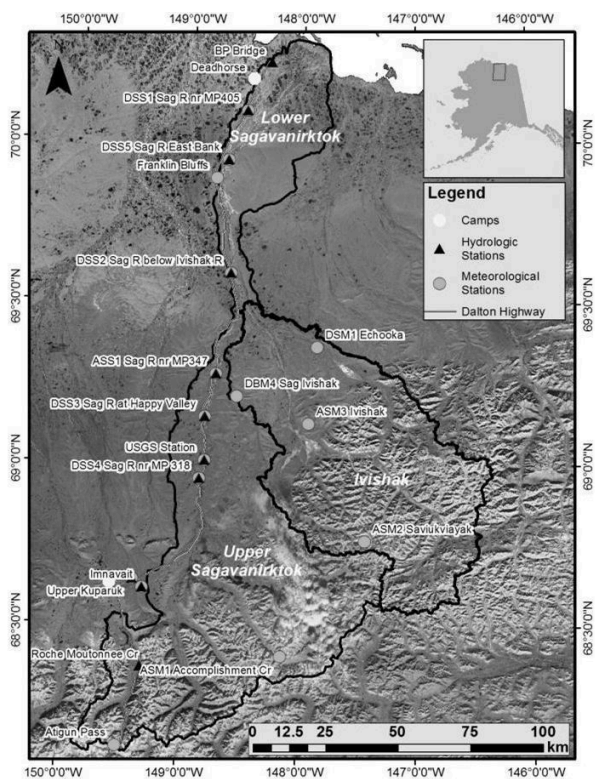


Figura 1. Ubicación de las estaciones en la cuenca del río Sagavanirktok.



Figura 2. Configuración típica de las estaciones localizadas cerca del río.

Los datos de cada estación son transmitidos a tiempo real por medio del uso de módems satelitales, módems celulares, o radios dependiendo de la ubicación y las características topográficas de las estaciones. Todos los datos están disponibles en el sitio web del proyecto.



Figura 3. Configuración típica de las estaciones localizadas en la zona de pie de montaña.

### Equipamiento

Las estaciones cercanas al río cuentan con sensores de medición de variables meteorológicas (tales como la temperatura del aire, la presión atmosférica, la humedad relativa, la dirección y la velocidad del viento, y la precipitación) montados sobre un trípode o directamente sobre el terreno. Además de las variables meteorológicas, la temperatura y el nivel del agua son también medidos en estas estaciones (Figura 2).

Las mismas variables meteorológicas y la profundidad de la nieve son monitoreadas en las estaciones ubicadas en las zonas de pie y de alta montaña de la cuenca (Figura 3). Todas las estaciones cuentan con paneles solares para recargar, durante los meses de verano, las baterías que suministran energía a todos los sensores



La medición de las condiciones de nieve (la profundidad y la densidad) a lo largo de la cuenca se realiza al final de abril, para estimar el agua disponible para el deshielo. Estas mediciones son efectuadas mediante el uso de helicópteros de largo alcance (Figura 4).



**Figura 4.** Helicóptero y equipamiento utilizado para los relevamientos de las condiciones de la nieve en la cuenca.

Debido a las condiciones adversas para la medición de caudales usando el método tradicional de ADCPs montados en botes durante el deshielo (por ejemplo, el acceso nulo o limitado al río debido a márgenes cubiertas por hielo/nieve, el pasaje continuo de bloques de hielo a lo largo del río), helicópteros más pequeños, que permiten gran maniobrabilidad son utilizados para la medición de los caudales durante el deshielo (Figura 5).



**Figura 5.** Pequeño trimarán que contiene un ADCP (indicado por la flecha) siendo remolcado a través del río por el helicóptero realizando las mediciones de caudal durante el deshielo.

Los detalles de los obstáculos encontrados durante la ejecución de las tareas de campo, así como también las limitaciones asociadas serán presentados durante el Simposio.

### **Agradecimientos**

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación financiado por el Departamento de Transporte de Alaska y Alyeska (operadora del oleoducto Trans-Alaska).

## MEDICIONES DE LA DEMANDA DE AIRE DE FLUJOS EROGADOS POR EL DESCARGADOR DE FONDO DE LA PRESA TAMBOLAR

Jorge Alberto Orellano, Cristian Vega Pedrozo y Zulma Estela Menna

Instituto de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan,  
Urquiza 91 Norte, Teléfono.0264-4272251, E-mail: [orellano@unsj.edu.ar](mailto:orellano@unsj.edu.ar) ; [cvega@unsj.edu.ar](mailto:cvega@unsj.edu.ar); [zemenna@unsj.edu.ar](mailto:zemenna@unsj.edu.ar)

### Introducción

En instalaciones del Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IDIH) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, se ensaya el modelo físico reducido, escala 1:20 del Descargador de Fondo del A. H. Tambolar, ubicado en la Provincia de San Juan.

La estructura hidráulica tiene como finalidad, permitir el vaciado del embalse generado por la construcción de la presa en un tiempo aproximado de 40 días. El caudal de agua erogado por la cámara de compuertas del Descargador de Fondo es conducido a superficie libre en un túnel, con velocidades que dependen de la carga hidráulica generada por el reservorio, las cuales alcanzan valores cercanos a 30 m/s a la salida de la compuerta. Las presiones hidrodinámicas que se producen en los contornos sólidos y la recurrencia del fenómeno pueden ocasionar la erosión por cavitación, por lo que se requiere asegurar el ingreso de un caudal de aire suficiente, habida cuenta que la aireación ha demostrado ser el recurso más económico, seguro y efectivo para evitar los daños que se producen en las estructuras hidráulicas, permitiendo de ese modo asegurar la vida útil de la obra.

### Objetivos

El objetivo de los ensayos realizados en el modelo del descargador de fondo es verificar el diseño de los aireadores, midiendo el caudal de aire en los ductos y la depresión en la cavidad del aireador y determinar el coeficiente de aireación para cada apertura de compuerta.

### El modelo

El modelo se ubica en la nave de grandes alturas que posee el IDIH, utilizando el sistema de alimentación y regulación de caudal del circuito cerrado que posee el laboratorio.

El modelo propiamente dicho comprende un tramo de túnel aguas arriba de la cámara de compuertas, la transición de ingreso a los dos conductos en los que se aloja las compuertas radiales, los aireadores y un tramo de túnel de extensión superior a 200 m. Las dimensiones de las estructuras guardan la relación de escala geométrica y los materiales utilizados son los adecuados a su funcionamiento, se construyeron en acrílico cristal, posibilitando la instalación de tomas de presión aguas arriba y abajo de la ubicación de los aireadores. El modelo se diseñó y construyó de modo que faciliten las tareas de medición y la realización de pequeñas modificaciones.

En prototipo, la incorporación de aire se produce al ser superada la energía superficial, por la energía cinética asociada a las fluctuaciones de velocidad transversal a la dirección del escurrimiento. En el modelo, la energía cinética disminuye con la potencia cuarta de la escala de longitudes, mientras que la energía superficial solo con el cuadrado de la escala. La escala 1:20 adoptada es adecuada, ya que la incorporación de aire tiene lugar, dado que se pueden despreciar en el flujo los efectos viscosos y de tensión superficial, lo que se logra teniendo un número de Reynolds  $> 100.000$  y un número de Weber entre 500 y 1.000.

### Mediciones

El caudal de aire ingresado al sistema, producto de la demanda generada por la depresión en la cavidad, se determina midiendo velocidades medias en ductos de aireadores.

*Niveles estáticos de agua y presiones:* Se instalan tomas limnométricas fijas en el modelo, aguas arriba y aguas abajo de las compuertas radiales. *Velocidades de agua:* con tubos Pitot, siguiendo las reglas de Prandtl, con posibilidad de conectar ambas salidas, a tubos piezómetros con precisión de lectura de 0,1 mm.

*Gastos líquidos:* con vertedero de cresta delgada rectangular tipo Rehbock, según las normas del British Standard, con curva de calibración obtenida en nuestro laboratorio. *Aire incorporado:* se miden velocidades del aire incorporado con anemómetro de hilo caliente VelociCalc TSI, con rango: 0 a 20 m/s, resolución: 0,01 m/s y precisión:  $\pm 5\%$  de lectura o  $\pm 0,025$  m/s, la que sea más alta.

*Depresiones en cavidad y conductos de aireación:* se realiza con micromanómetro Filotecnia, con la posibilidad de medir con precisión en distintos rangos: de 0 a 12,5 mm col. H<sub>2</sub>O, de 12,5 a 5 mm col. H<sub>2</sub>O, de 5 a 25 mm col. H<sub>2</sub>O, de 10 a 50 mm col. H<sub>2</sub>O, de 20 a 100 mm col. H<sub>2</sub>O y de 0 a 300 mm col. H<sub>2</sub>O, con precisión de 0,1 mm col. H<sub>2</sub>O.

### Ensayos

Los estudios realizados en el modelo evalúan el comportamiento de las estructuras para porcentajes de apertura de compuertas según se muestra en la Tabla 1, especialmente para el caudal de diseño 371,2 m<sup>3</sup>/s para una apertura de 100%.

Tabla 1 Ensayos Realizados

Ensayo	Descripción
1	25% Apertura
2	50% Apertura
3	75% Apertura
4	100% Apertura

Se ensaya el diseño original y una variante de descargador de fondo, que modifica la geometría del aireador original que es un escalón, por una rampa con pendiente 13,75% desde el punto de apoyo de la compuerta hasta el escalón del aireador, como muestra la Figura 1. La Figura 2, muestra el funcionamiento en el modelo del descargador de fondo Tambolar con aperturas en ambas compuertas de 25%.

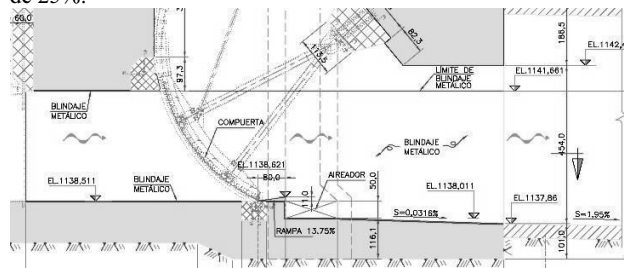


Figura 1.- Detalle de diseño modificado, descargador de fondo Tambolar.

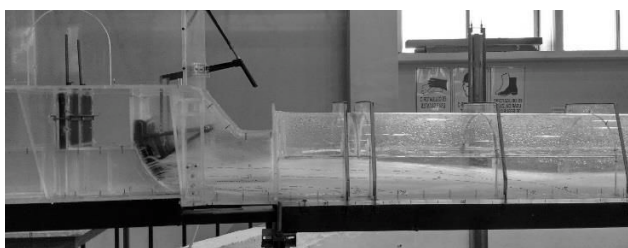


Figura 2.- Ensayo de descargador con 25% de apertura de compuertas.

## Resultados

La Tabla 2 presenta los valores registrados en el diseño original del descargador de fondo, observando que la concentración de aire del flujo no es adecuada sobre todo para las aperturas superiores a 50%. Es por ello que se modifica el aireador incorporando una rampa.

Tabla 2 Desempeño descargador de fondo aireador original

Apertura (%)	Caudal agua (m <sup>3</sup> /s)	Long. Cavidad (m)	$\Delta p$ cavidad (m.c.a.)	Vmed aire (m/s)	Caudal aire (m <sup>3</sup> /s)	$\beta$ (%)
25	88,8	15,6	-0,159	28,1	42,1	47,4
50	167,2	14,4	-0,102	19,5	29,2	17,5
75	253,4	12,6	-0,07	11,2	16,8	6,7
100	371,4	10,1	-0,08	5,63	8,45	2,3

La Tabla 3 muestra las mediciones realizadas con el aireador modificado, observando las mejoras en la depresión en la cavidad y en la cantidad de aire incorporado.

Tabla 3 Desempeño descargador de fondo aireador con rampa.

Apertura (%)	Caudal agua (m <sup>3</sup> /s)	Long. Cavidad (m)	$\Delta p$ cavidad (m.c.a.)	Vmed aire (m/s)	Caudal aire (m <sup>3</sup> /s)	$\beta$ (%)
25	88,8	27,2	-0,296	37,14	55,71	62,73
50	167,2	18,8	-0,391	39,18	58,76	35,14
75	253,4	14,7	-0,311	32,89	49,34	19,47
100	371,4	12,3	-0,251	30,53	45,8	12,33

La Figura 4, presenta las gráficas del coeficiente de aireación  $\beta$ (%), que es la relación entre el caudal de aire en el dispositivo de aireación  $Q_a$ (m<sup>3</sup>/s) y el caudal de agua circulante bajo la compuerta  $Q_w$ (m<sup>3</sup>/s); para distintos grados de apertura de compuertas en el diseño original y en el modificado.

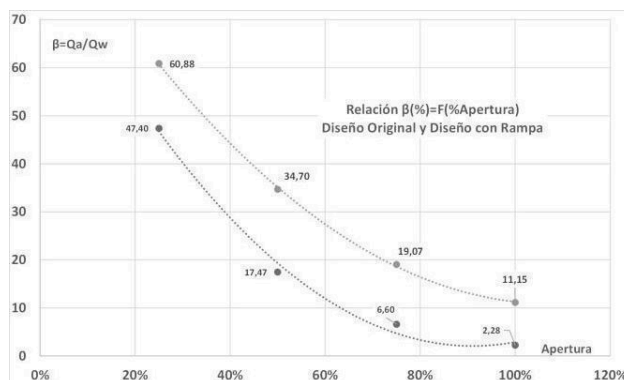


Figura 4.- Coeficientes de aireación  $\beta$  (%), diseño original y modificado.

## Conclusiones

El diseño modificado del descargador de fondo presenta:

- Incrementos de la longitud de la cavidad, como consecuencia de la modificación de la cota de fondo, por la presencia de la rampa entre el punto de apoyo de compuerta y escalón del aireador, elevando el ángulo inicial de la trayectoria de la vena aireada y su proyección.
- Incrementos significativos de las depresiones en la cavidad, principalmente para aperturas de compuertas del 75%.
- Consecuentemente se observa, incrementos en las velocidades del aire en conductos de aireación, igualmente en el caudal de aire incorporado a la vena líquida. Los incrementos observados son mayores para las mayores aperturas.
- Finalmente se observan incrementos significativos en el coeficiente de aireación  $\beta$  (%), los cuales son mayores para las mayores aperturas de compuertas.

La modificación del descargador de fondo, con la incorporación de la rampa posterior a las compuertas, optimiza el rendimiento de las estructuras aireadoras, sin alterar la hidrodinámica general observada previa a la ubicación de las compuertas y posterior a la zona de impacto de la vena aireada. Las modificaciones introducidas en el diseño original aumenta la efectividad en la incorporación de aire y consecuentemente disminuye el riesgo de erosión por cavitación en las estructuras.

Los resultados permitieron evaluar el diseño, y profundizar los conocimientos en esta técnica muy utilizada en la actualidad en las estructuras de grandes presas.

## Referencias Bibliográficas

- Chanson, H.; Study air entrainment and aeration devices on spillway model, Ph.D. thesis. University of Canterbury, Christchurch, 1988.
- Falvey, H.T.; Cavitation in chutes and spillways, Engineering monograph, 42, USBR, Denver, USA, 1990.
- Gutiérrez, .G., Orellano, J., Vega, C. Estudios comparativos de aireación en dos modelos físicos. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, 2010.
- Gutiérrez, G., Menna, Z. y Vega, C. "Estudios sobre Modelo Físico del Descargador de Fondo de "Los Caracoles". Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 2001.

## COMPARACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN EN EL RÍO URUGUAY

C. López Weibel<sup>1,2</sup>, R. Szupiany<sup>1,2</sup>, A. Nardin<sup>3</sup>, A. Arcelus<sup>3</sup>, F. Latosinski<sup>1,2</sup>, M. Amsler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>3</sup>Comisión Administradora del Río Uruguay

Email: [clopezweibel@fich.unl.edu.ar](mailto:clopezweibel@fich.unl.edu.ar)

### Introducción

Es ampliamente conocida la importancia que tiene la cuantificación del transporte de sedimentos para la resolución de problemas de índole fluvial y ambiental. Sin embargo, son escasos los avances que se han realizado hasta el momento para cuantificar y analizar esta importante variable en el río Uruguay. En este trabajo se presentan resultados preliminares sobre la caracterización espacial del transporte de sedimento en suspensión en dicho río, utilizando diferentes técnicas.

### Área de estudio

Se seleccionaron tres secciones de estudio sobre el río Uruguay, en cercanías a las localidades de Puerto Yerúa y Colón (Entre Ríos, Argentina), y Fray Bentos (Uruguay) (Figura 1).

Los relevamientos fueron realizados en Junio y Diciembre de 2017, y en Octubre de 2018, de aquí en adelante relevamientos *R1*, *R2* y *R3*, respectivamente. Los mismos fueron realizados bajo diferentes estados hidrométricos, registrándose en Colón caudales de 7744 m<sup>3</sup>/s, 2188 m<sup>3</sup>/s y 9044 m<sup>3</sup>/s, para *R1*, *R2* y *R3*, respectivamente. Las mediciones fueron realizadas en Puerto Yerúa y Colón para *R1*, en Puerto Yerúa, Colón y Fray Bentos para *R2*, y en Colón para *R3*.



Figura 1.- Sitios de estudio en el río Uruguay.

### Metodología

*Actividades de campo.* En todos los relevamientos y para las distintas secciones de medición, se realizaron aforos líquidos con un perfilador acústico Doppler (ADCP) marca Teledyne RD Instruments de 1200 kHz de frecuencia. En las secciones de medición del relevamiento *R1* se tomaron además muestras superficiales de sedimento en suspensión. En las secciones de los relevamientos *R2* y *R3* se tomaron muestras de sedimento en suspensión, con la embarcación anclada, utilizando un muestreador US P-61, y simultáneamente se registró la intensidad de la señal de retorno del ADCP.

En el relevamiento *R2*, en Puerto Yerúa y Fray Bentos, se seleccionaron tres verticales de muestreo, ubicadas sobre margen derecha, centro y margen izquierda del cauce. En Puerto Yerúa, en cada vertical, se tomaron muestras integradoras en profundidad; en Fray Bentos, se tomaron tres muestras puntuales en cada vertical (a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total *h*). En la sección Colón, se seleccionaron cinco verticales de muestreo (Cb1, Cb2, Cb3, Cb4 y Cb5) utilizando el método de iguales incrementos de caudal (EDI, por sus siglas en inglés); se tomaron cinco muestras puntuales en Cb1 (a 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 0.9 de *h*), y tres muestras puntuales en Cb2 a Cb5 (a 0.2, 0.6 y 0.8 de *h*). En el relevamiento *R3* sección Colón se seleccionaron cinco verticales de muestreo (Cc1, Cc2, Cc3, Cc4 y Cc5)

mediante el método EDI; en cada vertical se tomaron cuatro muestras puntuales (a 0.2, 0.6, 0.8 y 0.9 de *h* en Cc1, y a 0.4, 0.6, 0.8 y 0.9 de *h* en Cc2 a Cc5).

*Actividades de laboratorio.* Los procesamientos de las muestras recolectadas fueron realizados en el Laboratorio de Sedimentología y en el Laboratorio de Química y Ambiente, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Universidad Nacional del Litoral (UNL).

Las muestras fueron procesadas de acuerdo a diferentes metodologías en función del tipo y cantidad de sedimento presente. Las muestras del relevamiento *R1* se procesaron mediante evaporación y secado, ya que eran muestras superficiales, y por lo tanto, correspondientes a carga de lavado (material fino – limos y arcillas). En las muestras del relevamiento *R2*, no se observó a simple vista presencia de arenas, por lo que fueron procesadas mediante el método ASTM D-3977-97 (Guo, 2006). Se utilizaron filtros Millipore de nylon, con tamaño de poro de 0.45  $\mu\text{m}$  y 47 mm de diámetro, los cuales fueron tarados y dispuestos en una batería de filtrado de 6 ramas con bomba de vacío, obteniéndose valores de concentración total de sedimento en suspensión (*C<sub>s</sub>*). Las muestras del relevamiento *R3* se procesaron utilizando el método de Knott (1992); se separó la carga de lavado del material proveniente del fondo mediante tamizado húmedo, y luego, previa evaporación y secado, se realizó el cómputo de las concentraciones de sedimento de fondo en suspensión (*C<sub>ss</sub>*) y de carga de lavado (*C<sub>w</sub>*).

*Cálculo del transporte de sedimento de fondo en suspensión.* Se determinó el transporte de sedimento de fondo en suspensión (*G<sub>ss</sub>*) mediante método tradicional en el relevamiento *R3* sección Colón. Dado que las verticales de muestreo se seleccionaron con el método EDI, se estimó la concentración media de *C<sub>ss</sub>* en la sección como el promedio de las concentraciones medias de las verticales, y se determinó *G<sub>ss</sub>* como el producto entre ésta y el caudal líquido medido con ADCP.

Con el objeto de estimar *G<sub>ss</sub>* a partir de las mediciones realizadas con ADCP, se realizó una calibración entre la señal acústica de retorno del ADCP y *C<sub>ss</sub>*, aplicando la metodología desarrollada en Szupiany, et al. (2019) mediante la implementación del software ASET (Dominguez, et al., 2015). Se utilizaron los datos de concentraciones y las mediciones efectuadas con ADCP en simultáneo a la toma de muestras, para el relevamiento *R3*. Finalmente se efectuó la aplicación de la calibración obtenida en todas las secciones medidas en los distintos relevamientos, para obtener la distribución de *C<sub>ss</sub>* y los valores de *G<sub>ss</sub>* a partir de mediciones con tecnología acústica.

### Resultados

Para el relevamiento *R1* se determinaron concentraciones de carga de lavado (*C<sub>w</sub>*) de 12.9 mg/l y 15.1 mg/l en Puerto Yerúa y Colón, respectivamente.

Para el relevamiento *R2* se determinaron concentraciones de sedimento total en suspensión (*C<sub>s</sub>*), promedio en la sección transversal, de 14.8 mg/l, 16.9 mg/l y 15.8 mg/l, en Puerto Yerúa, Colón y Fray Bentos, respectivamente. En todos los casos se observó una distribución homogénea de *C<sub>s</sub>* en profundidad y en la sección, por lo que se concluyó que el



material transportado en suspensión corresponde a  $C_w$  para el estado hidrométrico relevado, sin presencia de material grueso en suspensión.

En la Figura 2 pueden observarse los perfiles de concentración medidos de  $C_{ss}$  y  $C_w$  en el relevamiento R3 (mayor estado hidrométrico) sección Colón. Si bien se observa un incremento de  $C_{ss}$  en profundidad, los valores medidos son muy bajos, encontrándose un valor máximo igual a 2.3 mg/l en Cc2 a 0.9 de h. En cuanto a  $C_w$ , se observa una distribución homogénea en profundidad y a lo largo de la sección.

En la Figura 3 se presenta la correlación entre las concentraciones de arenas medidas y la señal corregida del ADCP. Se obtuvo una pendiente de la recta de ajuste igual a 0.045 y un  $R^2$  de 0.62.

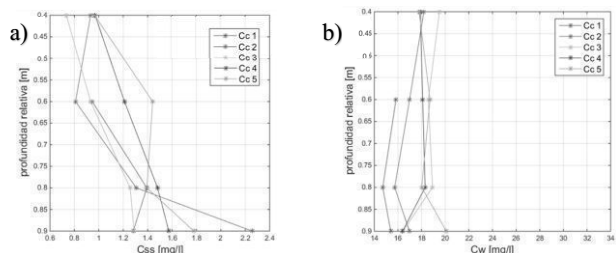


Figura 2.- Distribución de las concentraciones de: a) sedimento de fondo en suspensión ( $C_{ss}$ ) y b) carga de lavado ( $C_w$ ), relevamiento R3, sección Colón.

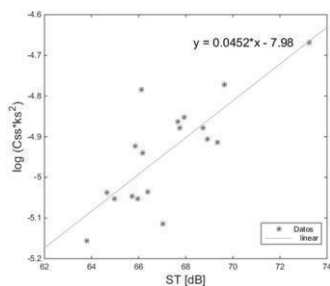


Figura 3.- Relación entre la señal acústica corregida y las concentraciones de sedimento de fondo en suspensión medidas.

En la Tabla 1 se presentan los valores de  $G_{ss}$  estimados a partir de la calibración lograda, para las diferentes secciones de todos los relevamientos realizados.

Tabla 1.- Valores de transporte de sedimento de fondo en suspensión obtenidos mediante el procesamiento de la señal acústica de ADCP, para secciones del río Uruguay en Puerto Yerúa, Colón y Fray Bentos.

Relevamiento	Zona	$G_{ss}$ [kg/s]	$G_w$ [kg/s]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]
R1	Puerto Yerúa	2.95	96.51	7700
	Colón	4.53	113.73	7744
R2	Puerto Yerúa	0.45	24.01	1609
	Colón	0.33	37.15	2188
	Fray Bentos	0.67	114.57	2159
R3	Colón	9.51	154.81	9044

Puede observarse que los valores de transporte son congruentes para los diferentes niveles hidrométricos relevados, habiendo un incremento del transporte de sedimento de fondo en suspensión al registrarse mayores caudales líquidos. Notar que en todas las secciones relevadas el transporte de carga de lavado es superior al transporte de sedimento de fondo en suspensión.

Para las tres secciones de medición correspondientes al relevamiento R2, el transporte de sedimento de fondo en suspensión resultó bajo (Tabla 1), con valores menores a 1 kg/s, lo cual es congruente con las muestras recolectadas en campaña,

que a simple vista no presentaron presencia de arenas en suspensión. El valor de transporte obtenido por método tradicional en el relevamiento R3 sección Colón, resultó igual a 11.6 kg/s; al compararlo con el valor obtenido mediante tecnología acústica (Tabla 1) se observa una diferencia entre ambos métodos del orden del 20%, lo que indica la satisfactoria estimación lograda por el método acústico.

## Conclusiones

La cuantificación del transporte de sedimentos es fundamental para lograr un avance en la resolución de problemas de índole fluvial y ambiental. En este sentido, el uso de tecnología acústica resulta esencial ya que se ha demostrado que es una importante herramienta para la cuantificación del transporte de sedimento de fondo en suspensión en forma rápida y con una resolución espacial imposible de alcanzar por métodos tradicionales. A fin de visualizar la resolución espacial lograda, se presenta en la Figura 4 la distribución de las concentraciones de material de fondo en suspensión lograda mediante la aplicación de la calibración efectuada, para la sección Colón en el relevamiento R3.

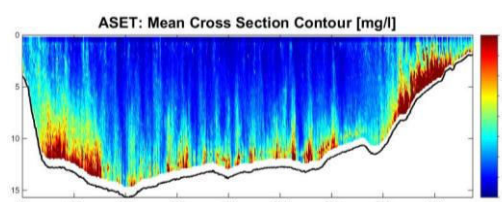


Figura 4.- Distribución de las concentraciones de sedimento de fondo en suspensión para el relevamiento R3, sección Colón.

En cuanto a las características del transporte de sedimento en suspensión, se observó que, para los diferentes estados hidrométricos relevados, el transporte de carga de lavado resultó siempre superior al transporte de sedimento de fondo en suspensión. Se observó además que el transporte de  $G_{ss}$  resulta despreciable para situaciones hidrométricas con caudales menores a 2200 m<sup>3</sup>/s.

Se recomienda continuar con los relevamientos para situaciones hidrométricas de crecida, es decir, para caudales superiores a 10000 m<sup>3</sup>/s, donde se podría producir una resuspensión del sedimento de fondo, y por lo tanto, un incremento considerable del transporte.

**Agradecimiento.** Los autores agradecen a la Comisión Administradora del Río Uruguay por el apoyo logístico y económico brindado para el desarrollo de este trabajo.

## Referencias Bibliográficas

- Dominguez Ruben, L.; Latosinski, F., Szupiany, R. y López Weibel, C. (2015). "Acoustic-Sediment Estimation Toolbox (ASET): Un software para estimar transporte de sedimento en suspensión con ADCP". *Séptimo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*, Montevideo, Uruguay.
- Guo Q. (2006). "Correlation of Total Suspended Solids (TSS) and Suspended Sediment Concentration (SSC). Test Methods", *New Jersey Department of Environmental Protection. Division of Science, Research and Technology*. Contract No. SR05-005.
- Knott, J. M.; Sholar, C. J. y Matthes, W. J. (1992) "Quality Assurance Guidelines for the Analysis of Sediment Concentration by U.S. Geological Survey Sediment Laboratories". *U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Open-File Report 92-33*. Denver, Colorado.
- Szupiany, R., López Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M. Dominguez Ruben, L. and Oberg, K. (2019) "Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions". *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.4572



## RED DE BOYAS DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO MAR-ATMÓSFERA

Alejandro J. Vitale<sup>1,2,3</sup>, Gerardo M.E. Perillo<sup>1,4</sup>, M. Cintia Piccolo<sup>1,3</sup> y Sibila A. Genchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET-UNS), Bahía Blanca, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur(UNS), Bahía Blanca, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Geografía y Turismo, UNS, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>4</sup>Departamento de Geología, UNS, Bahía Blanca, Argentina.

vitale.alejandra@gmail.com; gmeperillo@criba.edu.ar; ofpiccol@criba.edu.ar; genchi.sibila@gmail.com

### Introducción

La interface mar-atmósfera controla importantes funciones naturales a escalas regional y global. Para responder al desafío de la gestión de las regiones costeras y oceánicas, como resultado de la creciente incertidumbre causada por el cambio climático y por las condiciones socioeconómicas que cambian rápidamente (Pahl-Wostl, 2007), resulta esencial la recopilación de datos en dichas regiones. En este contexto, se requiere un monitoreo integral y frecuente a largo plazo y a nivel global (Dörnhöfer y Oppelt, 2016).

La frecuencia de muestreo es clave para identificar y analizar patrones temporales, procesos o fenómenos. Cualquier proceso o fenómeno que ocurra en una escala temporal más corta que la frecuencia de muestreo, conduce a la pérdida de información valiosa; este último está generalmente asociado a los programas tradicionales de monitoreo, que a menudo se limitan a un punto de tiempo específico (Vitale *et al.*, 2018). Un monitoreo de alta resolución temporal es relevante para comprender, por ejemplo, la dinámica ecológica en ambientes acuáticos. Sin embargo, por el contrario, un muestreo inadecuado donde la frecuencia de muestreo es más alta que la frecuencia de Nyquist, resulta en una pérdida y distorsión de la información.

Los sensores y las tecnologías asociadas (por ejemplo, infraestructura física y cibernética) se están convirtiendo en herramientas cada vez más importantes para el monitoreo del agua (Pellerin *et al.*, 2004). En los últimos años, los proyectos de investigación se están focalizando en la recopilación de datos utilizando sistemas de sensores de bajo costo. El objetivo de este trabajo es presentar un sistema de monitoreo integral y de bajo costo destinado al ambiente marino en Argentina.

### Boya de Monitoreo Ambiental

La mayoría de las partes electrónicas y mecánicas de la boya de monitoreo ambiental fueron desarrolladas por un equipo de investigadores del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET, Bahía Blanca, Argentina), con más de 10 años de experiencia. Actualmente se encuentran 3 boyas operativas que se localizan en proximidades de las costas marinas de Monte Hermoso y Mar del Plata, ambas en la Provincia de Buenos Aires, y en el canal de Beagle (Provincia de Tierra del Fuego). Las mismas se integran en la red EMAC (estación de monitoreo ambiental costero, <http://emac.iado-conicet.gob.ar/>; Fig. 1).

La boya es un sistema modular de bajo costo que permite el acceso por conexión remota (Fig. 2). Además del bajo costo, la independencia y estandarización del diseño conlleva a la flexibilidad del funcionamiento y la configuración del sistema (por ejemplo, frecuencia de muestreo, selección de parámetros, etc.) de acuerdo a las necesidades. La boya registra en tiempo real (cada 10 minutos, estándar) los principales parámetros meteorológicos (temperatura, radiación solar, velocidad/dirección del viento, etc.) y del agua (temperatura en varios niveles, conductividad, material en suspensión, altura/período de olas, oxígeno disuelto, profundidad, velocidad de la corriente, etc.).

La Tabla 1 resume las especificaciones técnicas de la boya. La boya consiste de un casco de plástico rotomoldeado (0,50 m de diámetro) y una estructura de acero. Las partes están fabricadas en acero inoxidable para la protección contra la corrosión marina. Para estabilizar la boya y mantenerla en posición vertical, el interior del casco se llena con hormigón (50 kg) y espuma de poliuretano para otorgarle mayor resistencia mecánica. En general, la boya se ancla utilizando solo un bloque de concreto de 150 kg unido a su punto de amarre central. Los sensores de agua se colocan alrededor de la boya sobre la estructura especialmente diseñada (Fig. 3). La profundidad de los sensores se fija en 0,5 m. Los dataloggers, brújula (si es necesario), sensor de olas y las baterías se encuentran dentro del casco. Incluso este diseño de boya puede soportar una cadena vertical de sensores (por ejemplo, temperatura, conductividad, etc.) para perfilado de alguna variable.

Tabla 1.- Especificaciones técnicas de la boya.

<b>Máx. calado [m]</b>	1
<b>Material</b>	Plástico rotomoldeado / acero inoxidable
<b>Dimensión [m]</b>	0,5 x 3
<b>Peso (carga completa) [kg]</b>	70
<b>Capacidad de Carga [lts]</b>	60
<b>Máx. alimentación [W]</b>	1 panel solar, 40
<b>Banco de batería [Ah]</b>	48
<b>Amarre</b>	Punto único
<b>Máx. N° de dataloggers</b>	3
<b>Máx. N° de sensores</b>	22
<b>Diseñado para</b>	Medición de olas
<b>Baliza</b>	Luz LED

### Discusión y Conclusión

El sistema de monitoreo fue diseñado para registrar largas series de tiempo, a alta frecuencia, lo que es de gran valor para la comunidad científica, así como también para tomadores de decisiones. En Argentina, la experiencia en este tipo de monitoreo es prácticamente nula tanto en el mar como en los cuerpos de agua continentales.

La creación por primera vez de una base de datos del sistema mar-atmósfera en Argentina representa un aporte significativo a las ciencias del mar, favoreciendo el desarrollo de numerosas investigaciones tales como la modelización de los procesos físicos, el diagnóstico de calidad ambiental, el mejoramiento de los pronósticos del tiempo locales y regionales, esta última, de gran utilidad para el desenvolvimiento de las actividades socioeconómicas. Los datos recabados son integrados al Sistema

Nacional de Datos del Mar, la cual posee como misión garantizar la accesibilidad a los datos y la información marina del Océano Atlántico Sud Occidental y Antártida. Si bien este sistema supone usualmente una solución de bajo costo desarrollado por "investigadores para investigadores", también es demandado en el sector privado empresarial.

## Referencias

**Dörnhöfer, K. and N. Oppelt (2016).** "Remote sensing for lake research and monitoring – recent advances". *Ecol. Indic.*, Vol. 64, pp. 105-122.

**Pahl-Wostl, C. (2007).** "Transitions towards Adaptive Management of Water Facing Climate and Global Change". *Water Resources Management*, Vol. 21, pp. 49-62.

**Pellerin, B.A., B.A. Stauffer, D.A. Young, D.J. Sullivan, S.B. Bricker, M.R. Walbridge, G.A. Clyde, Jr. and D.M. Shaw (2016).** "Emerging Tools for Continuous Nutrient Monitoring Networks: Sensors Advancing Science and Water Resources Protection". *J. Am. Water Resour. Assoc.* Vol. 52, No. 4, pp. 993-1008.

**Vitale, A.J., G.M.E. Perillo, S.A. Genchi, A.H. Arias and M.C. Piccolo (2018).** "Low-cost monitoring buoys network tracking biogeochemical changes in lakes and marine environments – a regional case study". *Pure Appl. Chem.* Vol. 90, No. 10, pp. 1631-1646.

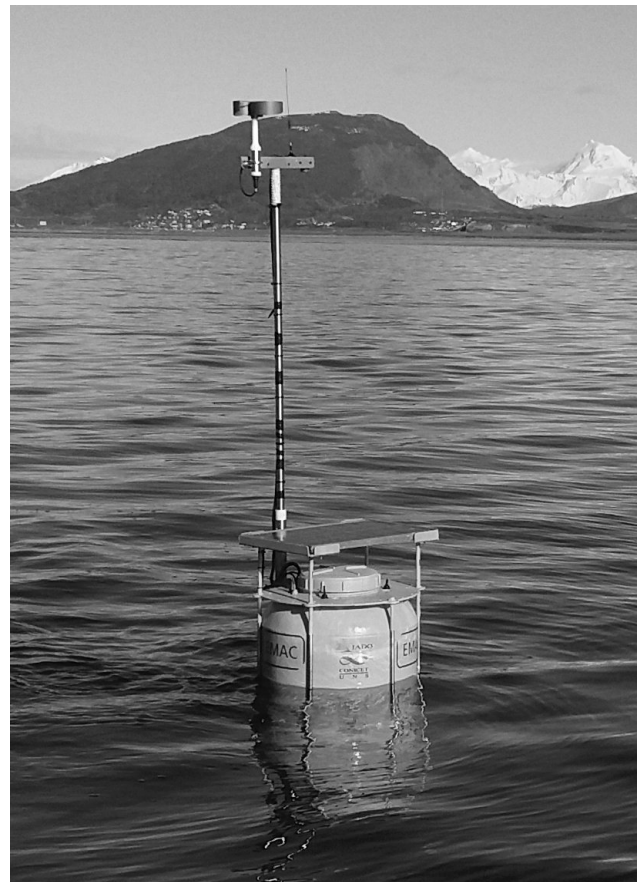


Figura 2.- Vista de la boya fondeada en la bahía de Ushuaia.

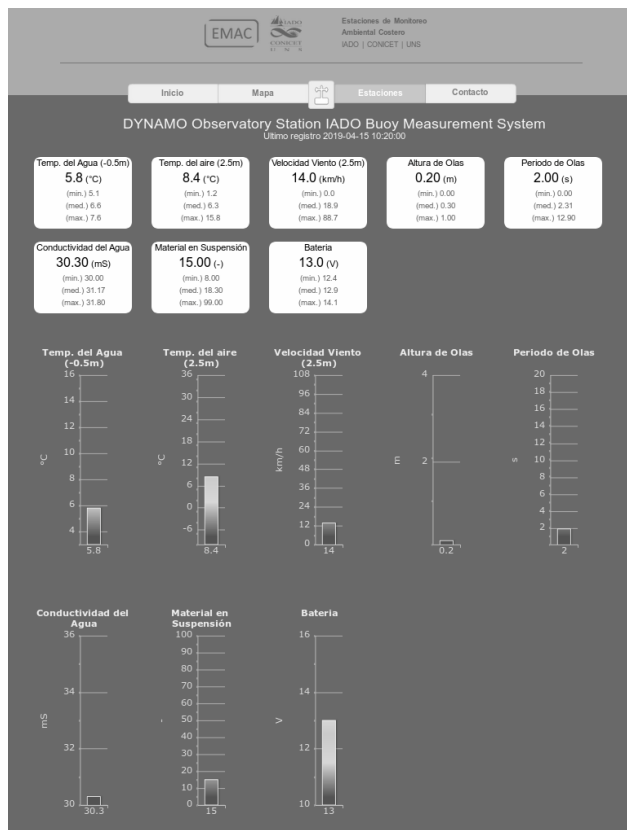


Figura 1.- Visualización online de los datos de la boya en la bahía de Ushuaia.



Figura 3.- Anillo de montaje de los sensores en la boya.

## AVALIAÇÃO E EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÕES METEO-OCEANOGRÁFICAS

Igor Fragoso, Italo Lopes, Fabio Nascimento, Henrique Pereira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, ATMOSMARINE, Brasil  
igoraf@oceanica.ufrj.br, italoreislopes@gmail.com, fabion@pobox.com, pereira.henriquep@gmail.com

### Introdução

O conceito de incerteza de medição considera como resultado não um valor único, mas um intervalo que inclua o valor da quantidade medida e a incerteza sobre a exatidão do resultado declarado, com um grau de confiança especificado. Assim, a expressão de incerteza está sempre associada a uma medida e não apenas aos instrumentos empregados no processo de medição. Dessa forma, fica estabelecido que cada medida tem sua respectiva incerteza associada. O presente trabalho baseia-se nas orientações do GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), que define as diretrizes para a avaliação e expressão da incerteza de medições.

### Objetivo

O objetivo do presente trabalho é demonstrar a importância da avaliação e expressão da incerteza de medições de grandezas meteo-oceanográficas. Apesar da aplicabilidade em várias grandezas de parâmetros ambientais, será mostrada, como exemplo, a avaliação da incerteza de medição de velocidade do vento, com um anemômetro do tipo ultrassônico. O medidor de velocidade do vento é instalado em uma boia meteo-oceanográfica, na extremidade de um mastro a 3,8m acima da linha d'água. Será também retratada a avaliação da incerteza relativa à conversão para a altura padrão de 10m.

### Do Método

De acordo com o GUM, na grande maioria dos casos a grandeza sob medição, ou mensurando, não é medido diretamente, mas é o resultado da combinação de outras grandezas. Dessa forma, primeiramente há que se descrever essas relações:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad [1]$$

Nesse caso, Y é a grandeza de saída, que por sua vez é função das grandezas de entrada  $X_1, X_2, X_3$  etc. Essas grandezas de entrada podem ser também funções de outras grandezas, que contém correções e fatores de correção para efeitos sistemáticos. Assim, para o GUM a função f é a função que contém todas as grandezas, incluindo todas as correções e fatores de correção que possam contribuir com um componente significativo da incerteza para o resultado de medição.

A Recomendação INC-1 (1980) do BIPM, o GUM agrupa os componentes da incerteza em duas categorias baseadas em métodos específicos de avaliação, denominadas em Tipos "A" e "B". Na Avaliação do Tipo A, o método de avaliação da incerteza é a análise estatística de séries de observações, como por exemplo, o desvio padrão da média de uma série temporal.

Na Avaliação do Tipo B o método de avaliação da incerteza dá-se por outros meios que não a análise estatística de séries de observações, como por exemplo, especificações do instrumento de medição.

Como se observa, ambos os enfoques empregam interpretações reconhecidas de probabilidade.

De maneira geral, a avaliação da incerteza de uma medição, envolve as etapas indicadas a seguir:

- 1) Definição do mensurando -Y;
- 2) Diagrama de causa-efeito;
- 3) Avaliação das incertezas-padrão das grandezas de entrada do mensurando -  $u(X_i)$ ;
- 4) Cálculos dos coeficientes sensibilidade do mensurando em relação a cada uma das suas grandezas de entrada -  $cs(X_i)$ ;
- 5) Componentes de incertezas -  $cs(X_i) \times u(X_i)$ ;
- 6) Incerteza combinada:

$$uc(Y) = \sqrt{\sum (cs(X_i) \times u(X_i))^2} \quad [2]$$

- 7) Determinação do número de graus de liberdade efetivos:

$$u_{\text{eff}} = \frac{uc(Y)^4}{\left\{ \frac{[cs(\delta_{\text{rep}}) \times u(\delta_{\text{rep}})]^4}{n-1} \right\}} \quad [3]$$

Onde:-

n – número de amostras da série temporal;

$cs(\delta_{\text{rep}})$  – coeficiente de sensibilidade relativo à série temporal;

$u(\delta_{\text{rep}})$  – incerteza padrão relativa à série temporal.

- 8) Fator de abrangência - k;

- 9) Incerteza expandida:

$$U(Y) = k \times uc(Y) \quad [4]$$

O resultado deverá ser corretamente expresso como se segue:

$$Y = y \pm U \quad [5]$$

onde y é o valor do mensurando e U a incerteza expandida.

### Desenvolvimento e Resultados

Foi realizada a avaliação da incerteza de medição de velocidade do vento, a partir de uma série temporal com frequência de coleta de dados a cada segundo, por 30 minutos (Figura 1).

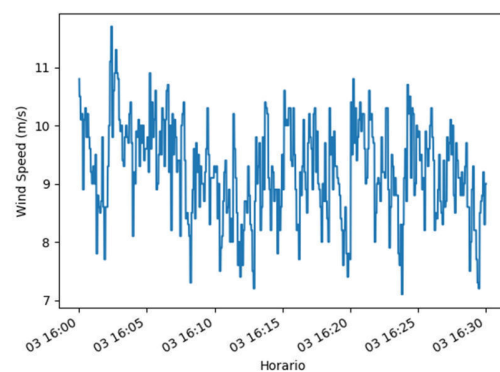


Figura 1.- Série temporal sob avaliação.

Essa medição foi realizada em 06/03/2015, pela boia meteo-oceanográfica BMOP03, localizada no litoral de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil.

O evento climatológico registrado está relacionado à passagem de um sistema frontal, que altera a velocidade e direção do vento. Sendo assim, para a análise de incerteza de medição foi selecionada a série de dados durante o período de 16:00 às 16:30 UTC (30 minutos) totalizando 1800 pontos. Tal período compreende o momento de transição em que o vento ronda para o quadrante sul e começa novamente a se intensificar.

A função entre as fontes de incerteza e o mensurando é dada por:

$$v_{au} = f(L, \Delta t, \delta_{exat}, \delta_{res}, \delta_{rep}, \delta_{nd}) \quad [5]$$

Com isso, teremos a seguinte formulação:

$$v_{au} = 0,5 \times L \times (1/\Delta t) + \delta_{exat} + \delta_{res} + \delta_{rep} + \delta_{nd} \quad [6]$$

Onde:

L – distância entre dois transdutores (m);

$\Delta t$  – diferença entre os tempos de trânsito (s);

$\delta_{exat}$  – parcela da incerteza devida à exatidão de velocidade;

$\delta_{res}$  – parcela da incerteza devida à resolução de velocidade;

$\delta_{rep}$  – parcela da incerteza devida à série temporal de velocidade considerada;

$\delta_{nd}$  – parcela da incerteza devida à fatores não considerados, porém existentes.

Procedendo-se todos os cálculos, obtém-se uma incerteza expandida de  $\pm 0,03$  m/s ou  $\pm 2,9\%$ .

Durante os estudos verificou-se que para séries temporais de parâmetros ambientais, nem sempre o desvio padrão da série de dados é o que melhor representante dessa parcela da incerteza. A Figura 2 representa o Balanço de Incertezas, levando-se em conta diferentes estimadores para a série temporal, e sua influência na Incerteza Expandida.

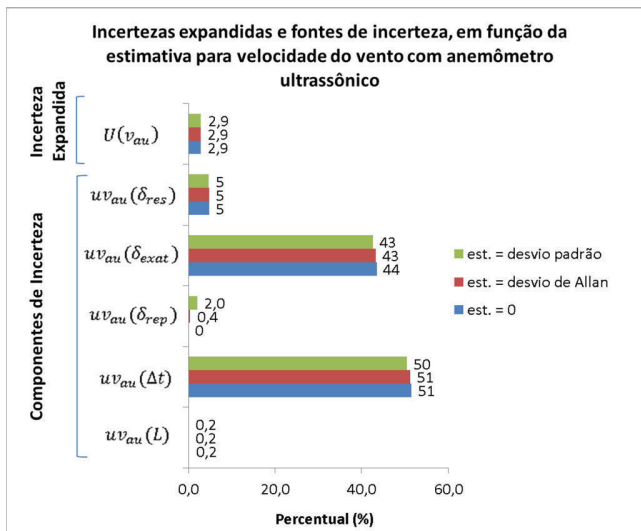


Figura 2.- Balanço de Incertezas

Para conversão da velocidade medida para a altura de 10m, faz-se uso da fórmula de Segal e Pielke (1987) e S. A. Hsu et al. (1994):

$$u_2 = u_1 \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^p \quad [7]$$

Onde:

$z_1$  – altura de medição;

$z_2$  – altura de referência (10m);

$u_2$  – velocidade do vento na altura de referência;

$u_1$  – a velocidade do vento medida a altura  $z_1$ ;

$p$  – expoente empiricamente determinado, igual a 0,11.

Com isso, a incerteza expandida aumenta para  $\pm 3,5\%$ , sem considerar a influência das ondas atuantes na boia. Para o período de observação da série temporal adotada, a altura significativa das ondas,  $H_s$ , foi de 1,2m. Levando em conta a semiamplitude desse valor como nova estimativa para  $z_1$ , a incerteza expandida aumenta para  $\pm 4,1\%$ . Seguindo o mesmo raciocínio, fez-se uma simulação para o caso de um  $H_s$  de 2,5m, neste caso a incerteza aumentaria para  $\pm 5,4\%$  (Figura 3).

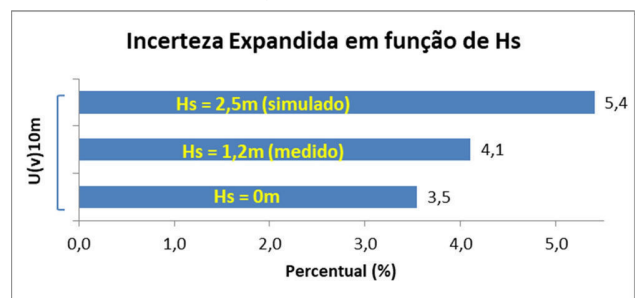


Figura 3.- Incerteza Expandida em função de Hs.

## Considerações Finais

Os procedimentos descritos no GUM devem ser aplicados em medições meteo-oceanográficas, não havendo erro em avaliar-se uma série temporal sob o ponto de vista metrológico. Porém, nas avaliações de séries temporais referentes as medições de tais parâmetros, é de suma importância levar em consideração o conhecimento sobre o comportamento do mensurando sob análise. Nesses casos o conhecimento permite inferir estimativas de incerteza mais condizentes com a realidade.

Para medições de parâmetro ambientais, a escolha do estimador mais apropriado não é trivial. Um mesmo estimador pode ser apropriado para certas avaliações e não ser para outras. Esse fato indica a necessidade de maiores estudos, que possibilitem a determinação de estimadores mais realistas para cada tipo de grandeza. Os quais sejam corretamente representativos das fontes relativas às séries temporais desses parâmetros.

## Referencias Bibliográficas

- GUM (2008). “Guia para Avaliação e Expressão da Incerteza de Medição” - Terceira Edição Brasileira – INMETRO.
- M. Segal e R. A. Pielke (1988). “The Extrapolation of Vertical Profiles of Wind Speed within the Marine Atmospheric Surface Layer Using the p Formula”. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 27, pg 174-181, February 1988.
- NDBC (2018). “Adjust C-MAN and buoy wind speed observations to a standard height”. <[http://www.ndbc.noaa.gov/adjust\\_wind.shtml](http://www.ndbc.noaa.gov/adjust_wind.shtml)>.
- S. A. HSU et al (1994). “Determining the Power-Law Wind-Profile Exponent under Near-Neutral Stability Conditions at Sea” *Journal of Applied Meteorology*, vol. 33, pg 757-765, June 1994.
- WXT520 User Guide (2012). “Vaisala Weather Transmitter”. <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/M210906EN-C.pdf>>.



## EFEITO DE ESCALA NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE QUEDA DE SEDIMENTOS GRANULARES

Camila Castro, Caren Camila de Christo Morais, Eduardo Puhl e Ana Luiza de Oliveira Borges

Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil  
[camila.castro@ufrgs.br](mailto:camila.castro@ufrgs.br), [carenmorais@gmail.com](mailto:carenmorais@gmail.com), [eduardo.puhl@ufrgs.br](mailto:eduardo.puhl@ufrgs.br), [ana.borges@ufrgs.br](mailto:ana.borges@ufrgs.br)

### Introdução

Os dados de velocidade de queda de sedimentos são de primeira importância na concepção e construção de modelos reduzidos e na definição dos materiais que irão simular o fenômeno. Um exemplo dessa aplicação ocorre no Núcleo de Estudos de Corrente de Densidade (NECOD), que simula em diferentes tanques correntes de turbidez, utilizando a velocidade de queda como elemento para a fazer a semelhança entre o fenômeno hidráulico e a natureza.

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo determinar a existência ou não de efeito de escala na determinação da velocidade de queda de sedimentos granulares com o uso de um equipamento específico, o Tubo de Griffith, em dois diferentes tamanhos.

### Materiais e Métodos

Os ensaios foram realizados com areia de granulometria extensa com massa específica de  $2624 \text{ kg/m}^3$  e uma areia selecionada com massa específica de  $2600 \text{ kg/m}^3$ . A curva granulométrica dos sedimentos pode ser vista na Figura 1.

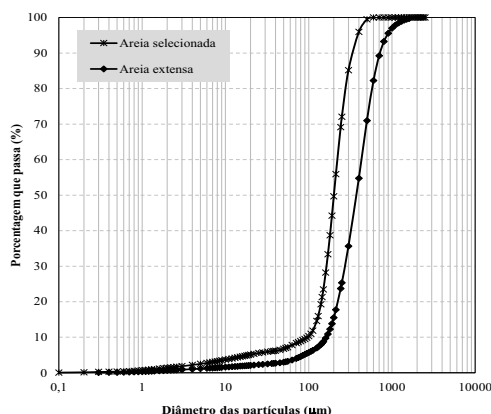


Figura 1.- Curva granulométrica da areia selecionada e areia extensa

Diferentes quantidades de amostra foram utilizadas para a realização dos ensaios (80g e 20g) a fim de avaliar o efeito da população de grãos durante a queda.

O Tubo de Griffith (Figura 2) se caracteriza por três componentes básicos: um dispositivo superior, onde é colocada a amostra de sedimento (Figura 2A); um intermediário, onde há o tubo de decantação (Figura 2B); e o inferior, onde há uma bandeja giratória (Figura 2D) para a coleta de amostras. A fim de avaliar o efeito das paredes na decantação das partículas, Tubos de diferentes diâmetros internos foram utilizados: 290 mm e 65 mm. Porém, ambos equipamentos possuem tubos de decantação com 2000 mm de comprimento. O sistema de coleta de amostras consiste em uma plataforma giratória na forma de uma bandeja, com 120 cm de diâmetro interno para o Tubo maior e 70 cm de diâmetro interno para o Tubo menor. Dentro da bandeja existem respectivamente, 9 e 19 pontos de recepção das amostras (Figura 2C), para o Tubo maior e menor. O método baseia-se na manutenção de uma coluna

de água, que recebe uma amostra de sedimento a avaliar. A partir do tempo que cada bandeja (Figura 2E) recebe os sedimentos, obtêm-se a velocidade de queda das partículas. As amostras coletadas são caracterizadas através uso de um analisador de partículas por difração à laser (marca CILAS -  $0,04 \mu\text{m}$  a  $2000 \mu\text{m}$ ).

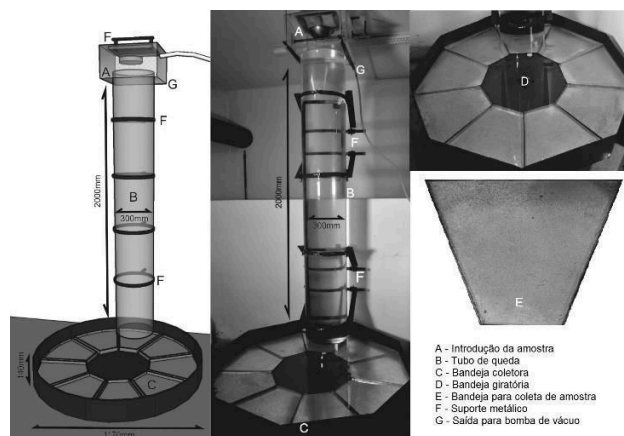


Figura 2.- Tubo de Griffith

### Avaliação de Resultados

O gráfico da Figura 3, apresenta a variação da velocidade de queda (mm/s) em função do  $D_{50}$  ( $\mu\text{m}$ ) de 5 amostras de areia: duas amostras com granulometria selecionada realizadas no siltômetro pequeno com 20g e 80g, e 3 amostras com granulometria extensa, sendo duas realizadas no grande (20g e 80g) e uma no pequeno (20g). Foram realizadas análises granulométricas para cada fração retida nas bandejas para caracterizar mais precisamente o material. (Figura 4).

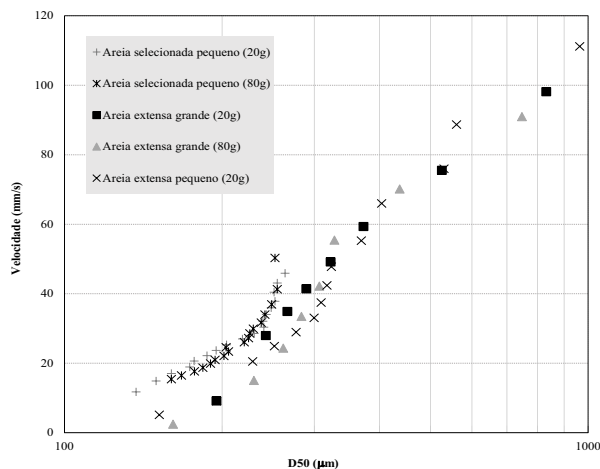


Figura 3.- Velocidade de queda (mm/s) x  $D_{50}$  ( $\mu\text{m}$ ) de areia selecionada e areia extensa

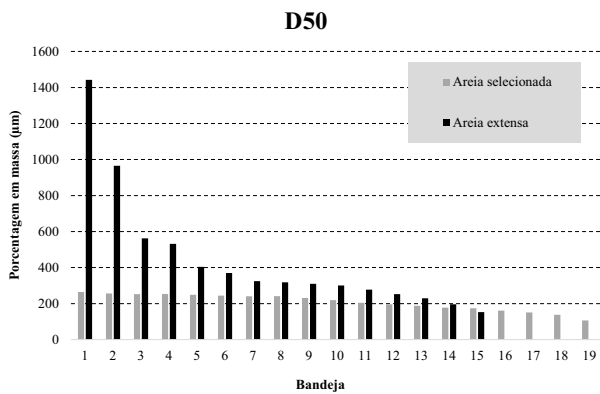


Figura 4.- Porcentagem de massa retida em casa bandeja (ensaio realizado no siltômetro pequeno com 20g)

Observa-se no gráfico da Figura 3 que as areias selecionadas apresentam maiores velocidades que as areias extensas para a mesma faixa granulométrica (~150µm a 270µm). Isso ocorre porque as areias selecionadas caem juntas e se chocam menos.

Mesmo variando a quantidade de 20g para 80g no siltômetro pequeno, não se observou uma grande variação de velocidade das amostras mostrando que não ocorreu um efeito de população que possivelmente diminuiria a velocidade de queda da amostra com 80g.

Os ensaios realizado com areia extensa na quantidade de 20g nos dois tipos de siltômetros (pequeno e grande), pode ser visto na Figura 5. Observa-se em uma região (~250µm a 320µm) uma diferença de velocidade de 10mm/s. Acredita-se que com uma maior discretização dessa região a diferença de velocidade diminua.

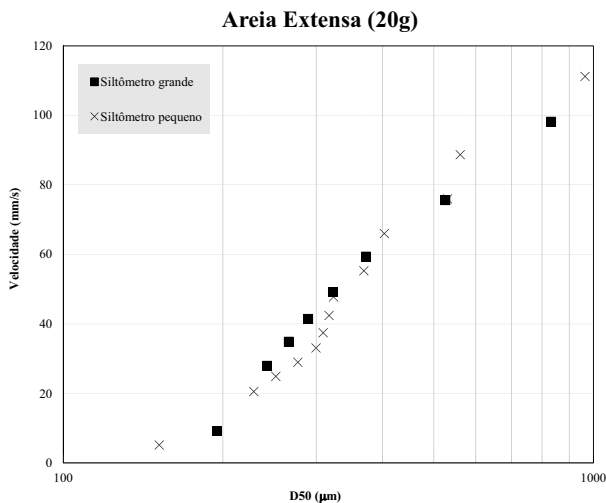


Figura 5.- Velocidade de queda (mm/s) x D50 (µm) da areia extensa

No gráfico de barra da Figura 6 pode ser visto a porcentagem de areia extensa em cada bandeja. Pode-se notar que para a população de amostras de 20g e 80g usadas no siltômetro grande, as massas coletadas não foram bem distribuídas, ou seja, tiveram porcentagens em massa significativas de material concentradas em apenas algumas bandejas. Isso nos indica que a bandeja deve ser girada com uma velocidade maior no início do ensaio para a amostra de 20g e uma velocidade menor no ensaio da amostra de 80g.

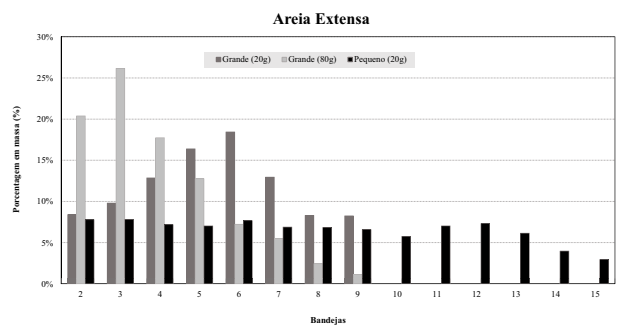


Figura 6.- Porcentagem em massa de areia extensa (%) em cada bandeja receptora da amostra

Nota-se que, com o siltômetro grande, em função da porcentagem de material lançado (20g ou 80g), a porcentagem de material retido na bandeja e o seu diâmetro característico são distintos e inconstantes (Figura 7).

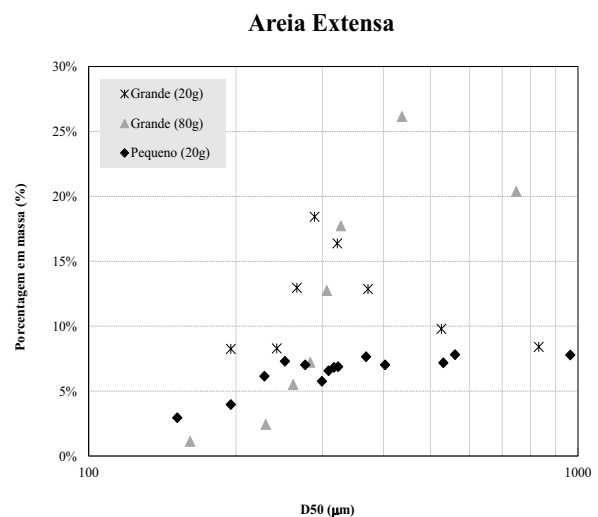


Figura 7.- Porcentagem em massa de material (%) x D50 (µm) de areia extensa

### Aplicações e Conclusões

Com este trabalho, pode-se concluir que quando o material é mais selecionado, não há diferença significativa entre a velocidade de queda para o mesmo equipamento (siltômetro pequeno) variando-se a quantidade de material ensaiado (20g ou 80g) (Figura 3).

Como foi observado na Figura 5, há pouca diferença de comportamento das duas amostras de areia extensa (20g) ensaiadas em equipamentos com diâmetros diferentes, sugerindo que não há efeito de escala na determinação da velocidade de queda. Contudo, mais ensaios precisam ser realizados, com areia e outros materiais sedimentares, para observar a repetição ou não desse padrão de comportamento.

Quanto a metodologia, deve-se ter cuidado com a quantidade de material depositado em cada bandeja (Figura 4 e 6) de forma que uma porcentagem de massa semelhantes esteja em cada um dos conjuntos de bandeja, de forma que a velocidade de queda seja melhor caracterizada.

## DINÁMICA DEL FRENTE SALINO Y DEL ÁREA DE MÁXIMA TURBIDEZ EN EL ESTUARIO DEL RÍO QUEQUÉN GRANDE

Beatriz M. Marino y Luis P. Thomas

GFGA, CIFICEN, CONICET-Universidad Nacional del Centro Provincia Buenos Aires, Tandil, Argentina  
{bmarino,lthomas}@exa.unicen.edu.ar

### Introducción

En los estuarios de cuña salina, la posición instantánea del frente de la intrusión es determinada por el balance entre el gradiente de presión baroclínico debido a la diferencia longitudinal de densidad y la fuerza retardadora inducida por la descarga del río y moderada mediante un tirante oscilatorio. Bajo estas condiciones, se desarrolla una interfase que separa una capa superior de agua salobre de la intrusión salina cuyo espesor es determinado por la competencia entre el esfuerzo de corte en la interfase y la estratificación. La interacción de cantidades variables de agua dulce y marina influye en el transporte y deposición del material particulado en suspensión (MPS) afectando la morfología estuarial y calidad del agua.

Por su parte, el mezclado causa una extensiva transformación bio-físico-química de los componentes disueltos y particulados entregados por la descarga fluvial, por lo cual los estuarios actúan como filtros que selectivamente remueven algunos componentes del agua dulce mientras permite que otros fluyan hacia el mar. Estas transformaciones afectan el ciclo del carbono y los nutrientes e influyen en la distribución y el destino de los contaminantes. Las partículas orgánicas e inorgánicas en suspensión son proporcionadas por el río al estuario como partículas individuales. Cuando se mezclan con el agua salada, se produce un aumento de la salinidad unas pocas partes por mil, e interactúan unas con otras (por coagulación electro-mecánica o floculación) formando flóculos que se hunden más rápido que los componentes individuales. La combinación de la deposición inicial de los flóculos grandes en la cabeza de la intrusión salina y el transporte hacia el mar de aquellos removidos de la capa superficial, conduciría a la acumulación de MPS en el área de máxima turbidez estuarial (MTE).

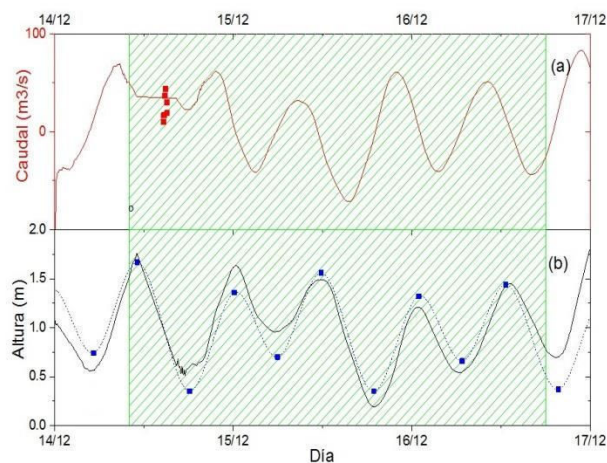
Luego, determinar la importancia relativa del mezclado vertical y la estratificación es vital para caracterizar el comportamiento del MPS en el área MTE controlada por mecanismos físicos de macro- y micro-escala que incluyen re-suspensión, efectos de retardo en la decantación/socavación, estratificación, reducción de la turbulencia, resistencia a la descarga fluvial, efectos baroclínicos, mezclado mareal asimétrico, etc. En este contexto, reportamos las mediciones de velocidad, concentración y salinidad del MPS realizadas en la zona frontal de la intrusión marina durante varios ciclos mareales con el objetivo de describir la dinámica de los frentes salino y de turbidez en el estuario del río Quequén Grande (ERQG). La información obtenida permitirá el análisis de los mecanismos físicos subyacentes al mezclado de las aguas y sus efectos sobre la distribución y el transporte del MPS hacia la desembocadura.

### Metodología

Se realizaron mediciones del nivel de retrodispersión sonora (*backscatter*) con un perfilador acústico Doppler (ADCP) *Rio Grande* (Teldyne, RD Instruments, USA) que opera a 1200 kHz en un sitio fijo a 8.5 km de la desembocadura del río Quequén Grande (extremo externo de la escollera norte) donde el cauce presenta entre 60 (en marea baja) y 75 (en marea alta) m de ancho, durante 48 h ininterrumpidamente entre el 14 y 16 de diciembre de 2018. Puesto que el ADCP se instaló sobre una boya en la parte central del cauce, los registros cubrieron los

casi 3.8 m de profundidad del río. Los datos se enviaron vía enlace de radio frecuencia a través de un tranceptor de comunicación AD500A provisto por CTM Electrónica (Buenos Aires) al receptor ubicado en tierra a 230 m de distancia. Los registros de *backscatter* se convirtieron en concentración de MPS siguiendo la metodología descrita por Thomas et al. (2017a). También se obtuvieron perfiles horarios de salinidad con la sonda *Horiba U52* durante el tiempo en las que la luz solar lo permitió. Muestras de agua fueron colectadas a diferentes niveles de profundidad para verificar in situ la presencia de flóculos suspendidos con un microscopio óptico.

Inicialmente se realizaron transectas longitudinales para determinar el alcance de la intrusión salina, y transversales para cuantificar el caudal y determinar la forma del lecho en el sitio de medición. Combinando los métodos de cálculo de caudal propuestos por Thomas y Marino (2016) y Thomas et al. (2017b), se determinó que en el sitio de medición el mismo es ~0.38 del caudal registrado en el puerto. Los resultados se muestran en la Fig. 1(a) y coinciden razonablemente con las mediciones realizadas in situ. La Fig. 1(b) muestra la evolución del nivel del agua con respecto a la altura referida al plano de reducción a 0.98 m debajo del nivel medio histórico medida por el mareógrafo del Consorcio de Puerto Quequén en la zona portuaria durante el periodo de medición, que prácticamente coincide con la evolución del mismo en el sitio de medición.

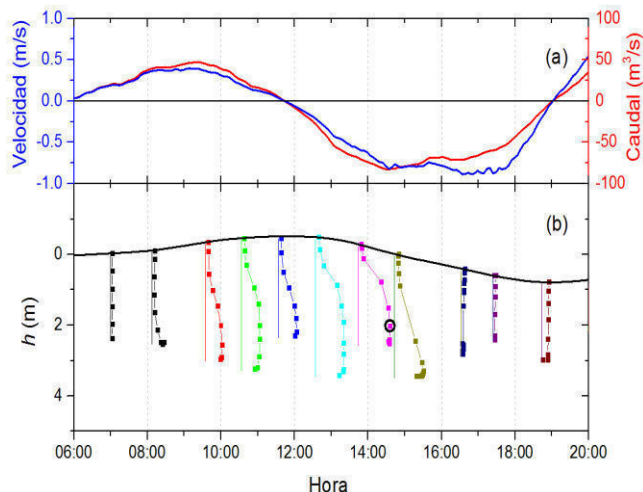


**Figura 1.**— (a) Evolución del caudal teórico en el sitio de medición (línea) y mediciones in-situ (puntos). (b) Evolución del nivel del agua en la zona portuaria registrada por el mareógrafo (línea de trazo continuo) con respecto al nivel de referencia. Los puntos representan los máximos y mínimos pronosticados por el Servicio de Hidrología Naval. La zona sombreada corresponde al periodo de medición.

### Resultados

La Fig. 2(a) muestra la evolución del caudal durante dos ciclos mareales completos junto con la velocidad promedio del agua. Esta última se obtiene a partir del caudal y el área de la correspondiente sección transversal efectiva la cual cambia con el nivel mareal. Las diferencias más importantes entre las curvas de caudal y velocidad promedio se observan cuando los niveles de altura son mínimos puesto que la sección transversal efectiva se reduce en estos casos. La aparición, avance, retroceso y

desaparición del frente de intrusión salina en el lugar de medición son inferidos a partir del análisis de los perfiles de salinidad mostrados en la Fig. 2(b). Estos no presentan cambios bruscos a una dada profundidad intermedia, sino que el máximo de salinidad aumenta suavemente con la profundidad indicando el mezclado paulatino entre las aguas salada y dulce. El máximo absoluto de salinidad (17.6 ppt) se obtiene a la 13:45 h a 2.3 m de profundidad (círculo negro). A partir de este momento, la forma del perfil cambia y la salinidad máxima disminuye en concordancia con los mínimos de velocidad (reflujo). Finalmente, después de la 16:00 h se detecta sólo agua de río en toda la columna de agua y un nuevo ciclo comienza.



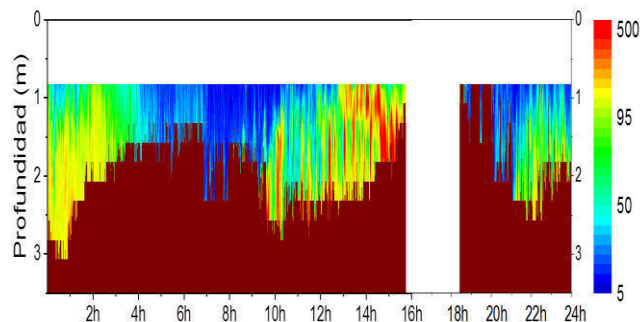
**Figura 2.**– (a) Velocidad promedio y caudal en el sitio de medición durante el 15 de diciembre. (b) Perfiles de salinidad. Las líneas verticales representan perfiles de salinidad nula. La línea negra representa la evolución del nivel del agua.

La Fig. 3 muestra la distribución espacio-temporal de la concentración de MPS obtenida a partir de los registros de *backscatter* del ADCP para los mismos dos ciclos mareales completos de la Fig. 2. Los tiempos en los que se registran la marea alta (0:24 h y 11:45 h) y la marea baja (5:50 h y 18:54 h) en Fig. 2 se corresponden con las mayores y menores profundidades del lecho, respectivamente. Al comienzo del día se observa una apreciable concentración de MPS especialmente en profundidad, la que se reduce a 2–4  $\mu\text{l/l}$  típico del agua de río (Marino et al., 2016; Thomas et al., 2017a) a partir de la 4:00 h. A partir de la 9:30 h se registra primero un aumento repentino de la concentración de MPS para  $h > 1.5\text{m}$  (donde la salinidad es mayor), para luego encontrarse toda la columna de agua conteniendo una gran concentración de MPS, la que aumenta a medida que el flujo se desarrolla, en correspondencia con los primeros perfiles de salinidad significativos.

## Análisis

En la zona frontal de la intrusión marina se encuentra el área MTE donde se tiene una alta concentración de partículas suspendidas individuales, agregadas y/o floculadas de tamaño significativo para ser detectadas por el ADCP. Dado que las velocidades de avance y retroceso del frente salino son mucho menores que la velocidad media del río (la cual, de por sí es relativamente baja), se descarta la puesta en suspensión del material inorgánico de fondo (arenas) por el movimiento de la intrusión marina. Por lo tanto, las altas concentraciones detectadas corresponden a agregaciones y/o flóculos formados por partículas orgánicas e inorgánicas acarreadas por el río que interactúan con el agua de mar. El análisis de las muestras de agua confirma la predominancia de material floculado sobre las

partículas individuales. Los flóculos son transportados hacia el mar en la capa superficial de agua salobre donde interactúan con el material en suspensión para formar las agregaciones de mayor tamaño que son encontradas en la zona portuaria. La particular batimetría del estuario facilita la deposición de los flóculos en esta zona profunda, dificultando el transporte de las partículas más grandes aguas-arriba y evitando su incorporación al frente de turbidez.



**Figura 3.**– Distribución de la concentración de MPS. La escala logarítmica usada, en unidades de  $\mu\text{l/l}$ , se muestra en falso color a la derecha. Entre la 16:00 y 18:00 h no se registraron datos por una falla en la transmisión.

## Conclusiones

El monitoreo del frente de la intrusión de agua de mar constituye información esencial para comprender los mecanismos subyacentes asociados con el transporte del MPS, la evolución del área de MTE y la estratificación estuarial. Con el fin de aportar conocimiento a estos tópicos, se reportan aquí por primera vez la evolución de los perfiles de salinidad y concentración de MPS realizadas en un sitio fijo durante dos ciclos mareales completos en el ERQG. Los resultados permiten describir la dinámica de la intrusión salina acorde a la variación del nivel de agua debida a la marea y determinar la importancia de la zona de MTE en los procesos erosivos-sedimentarios que podrían tener lugar en la zona estudiada. No obstante, estudios complementarios son necesarios para determinar la cantidad y composición de MPS que es entregado por el río y arrastrado aguas-abajo en la intrusión marina y la capa superficial, cuánto de este material es regresado al río por el flujo residual en las cercanías del lecho, y la intensidad de los procesos de agregación/floculación y deposición/recirculación de las partículas en el seno del área de MTE.

## Referencias

- Marino B.M., Thomas L.P., Szupiany R.N., Pereyra M.G. y Gallo M.N. (2016). “Caracterización de los elementos suspendidos en un estuario estratificado usando un difractómetro LISST-25X”. *Proceedings of the XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Thomas L.P. y Marino B.M. (2016). “Estimating the unsteady flow rate in an estuary following the evolution of the water depth in fixed points”. *RibAgua*, Vol. 3, pp. 8-17.
- Thomas L.P., Marino B.M., Szupiany R.N. y Gallo M.N. (2017a). “Characterisation of the suspended particulate matter in an estuarine environment employing complementary techniques”. *Continental Shelf Research*, Vol. 148, pp. 37-43.
- Thomas L.P., Marino B.M. y Gutiérrez M.A. (2017b) “Un método de cálculo del caudal en diferentes sitios de un estuario con onda de marea estacionaria”. *Proceedings of the V MEH*, Buenos Aires, Argentina.



## DINÁMICA DE LA SEDIMENTACIÓN EN PUERTO QUEQUÉN

Luis P. Thomas y Beatriz M. Marino

GFGA, CIFICEN, CONICET-Universidad Nacional del Centro Provincia Buenos Aires, Tandil, Argentina  
{lthomas,bmarino}@exa.unicen.edu.ar

### Introducción

Puerto Quequén, emplazado en los últimos 2 km del estuario del río Quequén Grande (ERQG), es el segundo puerto de aguas profundas más importante de Argentina. Cuenta con una variada oferta de servicios, instalaciones e infraestructura para la carga y descarga de mercancías, principalmente de cereales, encontrándose en permanente expansión. Su desarrollo centenario ha modificado la morfología original debido a la construcción de obras ingenieriles y a los continuos procesos de dragado y control de la sedimentación y deriva litoral. El lecho portuario es llano y con profundidades de hasta 14 m, lo cual contrasta con los tramos superior y medio del estuario que presentan un relieve muy irregular y profundidades de entre 2 y 5 m. Como consecuencia se estableció un escalón o salto abrupto de profundidad en la cabeza del puerto, induciendo flujos de comportamientos disímiles corriente-arriba y corriente-abajo del mismo. El ERQG es micro-mareal y de planicie costera; el régimen de marea es mixto con predominancia semi-diurna y una amplitud de marea astronómica media de 1.03 m y máxima de 1.85 m.

En el sector que se encuentra corriente-arriba del escalón, y especialmente durante el reflujos, se presenta una variación de velocidad desde el fondo hacia la superficie donde se alcanza el valor máximo. El material particulado en suspensión (MPS) acarreado por el río, más la materia orgánica incorporada localmente y el agua de mar, proporcionan las condiciones propicias para la floculación. Las distribuciones de concentración muestran la presencia de sólidos suspendidos de tamaño bastante mayor al del sedimento de fondo en cantidad notoria en la capa superficial que son transportadas hasta la zona portuaria durante el reflujos. Cuando el flujo de agua se detiene con la estoa de bajamar, también finaliza el transporte del MPS. Durante la estoa de bajamar, la capa superficial cargada de materia particulada sigue siendo detectada a lo largo de la zona portuaria mientras las partículas decantan hacia el fondo. Cuando comienza el flujo, la mayor parte de los flóculos ya decantó por lo que el transporte de MPS hacia aguas-arriba del escalón resulta escaso. De aquí, la marcada tendencia del MPS que llega a la zona portuaria a concentrarse sobre el lecho (de la margen SO preferentemente) en cercanías del escalón, tendiendo a rellenar el espacio creado artificialmente por dragado. (Huck, 2017)

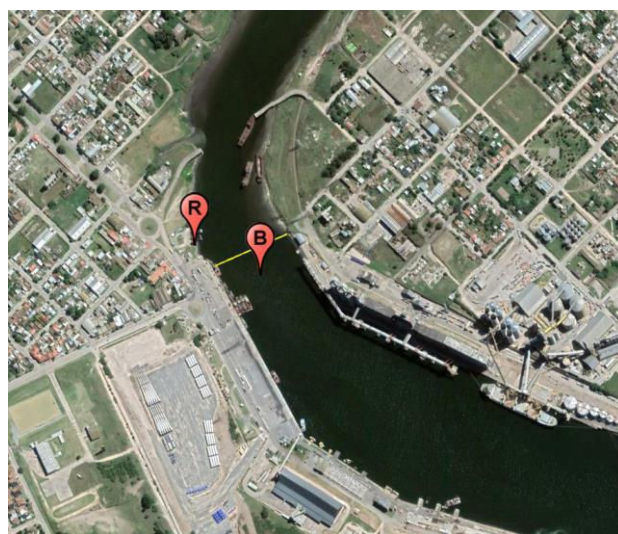
La particular batimetría estuarial y la variabilidad espacio-temporal de las propiedades de los flóculos suspendidos y de los flujos presentes generan interesantes desafíos experimentales para describir plenamente la dinámica de la sedimentación selectiva encontrada en el sector costero del estuario. A diferencia de lo que ocurre en el sector poco profundo, en el tramo portuario se encuentran concentraciones elevadas y variaciones de la distribución de partículas en tiempos del orden del de medición, lo cual complica la cuantificación de la atenuación del sonido debida a los elementos suspendidos dificultando así las mediciones. Thomas et al. (2017) reportaron una metodología basada en los registros simultáneos de dos ADCPs de 1200 y 600 kHz que resultó útil para determinar las distribuciones de concentración y tamaño del MPS en las condiciones prevalecientes en los sectores superior y medio. El problema impuesto por las condiciones hidrodinámicas en el sector inferior fue resuelto por Thomas et al. (2018) al

considerar una más efectiva forma de calcular la atenuación del sonido en la aplicación del "método de los dos ADCPs".

Luego, las mediciones efectuadas durante los estudios de campo que sustentan la descripción precedente (Thomas et al., 2017, 2018) evidencian una sedimentación masiva en la zona portuaria de los flóculos arrastrados por el río en su capa superficial y los recién formados en la misma. Para confirmar estas afirmaciones sobre la dinámica hidro-sedimentológica en la zona portuaria del ERQG, y demostrar que no se trata de eventos fortuitos y/o aleatorios, se propuso obtener la evolución de los perfiles de concentración del MPS en puntos fijos de la zona portuaria durante ciclos mareales completos y en diferentes épocas del año. Debido a las dificultades presentadas en la realización de este tipo de estudio de campo, las mediciones fueron segmentadas. En este trabajo se presentan los primeros resultados del proyecto.

### Metodología

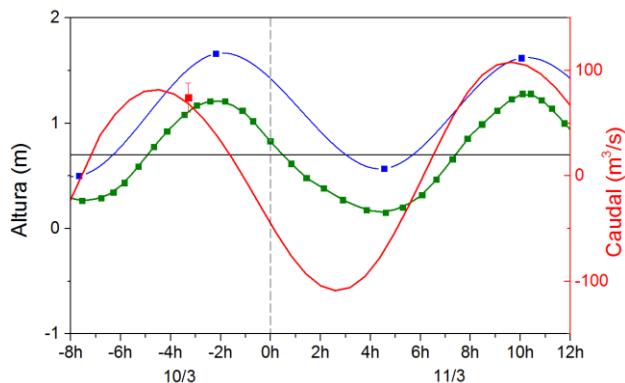
Se realizaron mediciones del nivel de retrodispersión sonora (*backscatter*) con un perfilador acústico Doppler (ADCP) *Rio Grande* (Teldyne, RD Instruments, USA) que opera a 1200 kHz en un sitio fijo en la zona portuaria del ERQG (Fig. 1), durante un ciclo mareal completo entre el 10 y 11 de marzo de 2019. El ADCP se instaló sobre una boya a ~1.9 km de la desembocadura (extremo externo de la escollera norte) y a 40 m del escalón de profundidad donde el cauce presenta 340 m de ancho. Los datos se enviaron vía enlace de radio frecuencia a través de un tranceptor de comunicación AD500A provisto por CTM Electrónica (Buenos Aires) al receptor ubicado en tierra a 150 m de distancia. Los registros de *backscatter* se convirtieron en concentración de MPS siguiendo la metodología descrita por Thomas et al. (2017).



**Figura 1.**— Ubicaciones del sitio de medición (B) y del receptor (R) en Puerto Quequén. La línea amarilla indica la posición del salto de profundidad.

Inicialmente se realizaron tres transectas longitudinales para determinar la posición del salto de profundidad perpendicular a las márgenes. A partir de transectas transversales se calculó el

caudal en el sitio de medición ( $74.3 \pm 13.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ; punto rojo en Fig. 2), y calibró el modelo teórico reportado por Thomas y Marino (2016) cuyos resultados se muestran en la Fig. 2 (línea roja). La evolución del nivel del agua con respecto a la altura referida al plano de reducción a 0.98 m debajo del nivel medio histórico se obtuvo de los registros del mareógrafo del Consorcio de Gestión de Puerto Quequén y también se muestra en Fig. 2.

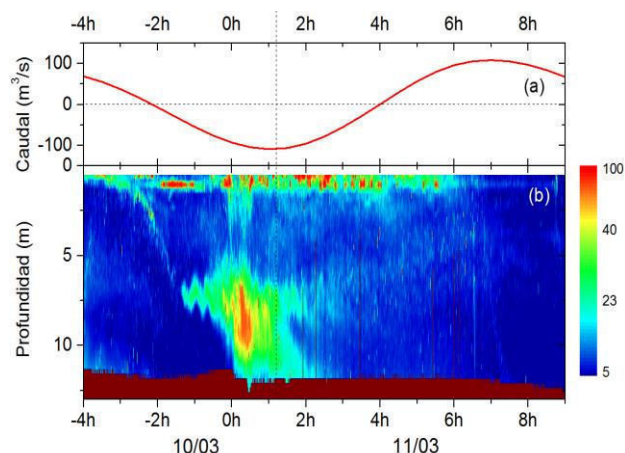


**Figura 2.**— Evolución del nivel del agua en el sitio de medición registrado por el mareógrafo (puntos verdes), su valor medio durante el intervalo de interés (línea negra), y máximos y mínimos pronosticados por el Servicio de Hidrografía Naval (puntos azules). La línea roja representa la evolución del caudal.

## Resultados

La Fig. 3(b) muestra la distribución espacio-temporal de la concentración de MPS obtenida durante un ciclo de marea completo (~12.5 h) junto con la evolución del caudal (Fig. 3a) para facilitar el análisis. El flujo mareal se detiene a las 22:00 h del 10 de marzo (-2h en la figura); a partir de este momento en el que el caudal comienza a presentar valores negativos se inicia el reflujó y detecta una capa de aproximadamente 1.5 m de espesor con alta concentración de MPS. La concentración de las partículas disminuye paulatinamente hasta las 6:00h, es decir hasta 2 horas después de producirse el mínimo nivel mareal. Se infiere que, a partir de este momento, el flujo entrante de agua de mar sin carga de sedimentos desplaza la capa superficial hacia la parte menos profunda del estuario.

Es interesante notar la considerable concentración de MPS por



**Figura 3.**— (a) Evolución del caudal (línea roja). (b) Evolución de la concentración de partículas suspendidas en la columna de agua en el sitio de medición. A la derecha se muestra en falso color la escala logarítmica en unidades de  $\mu\text{l/l}$ .

debajo de los 5 m de profundidad detectada entre las 0:00 y 0:30 h del 11 de marzo. Esto indica la ocurrencia de una decantación masiva del MPS principalmente 1 hora antes de alcanzarse el caudal máximo en la fase de reflujó. A partir de entonces la concentración disminuye en profundidad; esta etapa finaliza luego de las 2:00 h. Durante el resto del ciclo mareal no se detectan concentraciones significativas en profundidad.

## Análisis y Conclusiones

Los resultados indican que: (a) el MPS es transportado en una capa superficial de agua salobre de aproximadamente 1.5 m de espesor durante el reflujó, (b) la decantación masiva de este material ocurre durante lapsos de tiempo próximos al máximo del reflujó mareal en la zona portuaria, y (c) el desplazamiento de la capa superficial con la carga de lavado desde la zona portuaria hacia la parte menos profunda del estuario ocurre durante la fase del flujo.

Mientras el resultado expresado en (a) ya fue reportado en diferentes oportunidades, lo indicado en (b) fue descrito únicamente por Thomas et al. (2018) luego de haber mejorado la técnica acústica de medición de concentración y tamaño de las partículas suspendidas en el sector portuario. Por su parte la situación (c) contradice los resultados de la simulación numérica del transporte de sedimentos encontrados por Cardozo et al. (2015) según los cuales no existen dos capas de diferente salinidad en la zona portuaria durante el flujo. Tampoco la distribución de la concentración de partículas durante la fase de flujo mareal es acertada. Dicho de otro modo, los procesos hidro-dinámicos e hidro-sedimentológicos presentes en el ERQG parecen necesitar mejores y más complejas simulaciones numéricas que las encaradas hasta ahora.

La descripción presentada complementa los resultados previamente obtenidos aplicando el método de los dos-ADCPs y pone de relieve las consecuencias de las modificaciones del lecho del estuario sobre el comportamiento de los sedimentos y flujos presentes. Los resultados de este estudio exploratorio realizado en Puerto Quequén resultan novedosos y permiten establecer escenarios reales basados en mediciones in-situ que sirven como guía para los experimentos numéricos y cuyas consecuencias se analizarán en futuros trabajos. Además, el experimento de campo reportado mostró las debilidades y ventajas asociadas a la logística de la instalación del ADCP que serán tomadas en consideración en las próximas campañas. De este modo, esperamos contribuir a la mejor comprensión de los mecanismos físicos asociados al transporte, la deposición y la escasa recirculación de los flóculos en el sector portuario.

## Referencias

- Cardozo A.J., Thomas L.P., Portapila M., Marino B.M. y Romagnoli M. (2015). "Hydrodynamic computational modeling of an estuary affected by human intervention". E-proceedings of 36<sup>th</sup> IAHR World Congress, The Hague, The Netherlands.
- Huck G. (2017). "Transporte de material particulado suspendido y floculación en el estuario del río Quequén Grande". Tesis de grado. Lic. Tecnología Ambiental, FCE-UNCPBA.
- Thomas L.P., Marino B.M., Thomas G.E. (2018). "Perfiles de tamaño de flóculos en ambientes con altas concentración y variabilidad del material suspendido". *Proceedings of the XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Buenos Aires, Argentina.
- Thomas L.P. y Marino B.M. (2016). "Estimating the unsteady flow rate in an estuary following the evolution of the water depth in fixed points". *RibAgua*, Vol. 3, pp. 8-17.
- Thomas L.P., Marino B.M., Szupiany R.N. y Gallo M.N. (2017). "Characterisation of the suspended particulate matter in an estuarine environment employing complementary techniques". *Continental Shelf Research*, Vol. 148, pp. 37-43.

## Determinación de condiciones de floculación en presencia de trazador fluorescente en un reactor

Elián Stürtz<sup>1</sup>, Wolfenson Alex<sup>2</sup>, Lucas Palman<sup>3</sup>, Matias Imhoff<sup>3</sup>, Gabriela Buraschi<sup>4</sup> y Alfredo Trento<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Becario UNL, alumno de grado, Fich-UNL, integrante proyecto CAI+D 2016. [eliansturtz@hotmail.com.ar](mailto:eliansturtz@hotmail.com.ar)

<sup>2</sup>Becario CIN, alumno de grado, Fich-UNL, integrante proyecto CAI+D 2016. [alex\\_wolfenson\\_1@hotmail.com](mailto:alex_wolfenson_1@hotmail.com)

<sup>3</sup>Ayudante de cátedra, integrante proyecto CAI+D 2016. [lucaspalman@gmail.com](mailto:lucaspalman@gmail.com), [mati\\_imhoff@hotmail.com](mailto:mati_imhoff@hotmail.com)

<sup>4</sup>Tesista de doctorado, Coppe-UFRJ (Brasil), integrante proyecto CAI+D 2016. [gvburaschi@gmail.com](mailto:gvburaschi@gmail.com)

<sup>5</sup>co-director del proyecto CAI+D 2016, corresponding autor. [alfredotrento@gmail.com](mailto:alfredotrento@gmail.com)

### Introducción

El transporte de sedimentos suspendidos en cursos de agua es un tema de sumo interés en las disciplinas científicas relacionadas a la hidráulica. En particular los sedimentos finos, por sus propiedades físico-químicas, pueden adsorber diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua, formar agregados y alterar su calidad. La sedimentación de los agregados es más rápida y como pueden poseer metales pesados, bacterias y materia orgánica en general, pueden luego por resuspensión, transformar el lecho en una fuente secundaria de contaminación (Edzwald et al., 1974). Esta problemática ha sido abordada por técnicas que combinan mediciones de campo (hidrodinámicas, batimétricas y sedimentológicas) con simulaciones numéricas en base a ensayos con trazadores. Otro método ampliamente difundido en la comunidad científica es el uso de diversos dispositivos de laboratorio, por ejemplo: jarras de floculación, columnas de sedimentación, canales anulares, floculadores Couette, de disco y reactores (Chapra, 2008). En este trabajo se utilizó un reactor cilíndrico, con paletas giratorias en la parte inferior, especialmente diseñado de acuerdo a los criterios de Nagata (1975).

Se efectuaron experimentos en el reactor para diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales, SST y distintas velocidades angulares,  $\omega$ . En la primera etapa los sedimentos finos se mezclaron únicamente con agua destilada, y en la segunda, se agregó una concentración predeterminada del trazador fluorescente Amidorodamina G. Se empleó un difractorómetro laser para determinar los tamaños de los agregados, una sonda multiparamétrica para determinar turbiedad, concentración del trazador y otras variables. Las SST fueron verificadas en cada ensayo mediante un cuidadoso procedimiento de extracción de muestras y filtrado.

El objetivo fue verificar la posible incidencia del trazador en cuanto a la formación y tamaño de los agregados para cada SST y  $\omega$ .

### Materiales y Métodos

El reactor utilizado para los ensayos (Figura 1) es un tubo cilíndrico de acrílico transparente de 0.40 cm de espesor, 19.5 cm de diámetro (D) y 39.5 cm de altura (H) que se apoya sobre una base de acrílico de 31 cm de diámetro. El movimiento rotacional es generado por una paleta de acero de 10 cm de longitud (d) y 2 cm de alto, la cual se fija al eje del motor mediante un tornillo de ajuste. El motor es trifásico, con una potencia de 0.25HP y regulado por un convertidor compacto de compensación automática, de alimentación monofásica y frecuencia de salida de hasta 400Hz. Esto permite asignar al motor la frecuencia que el usuario requiera. Para relacionar las frecuencias del convertidor compacto y la velocidad angular ( $\omega$ ) de las paletas se utilizó un tacómetro digital.

Para realizar las mediciones se contó con los siguientes instrumentos: equipo LISST-25X (Sequoia, 2009) para medir el tamaño de partículas y Sonda YSI 6600 con sensores de turbiedad y concentración de rodamina (Figura 2).



Figura 1.- Fotografía del reactor utilizado.



Figura 2.- Sonda YSI 6600 arriba y sonda LISST-25X abajo.

Los sedimentos utilizados en los ensayos corresponden a una muestra del río Salado, recolectada en una sección transversal cercana al camping de la ciudad de Esperanza (31.384134° S, 60.890158° O).

Su caracterización granulométrica se realizó con un difractorómetro Malvern Mastersizer 2000 en el Laboratorio de Dinámica de Sedimentos Cohesivos (LDSC) de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ). Los resultados indicaron que la muestra posee un 97% de finos ( $< 62.5 \mu\text{m}$ ) de los cuáles el 85% fueron limos y el 11% arcillas ( $< 2 \mu\text{m}$ ). A su vez el 65% de los limos fueron finos (2 – 20  $\mu\text{m}$ ). La mediana de la distribución granulométrica (Figura 3) fue  $d_{50}=11.6 \mu\text{m}$  y el Diámetro Medio Sauter del total de la muestra:  $\text{SMDt}=4.88 \mu\text{m}$ .

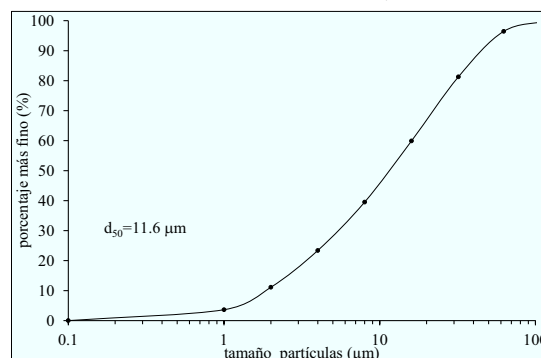


Figura 3: Distribución granulométrica de los sedimentos.



Se prepararon concentraciones de SST dentro del reactor que cubren el rango observado en el río Salado: 50, 100, 150, 300 y 600 mg/L. Con el fin de verificar que las concentraciones de sólidos suspendidos totales observados (SSTo) en las inmediaciones de los sensores fueran representativas de la concentración preparada (SSTp) se tomaron muestras de la mezcla agua-sedimentos dentro del reactor. Las mismas se extrajeron por vacío, mediante un tubo de goma de 0.5 cm de diámetro. La determinación de las concentraciones en laboratorio se realizó por el método de filtrado, según la norma ASTM D-3977-97 (Guo, 2006), utilizando filtros Millipore de 47 mm de diámetro y 0.45µm de poro y balanza analítica.

Los ensayos consistieron en la medición de la turbiedad (T) y SMDt, para variaciones de las diferentes SSTp en el rango ya mencionado y distintas velocidades angulares N= 100, 125, 150, 175 y 200 rpm. En la primera serie los sedimentos finos se mezclaron únicamente con agua destilada, y en la segunda, se agregó una concentración de 20 µg del trazador fluorescente.

## Resultados

En la Figura 4 se graficaron los valores de SSTp vs SSTo para los volúmenes de muestreo de 100, 200 y 500 mL. La línea de trazos a 45° representa SSTp = SSTo. Se puede observar que a medida que aumenta el volumen de muestreo las SSTp se aproximan a las SSTo, de este modo la curva para el volumen de 500 mL es la más próxima a la línea de 45°. Así, los registros de turbiedad obtenidos con la sonda fueron compatibles con las SSTp específicas para cada experimento, poniendo en evidencia la homogeneidad de la mezcla.

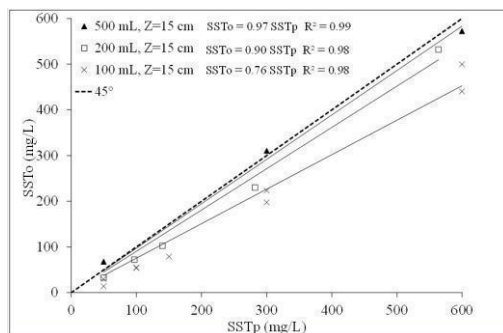


Figura 4: Concentraciones preparadas vs observadas.

Las variaciones de T para distintas SSTp medidas en el reactor con rodamina (línea de trazos) y sin rodamina (línea llena) se presentan en la Figura 5. Se ajustaron funciones lineales para las mediciones correspondientes a N=200 y 100 rpm. Se observa que la presencia de rodamina produce un descenso de la turbiedad para todas las SSTp, lo cual queda en evidencia por las pendientes de las rectas de ajuste. Para N=200 rpm la disminución de la turbiedad es de 45%, para SSTp=50 mg/L y continúa con 24, 11 y 9% para SSTp=150, 300 y 600 mg/L respectivamente. Para N=100 rpm también la rodamina produce una disminución de T, en el intervalo 6%-18%, con un 15% para SSTp=50mg/L.

En la Figura 6 se graficaron los valores de df<sub>50</sub>, para distintas N y distintas SSTp, en ensayos con y sin rodamina. Se advierte que los máximos df<sub>50</sub>≈48 µm se obtienen sin rodamina, para SSTp entre 50 y 100 mg/L y N superiores a 150 rpm, es decir con las mayores tensiones de corte. Para valores mayores a 100 mg/L de SSTp, los df<sub>50</sub> decaen para todo el rango de N hasta df<sub>50</sub>≈25 µm, independientemente de la presencia de rodamina. Puede inferirse que el aumento de tensiones de corte para bajas SSTp (menores que 100 mg/L) aumenta la frecuencia de colisiones entre partículas, de modo tal que el resultado final es la producción de microfloculos de hasta 48 µm y menor turbiedad, producto de la agregación. Mientras que para las SSTp mayores y por consiguiente con una presencia de más partículas de sedimentos,

las mismas tensiones redundan en la formación de microfloculos más pequeños y una mayor turbiedad.

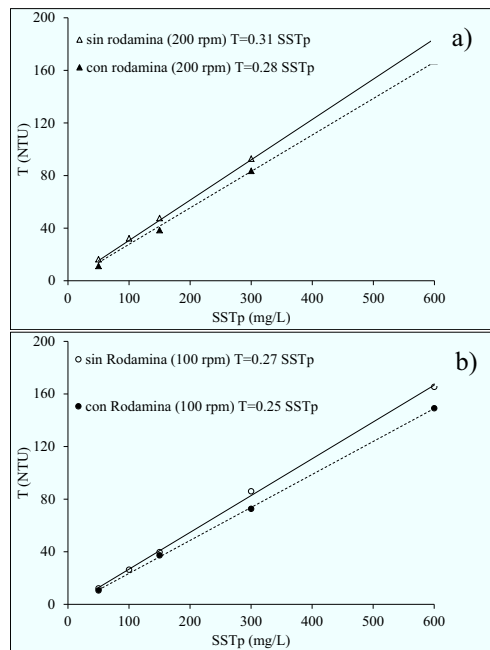


Figura 5: Mediciones de turbiedad, con y sin rodamina, para variaciones de SSTp. a) N=200 rpm. b) N=100 rpm.

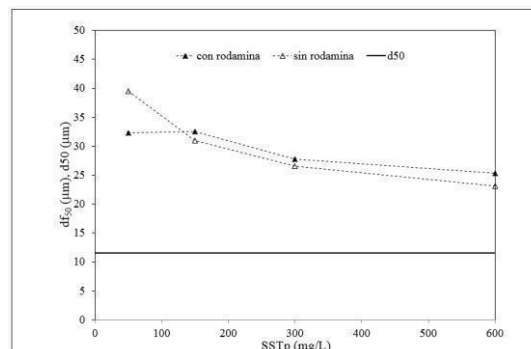


Figura 6: Tamaño de floculos vs concentraciones para distintas SSTp.

## Conclusiones

Se determinó que T aumenta con las SSTp en forma independiente de la presencia del trazador, para cualquier N.

Se produjo floculación para todas las SST y que los diámetros promedio de los agregados fueron distintos para cada SST. La incidencia más importante del trazador fluorescente fue registrada para la concentración más baja de SST, 50 mg/L, y para la mayor tensión de corte, que produjo un diámetro menor de los agregados que con agua destilada solamente.

Se realizaron avances importantes sobre la interacción trazador-sedimentos para diferentes condiciones hidrodinámicas similares a las del río Salado en un ambiente controlado, y se encuentran en etapa desarrollo futuros ensayos que permitirán una comprensión más acabada del fenómeno.

## Referencias Bibliográficas

- Chapra S.C. (1997). *Surface Water-Quality Modelling*. John Wiley and Sons Inc., Iowa, 844 p.
- Edzwald J.K., Upchurch J.B., O'Melia C.R. (1975). *Coagulation in Estuaries*. Environmental Science and Technology, 8, 1, 58-63.
- Nagata S. (1975). *Mixing: principles and applications*. Halsted Press Wiley, Chichester.
- Guo Q. (2006). *Correlation of Total Suspended Solids (TSS) and Suspended Sediment Concentration (SSC) Test Methods*. New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Science, Research and Technology. Contract No. SR05-005.

## MAPPING OF VERTICAL STRATIFICATIONS IN TURBIDITY CURRENTS THROUGH MEDICAL ULTRASOUND IMAGES

Boffo, Carolina<sup>(1)</sup>; Pereira, Lucas<sup>(2)</sup>; Bayer da Silva, Daniel<sup>(3)</sup>; Borges, Ana Luiza<sup>(4)</sup>; Manica, Rafael<sup>(5)</sup>; Von Ahn, Bianca<sup>(6)</sup>; Schwambach, Rodrigo<sup>(7)</sup>; Oliveira, Tiago<sup>(8)</sup>; Paraizo, Paulo<sup>(9)</sup> & Moraes, Marco<sup>(10)</sup>

<sup>(1,2,3,4,5,6,7)</sup> Density currents Research Center (NECOD) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brazil

(carolinahb@gmail.com; freitas.pereira@ufrgs.br; ana.borges@ufrgs.br; rafaelmanica@gmail.com)

<sup>(8,9,10)</sup> Petrobras- Brazil (tiagoagne@petrobras.com.br; paraizo@petrobras.com.br)

### Abstract

A vertical stratification of sedimentary gravity flows was identified through laboratorial recording and analysis of turbidity currents due to the increased sediment concentration near the bottom and gradative dilution towards the mixture layer, caused by ambient water entrainment (incorporation of clean water) along the top of of the current. The application of medical ultrasound allows a clear visualization of the internal structures of the current, highlighting the stratification layers. With the experimental data obtained, it was possible to identify similarities between the different density layers measured by the medical ultrasound, and the velocity and concentration profiles measured during the experiments.

### Introduction

The study of the sedimentary deposits present on the ocean floor has awaken a great interest in the last decades, being the main cause the analogy with exploration and production of petroleum targets around the world (Weimer & Slatt, 2004). A significative part of the research efforts are applied in the understanding of density flows characteristics, highlighting the importance of physical models, and the comprehension of transport and deposition mechanisms (Kneller, 1995). During the last two decades, there has also been progress in monitoring the seafloor, with the purpose of recording the density currents (Xu & Noble, 2009) and mapping the related deposits (Smith *et al.*, 2007).

An alternative for studying and obtaining data on natural phenomena is physical simulation, a robust tool used for many decades to study flows and sediment transport (Yalin, 1971). This work is based on a physical simulation study of density currents, aiming to perform an analysis of images acquired with a medical ultrasound, in order to improve the identification and interpretation of the internal structures and stratifications present in the simulated flows. This analysis aids the interpretation of mechanisms operating during the transport and deposition. It will also be evaluated the possibility of using ultrasound images to obtain quantitative data of turbidity currents.

### Method

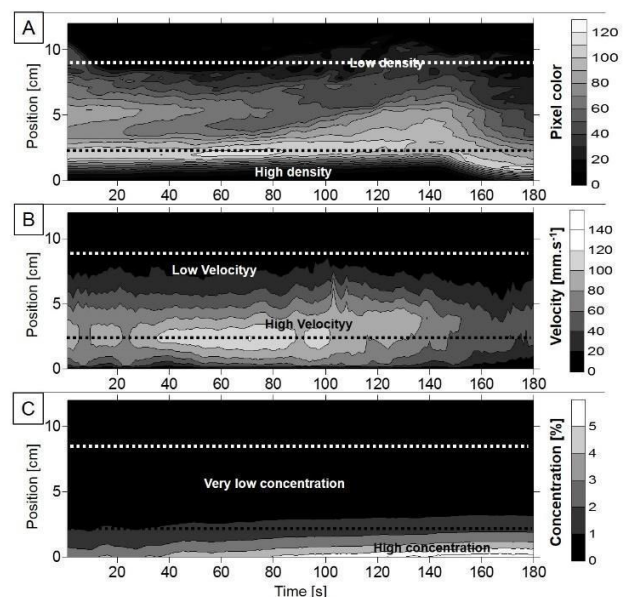
The analytical data were obtained from simulations performed in an experimental flume with 15 x 0.4 x 0.6 m in dimension. The simulated currents had volumetric concentrations ranging from 2 to 37%. The sedimentary material used was mineral coal ( $D_{50} = 55 \mu\text{m}$ ) with mixing volumes between 200 and 400 liters and injection flow rates between 50 and 60 L/min. During the tests, velocity profiles (UVP - Ultrasound Doppler Velocity Profiling - Met-Flow) and concentration profiles (UHCM - Ultrasonic High Concentration Meter - Deltares) were obtained.

The imaging of the currents was produced by a medical ultrasound (Siemens - GM-6600A2A00), positioned at 4.5 m from the injection point, recording the data in a digital video file (30 fps).

The images obtained were processed with Matlab, for pixel color scale identification. Two different models of ultrasound sensors were tested, and the one that was best adapted for use was the linear transducer with 7.5 MHz (model 7.5L40), because it has a better definition and signal penetration, measuring depths up to 12 cm. The medical ultrasound was used to calibrate color scales for the mixtures with different concentrations, adjusting a law for image interpretation through the colors.

### Results

Data from two experiments were selected for discussion. The first, with volumetric concentration of 11%, corresponds to the experiment in which it was observed the emergence of a more pronounced stratification, and data from all sensors could be analyzed. The second, with maximum concentration of 37%, aiming to illustrate the effects of strong stratification, presented limitations by the sensors for exceeding the acquisition range.

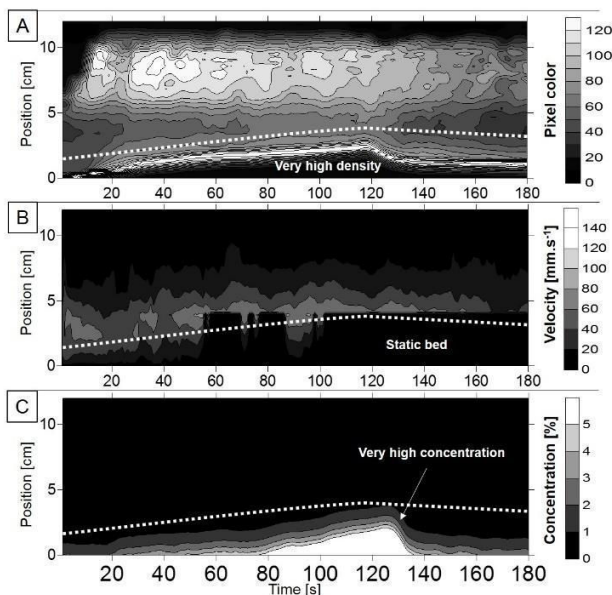


**Figure 1.** Surface map showing variations of (A) gray colors obtained by interpretation of ultrasound images; (B) velocity profile (UVP) and (C) concentration profile (UHCM). The dotted lines were identified in the images of ultrasound interpretation, being the white line the boundary of the mixing layer and the black line the top of the high density layer. (Setup: Flow concentration: 11%; record time: 50s after the front of flow pass by of sensors).

The images obtained by the ultrasound, after processed and analyzed, allowed to establish numerical values for the variations in the gray scale colors. It was identified that the color variations are

geometrically similar to the measured velocity and concentration profiles. The ultrasound images allow a better detailing and observation of internal flow structures (Fig. 1 - A) when compared to velocity (Fig. 1 - B) and concentration (Fig. 1 - C) profiles. The ultrasound images suggest a gradual density increase, *i.e.* stratification between the top of the mixing layer and the base of the simulated currents.

For more concentrated currents ( $C > 19\%$ ), the stratification is more pronounced, but the image interpretation suggests a false inversion of density at the base. The strong stratification, caused by the high concentration close to the bottom, impairs the sharpness of the layers in this region (Fig. 2 - A). A similar problem is also noted for sensors used to measure velocity and concentration. For the velocity profiler, the same zone presents low velocities or recorded errors, due to sediment deposition (Fig. 2 - B). For the concentration sensors, there is a maximum limit that can be measured (around 7% in volume), which produces uncertainty regarding the real value measured during the simulation (Fig. 2 - C).



**Figure 2.** Surface map showing variations of (A) gray colors obtained by interpretation of ultrasound images; (B) velocity profile (UVP) and (C) concentration profile (UHCM). The dotted lines mark the beginning of a zone of uncertainty for the measured data, probably due to the strong stratification of the flow. (Setup: Flow concentration: 11%; record time: 50s after the front of flow pass by of sensors).

## Discussion

Our effort was to test the application of a new tool for the acquisition of qualitative and quantitative data for simulated currents. It was possible to improve the details of more diluted regions, as well as to observe, through recorded videos, mechanisms of sediment transport and deposition. With low concentrations (up to 10% by volume), the basal layer of the currents evolve reaching lower concentrations, and turbulent mechanisms of transport and deposition predominates. Currents formed by concentrated mixtures (above 19%) have mechanisms that resembles mass transport, yet with some particularities, as they are not cohesive, and the deposition is mainly by frictional freezing.

However, the determination of more consistent quantitative data still depends on improvements in the calibration and adjustment of

the algorithm, as better interpretation of the images obtained by the ultrasound will potentially be established. The adjustments this far allowed only the concentration determination for the mixing layer, but suggests that it is possible to expand the method to higher values, through the application of more sophisticated algorithms.

Considering the analyzed data, significant modifications for the transport and deposition mechanisms were identified, as a function of the increased concentration of the injected mixtures. In addition, the volumetric sediment transfer, and the displacement efficiency of these currents, presented a linear growth with the increase of the injected concentration (for flows with concentrations up to 30%). These data are very important because of the deposited volumes that are richer in coarser sediments such as sand fraction, which are the main targets for petroleum exploration and production.

On the other hand, there is an obstacle for simulating high concentration flows and also for measuring them in the natural environments (Xu *et al.*, 2014). The equipment currently available for data acquisition of velocity and concentration in simulation scales, presents limitations in the application for high concentration conditions. The reason is that it ends up decreasing the depth of reach for the acoustic signal, because of the high impedance generated within the flow. The profilers can also cause disturbance in the flow, generating resistance and inducing deposition in their surroundings, burying the sensors, and in turn, they may lose the ability to record data during the experiment.

## Acknowledgements

We thank Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.) for the support in the implementation of this experiment, as well as all the support staff of the NECOD laboratory (Núcleo de Estudos em Correntes de Densidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil) for the assistance provided in the assembly of the experimental apparatus.

## References

- Kneller, B. (1995). "Beyond the turbidite paradigm: physical models for deposition of turbidites and their implications for reservoir prediction". *Characterization of deep marine clastic systems*. A.J. Hartley (Ed). Pp. 31-49, Geological Society London.
- Smith, D., Kvittek, R., Iampietro, P. and Wong, K. (2007). "Twenty-nine months of geomorphic change in upper Monterey Canyon (2002 – 2005)". *Marine Geology*, 236, 79-94.
- Weimer, P. and Slatt, R. (2004). *Petroleum systems of deepwater settings*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, USA, Distinguished Instructor Series, no.7, p.470.
- Xu, J. and Noble, M. (2004). "In-situ measurements of velocity structure within turbidity currents". *Geophysical Research Letter*, 31, L09311.
- Xu, J. and Noble, M. (2009). "Currents in Monterey Submarine Canyon". *Journal of Geophysical Research*, 114, C03004.
- Xu, J., Sequeiros, O. and Noble, M. (2014). "Sediment concentration, flow conditions and downstream evolution of two turbidity currents, Monterey Canyon, USA". *Deep-Sea Research I*, 89, 11-34.
- Yalin, M. (1971). *Theory of hydraulic models*. MacMillan, London, 266 pp.



## CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN SUMERGIDO DE VEGETACIÓN ACUÁTICA ARRAIGADA EN EL SISTEMA FLUVIAL DEL RÍO PARANÁ

<sup>1</sup>Nardi, F., <sup>1,2</sup>Marchetti, Z.Y., <sup>1</sup>Carrasco-Milián A., <sup>1</sup>Alberdi, R., <sup>1</sup>Veizaga E., <sup>1,2</sup>Brunnich, F.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, <sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

franconardi98@gmail.com, zuleicayael@hotmail.com, aylen.carrasco@gmail.com, ramiroalb76@gmail.com, veizaga.e82@gmail.com, federicobn@gmail.com

### Introducción

Gran parte de las márgenes de los cauces secundarios del sistema fluvial del Paraná presentan extensos ensambles de vegetación acuática arraigada usualmente conocidos como “canutillares”, cuya fracción sumergida ejerce modificaciones en la velocidad del agua y los patrones de sedimentación (Ramonell et al., 2011; Budniewski 2016). Si bien se conoce que la fracción aérea de estos canutillares puede ocupar hasta un 60% de la superficie de los cauces e incluso obstruir secciones completas (Marchetti y Ramonell, 2014), el volumen de su fracción sumergida no ha sido evaluado hasta el presente. En este contexto, se iniciaron experiencias destinadas a evaluar la eficacia de una sonda ecógrafa Raytheon de 210 kHz para relevar la superficie envolvente del volumen sumergido de canutillares de *Louisiana elephantipes* (canutillo).

### Objetivos

Los objetivos específicos consistieron en 1- Analizar la sensibilidad de la sonda mencionada respecto de la distancia a la vegetación, 2- Evaluar la precisión del equipo en la generación de superficies envolventes y volúmenes derivados de ellas y 3- Estudiar el efecto de diferentes densidades de vegetación en las lecturas de la sonda y en la superficie envolvente generada a partir de ellas.

### Materiales y métodos

Las experiencias se desarrollaron en un canal de experimentación hidráulica de 9m x 2m x 1,5m (largo, ancho y profundidad, respectivamente) en el cual se instaló un “ensamble de vegetación” construido ad hoc sobre una estructura prismática de PVC (Figura 1). Para la realización de los objetivos 1 y 3, la estructura fue de 0,9m x 0,9m x 0,45m, mientras que para evaluar el objetivo 2 se utilizó una estructura de 1,66m x 0,84m x 0,90m.

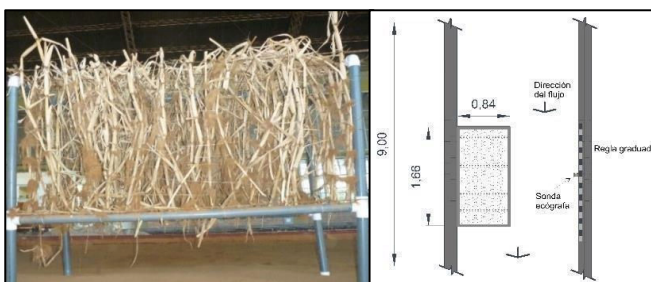


Figura 1.- Ensamble de vegetación de laboratorio (izq) y disposición del ensamble en el canal (der).

Para el objetivo 1 se usaron 150 tallos con raíces y se realizaron lecturas a los 0,58m, 0,88m y 1,18m de profundidad y a cada metro en la progresiva. De esta manera, se efectuaron 6 lecturas perpendiculares al ensamble para cada uno de los puntos de la vertical; 18 lecturas en total.

Para analizar la respuesta de la sonda fuera de la perpendicularidad, en la progresiva más cercana al ensamble se realizaron lecturas en diagonal. Se ubicó la sonda 3,5° hacia la derecha e izquierda, en cada una de las tres posiciones verticales. De esta manera se

realizaron 9 lecturas, 3 en cada dirección. Este mismo esquema de mediciones se repitió con un distanciómetro laser True Pulse 200B luego de vaciar el canal, con el fin de comparar ambas mediciones. Por otro lado, en las lecturas perpendiculares al ensamble, se calculó el error absoluto, como la diferencia de lecturas entre el distanciómetro y la media de la sonda. Además, se correlacionaron las lecturas de los instrumentos en cada progresiva y profundidad. Para los objetivos 2 y 3 se definieron grillas de puntos sobre el frente de cada ensamble, equidistanciadas entre sí por 10cm, sobre las cuales se realizaron lecturas destinadas a medir el ancho del ensamble y construir la superficie envolvente. Los volúmenes detrás de cada envolvente se determinaron a través de la interpolación de las áreas de los planos horizontales y fueron graficados con Octave 4.2.1.

En el objetivo 2, se utilizaron 165 tallos con raíces para la construcción del ensamble y se realizaron lecturas con sonda y distanciómetro. Para verificar la correlación entre los volúmenes calculados con cada equipo se procedió a un análisis entre las áreas de cada plano horizontal de medición.

Por último, para abordar el objetivo 3 se usaron datos de densidad de los ensambles (de tallos y raíces) colectados en campo para el presente trabajo. Se recolectaron 8 muestras representativas de la vegetación en condiciones naturales. Se calculó el volumen de tallos y raíces de cada muestra y, a partir de éste, se obtuvo el porcentaje de ocupación de la vegetación. Este dato se utilizó para construir 3 ensambles con densidades bajas (0,55% de ocupación), medias (1,64%), y altas (2,9%), que representan sus diferentes estados de desarrollo.

### Evaluación de resultados

Se realizó para cada serie de datos un análisis estadístico. En todos los casos, la mediana coincidió con la moda y la media difirió en menos de un 1%. Además, la desviación estándar fue siempre menor a la décima de milímetro. El análisis de frecuencias mostró una clara tendencia a permanecer en su valor más frecuente. y la desviación de la moda varió entre 0-0,03m (Figura 2).

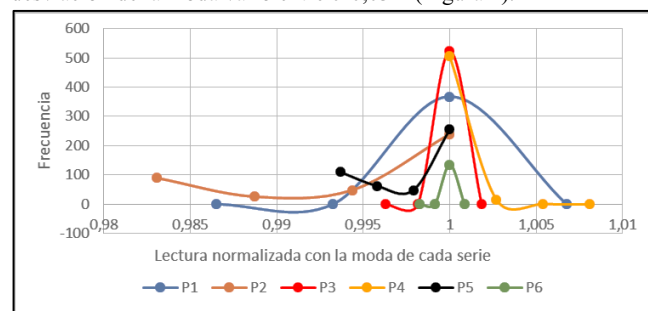


Figura 2.- Curvas de frecuencias para cada progresiva, a los 88cm de profundidad.

En relación a la comparación entre mediciones con distanciómetro y sonda, el error absoluto no superó los 0,33m en ningún caso y se mantuvo relativamente constante. Sin embargo se observa una clara diferencia en la tendencia del error con la profundidad (Figura 3 superior). Si bien todas las pendientes son pequeñas, la curva para

0,88m muestra menor consistencia (mayor coeficiente de error), la cual puede ser debida a la interferencia de la señal acústica. Además, el error relativo aumenta con la cercanía al ensamble (Figura 3 inferior) pero nunca supera el 30%. Este hecho indica que la exactitud de la sonda no es independiente de la distancia al ensamble o la profundidad, sugiriendo una distancia optima de medición entre 4m y 6m.

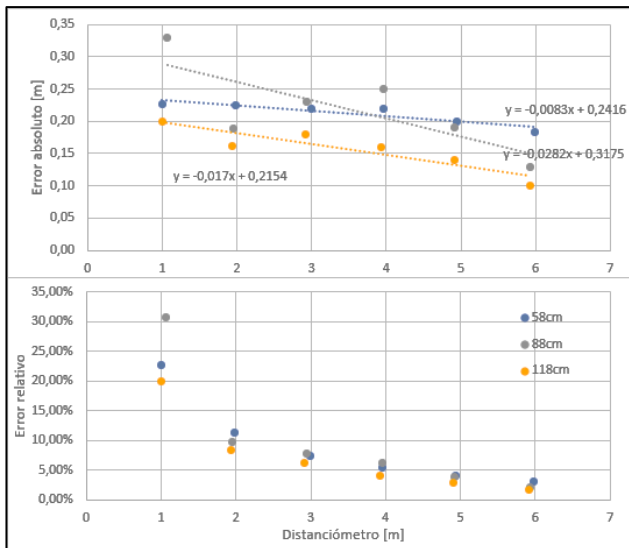


Figura 3. Error absoluto (superior) y error relativo (inferior) para cada profundidad.

Además, para las correlaciones (Figura 4), los coeficientes de determinación fueron siempre mayores a 0,99, por lo que, considerando la lectura del distanciómetro como la distancia real, se concluyó que las lecturas de la sonda a diferentes distancias son consistentes entre sí.

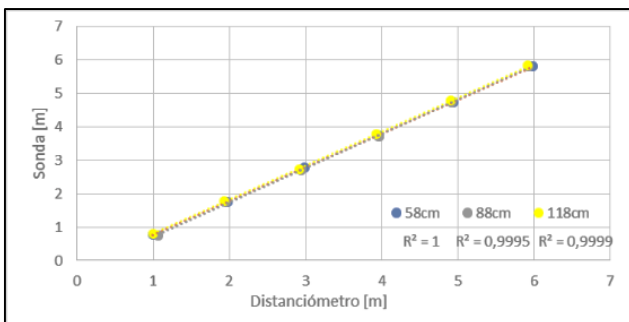


Figura 4. Correlaciones sonda-distanciómetro para cada profundidad.

Por su parte, en las lecturas en diagonal los errores absolutos se encontraron en el mismo rango que en las lecturas perpendiculares.

Con respecto al cálculo de volumen, el determinado a partir del distanciómetro fue de  $0,901\text{m}^3$  y el obtenido con los datos de la sonda, de  $1,157\text{m}^3$ , siendo un 22% mayor en este segundo caso (Figura 5).

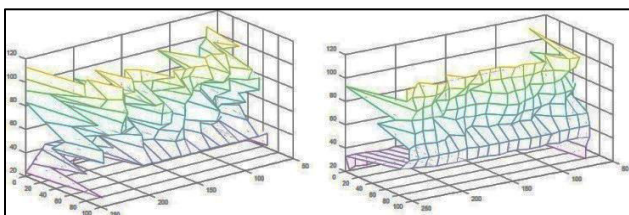


Figura 5.- Superficies envolvente relevadas con distanciómetro (izquierda) y sonda (derecha).

En todos los planos horizontales se observa el mismo patrón entre distanciómetro y sonda, en el que las áreas estimadas a partir del primer instrumento son menores que con el segundo.

Finalmente, los volúmenes de los ensambles de menor a mayor densidad fueron de  $0,585\text{m}^3$ ,  $0,593\text{m}^3$  y  $0,657\text{m}^3$  (Figura 6). Entre las dos primeras densidades, la diferencia de volumen rondó el 1%, aunque el porcentaje de ocupación del segundo fue el triple que el del primero. Esto evidenció que las lecturas de la sonda son poco afectadas por la densidad de vegetación dentro del rango observado en campo. Por otra parte, entre el segundo y tercer ensamble se encontró un incremento del 10% en el volumen. Como el porcentaje de diferencia volumétrica fue mayor, se propuso la hipótesis de que los tallos pudieron haber excedido el volumen de la estructura. Para eliminar el efecto borde, se definió una *región central*, como el conjunto de las lecturas de la sonda que distaron por lo menos en 20cm del borde de la estructura; así se ignoraron dos filas y dos columnas de lecturas desde los extremos. De esta manera se aseguró que el haz de dispersión del instrumento realizara la lectura en un área completamente dentro del frente del ensamble. En la región central, la desviación estándar de las lecturas fue similar en los tres ensambles ( $0,0258\text{m}$ ,  $0,0273\text{m}$  y  $0,0285\text{m}$ , respectivamente). En cambio, teniendo en cuenta todas las lecturas, la desviación estándar fue de  $0,0296\text{m}$  y  $0,0351\text{m}$  en los de menor densidad y de  $0,0826\text{m}$  en el más denso. A su vez, el ancho medio en la región central fue aproximadamente  $0,010\text{m}$  mayor para el ensamble más denso. De estos datos se concluyó que la diferencia de volúmenes se debió a un avance de tallos en la región central debido al amontonamiento y no a una respuesta particular de la sonda ante diferentes porcentajes de ocupación de vegetación.

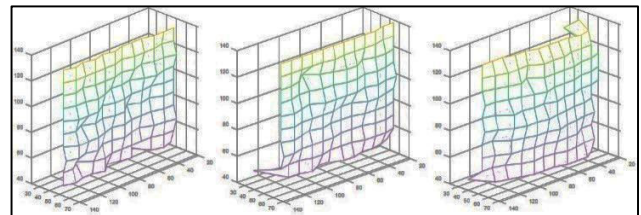


Figura 6.- Ensambles de densidad baja (izquierda), media (centro) y alta (derecha).

## Conclusiones

A partir de los resultados de ensayo con sonda, pudo concluirse que la misma es un instrumento de medición adecuado para generar la superficie envolvente de los ensambles en condiciones naturales. Además, dentro del rango de distancias analizado, la sonda tiene una exactitud y fidelidad aceptables en la detección de vegetación, y no muestra diferencia en su respuesta ante diferentes porcentajes de ocupación de la misma.

## Referencias Bibliográficas

- Budniewski, J.M. (2016). "Dinámica de flujo y distribución de sedimentos asociada a la presencia de vegetación acuática arraigada en cauces secundarios del Río Paraná". *XX Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral*, Santa Fe, Argentina.
- Marchetti, Z.Y y Ramonell C.G. (2014). Valoración preliminar de la retención de sedimentos por hidrófitas en cauces secundarios del río Paraná Medio. *Aqua-LAC* 6 (1): 8-16.
- Ramonell, C.G., Szupiany, R.N., Latrubesse, E.M., García, M., Pereira, M.S., Gallego, M.G., Marchetti, Z.Y., Cafaro, E.D., Paira, A.R., Latosinski, F., Bosisio, A.C., Torres, G. (2011) Procesos de formación del río Paraná Medio. Nuevos paradigmas para su estudio. *Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Rios*, Santiago del Estero, Argentina.



## ESTUDIO DEL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA FLOTANTES, PARA LA LOCALIDAD DE MIRAMAR (MAR CHIQUITA, CÓRDOBA)

Micaela Estefanía Pacher; Gyssels, Paolo; Grande, Sebastián y Rodríguez, Andrés

Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Hidráulica, Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Email: [mica.pacher@gmail.com](mailto:mica.pacher@gmail.com), [pgyssels@efn.uncor.edu](mailto:pgyssels@efn.uncor.edu), [sebasgrande@gmail.com](mailto:sebasgrande@gmail.com), [androdminplan@gmail.com](mailto:androdminplan@gmail.com)

### Introducción

Los rompeolas flotantes tienen la función de atenuación del oleaje en una determinada área. Son una alternativa a las obras de protección fijas al tener la posibilidad de ser movilizadas con relativa facilidad y remolcadas a flote. Normalmente son utilizados en lagos o lagunas donde el oleaje debido al viento tiene limitaciones en su crecimiento, tanto en altura como en su período. La principal ventaja de este tipo de estructura es su adaptabilidad a los constantes cambios de niveles de la laguna sin perder su funcionalidad.

En este trabajo, se realizó un estudio para definir un diseño de una estructura flotante de defensa costera tipo “caja” para el caso específico de Miramar (en la Laguna de Mar Chiquita).

### Objetivos

1. Reducir el oleaje incidente para minimizar el impacto sobre la costa y las playas, evitando su erosión durante las tormentas más frecuentes o en tormentas de diseño (considerando un tiempo de retorno de 25 años).
2. Adaptarse a los cambios en el nivel de la laguna sin perder funcionalidad: Este objetivo es muy importante porque la variación de los niveles está sujeta a la variabilidad de los aportes entrantes a la laguna.
3. Costes reducidos, facilidad de construcción, de instalación y flexibilidad en el emplazamiento.

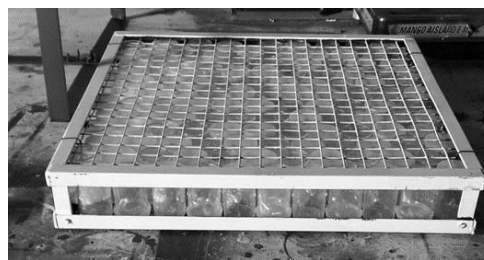
### Diseño de estructura

Los materiales para la construcción de la estructura debían de ser de fácil adquisición. Se buscó un diseño sencillo y fácil de construir e instalar.

Se diseñó una estructura de tipo “caja” compuesta por módulos constituidos por jaulas de metal que contienen tambores de plástico cilíndricos de 220 litros vacíos y sellados. La estructura sería oportunamente anclada al fondo. El ancho de la estructura (en dirección del oleaje incidente) debe de ser de un valor equivalente al orden de magnitud de la longitud de onda de diseño (McCartney, 1985).

### Modelo físico y metodología

En función de las dimensiones del canal donde se llevaron a cabo los ensayos y de los oleajes de diseño, se realizó un modelo a la escala 1:16. En la **Figura 1** se muestra una imagen de un módulo, cuyas dimensiones son 0.48 x 0.5 x 0.07 m



**Figura 1.-** Módulo de estructura ensayada en laboratorio

Se evaluaron tres tipos de estructuras flotantes cuya metodología consistió en:

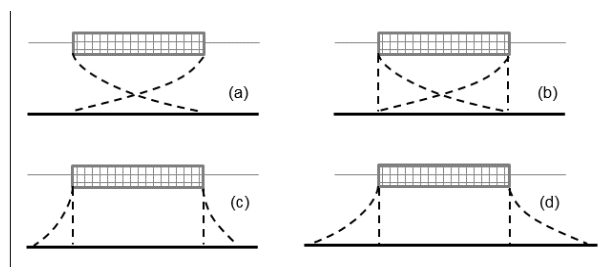
E1: Un módulo de tambores atados entre ellos, sin jaula de contención, vinculados a un lastre cuadrícula metálico hundido en el agua y anclado al fondo: estos sirvieron de referencia para poder comparar con la serie de ensayos posteriores.

E2: Un módulo de tambores en la jaula metálica.

E3: Dos módulos de tambores en dos jaulas metálicas vinculadas.

En los ensayos E2 y E3, para cada oleaje, se experimentaron 4 configuraciones diferentes de anclajes al fondo, para estudiar el movimiento de la estructura frente al oleaje y la capacidad de disipar el mismo. Estas son:

(a) Configuración 01: anclajes cruzados, (b) Configuración 02: anclajes cruzados y verticales; (c) Configuración 03: anclajes laterales cortos y verticales (d) Configuración 04: anclajes laterales largos y verticales. Las mismas se esquematizan en la **Figura 2**



**Figura 2.-**Esquema de distintas configuraciones de anclajes

En la **Figura 3** se muestra una genérica configuración de ensayos en el canal de oleaje del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba. La “Pala pistón” genera el oleaje ingresado por computadora. Los primeros cuatro sensores de oleaje S1, S2, S3 y S4 sirven para medir el oleaje incidente (Hi) y para separar la ola incidente de la reflejada. El sensor S5 sirve para medir el oleaje transmitido (Ht). Al final del canal se diseñó una playa disipativa para eliminar la reflexión del oleaje del sistema.

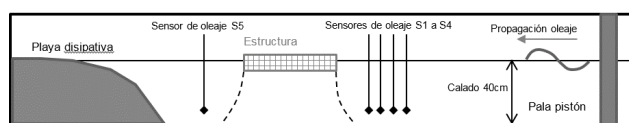


Figura 3.- Configuración en las pruebas experimentales

El coeficiente de transmisión se define como relación entre altura de ola transmitida y la altura de ola incidente, según la relación:

$$K_t = H_{s,t} / H_{s,i} \quad [1]$$

Siendo:

$H_{s,i}$  altura de ola significativa incidente

$H_{s,t}$  altura de ola significativa transmitida

Este tipo de estructuras normalmente no pueden llegar a coeficientes de transmisión menores a 0.5, siendo  $K_t=1$  para transmisión total y  $K_t=0$  para transmisión nula y reflexión o disipación total.

En cuanto a los oleajes ensayados, estos proceden de estudios anteriores. En este trabajo se reprodujeron las siguientes condiciones de oleaje para cada configuración de anclaje:

1. Oleaje de tormenta generado por el máximo viento registrado en LH (2003): llamado OlaMax
2. Oleaje asociado a un viento de 5 años de período de retorno (LH, 2015): llamado Ola05
3. Oleaje asociado a un viento de 25 años de período de retorno (LH, 2015): llamado Ola25

## Resultados

Se ha observado que todos los oleajes ensayados generan movimientos muy amplios en la estructura E1 con reducción muy escasa del oleaje. Sin embargo han sido muy útiles para determinar la configuración del módulo final.

Se muestran los resultados de los valores del coeficiente de transmisión de los ensayos realizados con las estructuras E2 y E3. En la Figura 5, los resultados para diferentes anclajes, para una estructura con un solo módulo, en la cual se evidencian por un círculo los coeficientes más bajos obtenidos y en la Figura 4 los resultados para una estructura con módulo doble, destacándose mediante círculos intermitentes los mejores coeficientes obtenidos.

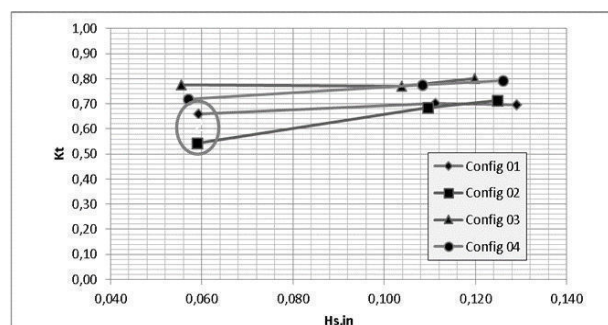


Figura 5.- Coeficientes de transmisión obtenidos con la estructura E2 compuesta por un solo módulo rígido.

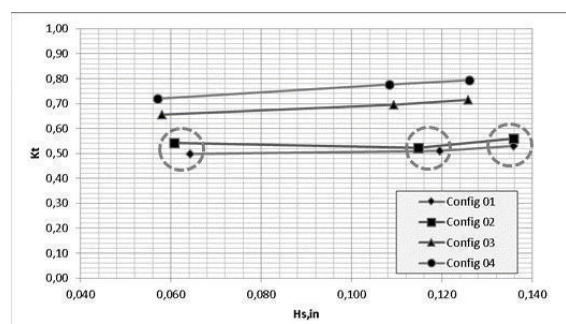


Figura 4.- Coeficientes de transmisión obtenidos con la estructura E3 compuesta por doble módulo rígido

Se observa que la estructura de doble módulo rígida en general tiene un mejor comportamiento con respecto al uso de un solo módulo, dando un coeficiente de transmisión más bajo manteniendo el mismo tipo de anclaje, lo cual era de esperarse sabiendo que cuanto más se acerca el ancho de la estructura al valor de la longitud de ola de diseño, mejor es la eficiencia sobre la transmisión del oleaje. Sin embargo las mejoras son pocas para los anclajes de tipo (c) y (d) y más evidentes para los anclajes de tipo (a) y (b).

La configuración de un módulo con anclajes (a) y (b) muestran un  $K_t$  más bajo con respecto a estructuras mejor ancladas del tipo (c) y (d), eso se debe a que la estructura rota mucho con respecto a su eje horizontal perpendicular a la dirección del oleaje. Sin embargo en la configuración con anclajes de tipo (a) los movimientos observados resultan ser excesivos.

## Conclusiones

El análisis de los valores del  $K_t$  obtenidos y del comportamiento de la estructura sujeta al oleaje permitió elegir las mejores opciones de diseño y de anclaje a realizar.

En definitiva las configuraciones (a) y (b) de dos módulos rígidos acoplados son las más eficientes. Sin embargo puede ser razonable experimentar en prototipo las configuraciones (a) y (b) con un solo módulo debido a que presentan coeficientes  $K_t$  aceptables (entre 0.65 y 0.55) por oleajes de menor período (y longitud de onda) que son los oleajes de tormentas mayores registradas (OlaMax).

En este tipo de estructuras se presentó la desventaja relacionada con la corrosión a la cual sería sometida, debido a la condición de salinidad que presenta la laguna, la cual varía con el volumen de la misma, por ejemplo, para volúmenes de la laguna cercanos a 5 km<sup>3</sup>, la salinidad alcanza los 75 g/L y en rangos mayores, con volumen cercano a 24 km<sup>3</sup>, la salinidad disminuye a 29 g/L (Rodríguez, 2006).

## Referencias Bibliográficas

- Laboratorio de Hidráulica - LH (2003). Diseño de defensas para la localidad de Miramar, Mar Chiquita. Córdoba.
- Laboratorio de Hidráulica - LH (2015). Estudio de la cota máxima de inundación en la zona sur-oeste de la Laguna de Mar Chiquita.
- McCartney, M. and Bruce, L (1985) "Floating breakwater design", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol 111, No. 2, pp. 304-17.
- Rodríguez A., Pagot M.R., Hillman G.D., Pozzi C.E., Plencovich G.E.,...y Bucher E.H. (2006). *Modelo de simulación hidrológica. En: Bañados del río Dulce y Laguna Mar Chiquita (Córdoba, Argentina)* (ed. Bucher E.H.), pp. 57- 77. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina).

# DISPOSITIVOS DE ATENUACION TEMPRANA EN LOS PROCESO DE TRANSFORMACION LLUVIA-CAUDAL EN EL TERRITORIO DE AREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Tito Lasanta, Raquel Perahia, Luciano Arbore, Pablo Taroni

FRGP, UTN, H. Irigoyen 288, Gral. Pacheco, Provincia de Bs As, Argentina.  
raquepera@gmail.com, titolasanta@gmail.com

## Introducción

En América Latina los problemas urbanos adquieren una importancia particular pues cerca del 80 por ciento de la población de América Latina se concentra en áreas urbanas (de Monterrey, 2018). Idéntico proceso sufre el Area Metropolitana de Buenos Aires (AMBA).

El rápido y descontrolado crecimiento, no planificado, sumado a una urbanización precaria, la ausencia de adecuados servicios de saneamiento y gestión del agua de lluvia, que han incrementado su intensidad y disminuido su recurrencia, asociados a los cambios climáticos mundiales, y que provocan anegamientos e inundaciones reiteradas, constituyen verdaderos desafíos para esta región.

Si bien no existe una solución definitiva, las soluciones al problema de las inundaciones urbanas abarcan un amplio espectro de posibilidades; una de ellas consiste en la disminución del escurrimiento superficial a través de elementos de atenuación temprana parcelaria. Esta idea impulsó la investigación sobre la temática, tomando como soporte ensayos en hidrología para la validación y adecuación de parámetros, realizados en el laboratorio de la Universidad, y softwares de modelación de escurrimiento.

Por ello esta ponencia avanza en el estudio de la capacidad de retención hídrica de los denominados sistemas de drenaje urbano sustentable analizando en particular el rol de las cubiertas vegetadas que gracias a su capacidad de retardo del tiempo inicial del escurrimiento superficial pueden producir cambios positivos en la gestión del agua de lluvia.

El retardo del tiempo inicial del escurrimiento superficial se debe a que la tasa de infiltración a través de la superficie del sustrato está relacionada con la conductividad hidráulica del mismo (Chow et al., 1994); una vez que el sustrato se satura, la percolación es igual a la conductividad hidráulica (Philip, 1957), y el flujo lateral hacia los desagües es función de ésta.

Cuando la lluvia cesa, y desaparece la capa de anegamiento en la superficie, el volumen de agua retenida temporariamente en la fracción de poros entre la capacidad de campo y la porosidad, también percola. Todo ello hace que el desplazamiento del agua infiltrada sea mucho más lento que el que corresponde a escurrimiento en manto sobre una superficie impermeable.

## Objetivos

Estudiar las alternativas de atenuación y/o mitigación temprana de inundaciones considerando los patrones de precipitación y las funciones de densidad de las lluvias, a fin de seleccionar los dispositivos de atenuación temprana en el AMBA adecuados al régimen de lluvias de diseño.

## Materiales y métodos

El estudio realizado en forma experimental, se llevó a cabo en el laboratorio de hidrología de la UTN Facultad Regional General Pacheco, sita en el Partido de Tigre, considerando como materiales de ensayo suelo y vegetación con dosificación específica habitual en la construcción de cubiertas naturalizadas o techos verdes que incluye piedra partida, arena, compost orgánico y tierra negra.

A esto se suma la aplicación de tres lisímetros que permiten la validación de parámetros de infiltración de la lluvia y un simulador de lluvia equipamiento este que fue construido por alumnos de la carrera Ingeniería Civil.

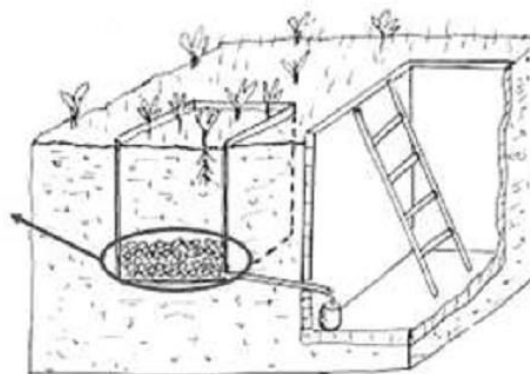


Figura 1.- Lisímetro.

Con el simulador de lluvia es posible cuantificar la escurrimiento, infiltración y pérdida de suelo generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida. La duración, intensidad y energía cinética de la lluvia pueden ser modificadas con el simulador, dando alta sensibilidad de los resultados de la prueba para diferentes propiedades del suelo. Una de las ventajas de este equipo, además de ser portátil, es la posibilidad que tiene de estudiar un evento en el momento que se necesite y bajo diferentes condiciones que pueden ser modificadas en el campo según se requiera.



Figura 2.- Simulador de lluvia.

El equipo brindará elementos de juicio a los tomadores de decisión como técnicos, científicos o gobiernos locales en la definición no sólo de los planes reguladores sino también en la propuesta de buenas prácticas de manejo para la conservación de suelos y agua. Cuenta con un total de 169 capilares, cada uno con un largo de 6mm aproximadamente, un diámetro interno de 0,8 mm, diámetro externo de 2,4 mm y su material es de tygon. Los capilares producen gotas de 4,4 milímetros de diámetro con una masa de 0,0446 gramos.

Según la cantidad de los capilares, el diámetro de la gota y la posición del tubo de aireación, se producen lluvias simuladas con diferentes intensidades tales como: 13,14 mm/min, 12,48 mm/min, 11,52 mm/min, 10,18 mm/min, 8,93 mm/min, 6,95 mm/min, 5,50 mm/min, 3,59 mm/min. Estas intensidades están dadas por separaciones de 5 milímetros entre cada posición del tubo aireador, pero se pueden calibrar otras intensidades intermedias.

La magnitud de la lluvia simulada está en función de la intensidad de lluvia que se calibre y la duración de la simulación, por ejemplo, si recalibra el simulador con una intensidad de 5,50 mm/min y se simula una lluvia por un lapso de 3 minutos, se obtiene una magnitud de 16,5 mm de lluvia.



Figura 3.- Alumnos construyendo lisímetro.

## Métodos y resultados

Se analizaron los parámetros del régimen de lluvias y dispositivos atenuadores primarios, adoptando diversos dispositivos de mitigación a escala parcelaria como reservorios de retención temprana, tanques, cañerías, y cubiertas verdes. Para el estudio de los mismos se aplicaron precipitaciones de distintos grados de severidad, determinando porcentualmente la retención de cada dispositivo de mitigación propuesto. Luego se han depurado mediante la aplicación de softwares convencionales los hietogramas obtenidos. De este modo ha sido posible comparar los escurrimientos para los distintos dispositivos y posibles combinaciones de los mismos, validándose a posteriori los resultados con información empírica obtenida en laboratorio mediante el simulador de lluvia y los lisímetros.



Figura 4.- Paquete con vegetación autóctona de Pacheco.

En la figura 4 se muestra un paquete de mitigación de n techo verde. En el mismo se pudo observar que luego de aplicarle una lluvia de 60mm este paquete logro retardar en 5 minutos el tiempo de escurrimiento y absorbió 6,5 litros de agua



Figura 4.- Extracción de muestras del simulador de lluvia.

## Conclusiones

Si bien el estudio está en desarrollo, para el sitio de estudio, hemos concluido que la implementación de reservorios de atenuación temprana y de techos verdes permite aumentar la retención y por lo tanto disminuir potencialmente el caudal de escurrimiento superficial.

## Palabras Claves

Control de Inundaciones, Dispositivos de mitigación, Retención a escala parcelaria

## Reconocimientos

Se agradece a Mari, Jaime, Torrano, y Dalvit por el aporte realizado en la construcción del simulador.

## Referencias Bibliográficas

de Monterrey, T. (2018). *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible*. Monografía del BID. Editado por Ismael Aguilar Barajas, Jürgen Mahlknecht, Jonathan Kaledin, Marianne Kjellén y Abel Mejía-Betancourt. ISBN (digital) 978-1-59782-298-5. 292 Pp.

Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. (1994). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, Colombia. 572 p.

Philip, J. R. (1957). *The theory of infiltration. 1: The infiltration equation and its solution*. *Soil Science*. 83: 345-357.

# METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM GERADOR DE ONDAS DO TIPO CUNHA EM CANAL DE LABORATÓRIO

I. Ribeiro, V. C. S. Gonçalves, D. M. Machado, A. P. Gomes

Laboratório de Interação Fluido Estrutura, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

inaciosr@gmail.com; vandriellestaricoff@outlook.com.br; deboramach@gmail.com ; anapaulaa.gomes@gmail.com

## Introdução

O canal do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE) foi construído com o propósito inicial de estudar ações hidrodinâmicas em estruturas marítimas. Com a implantação de um gerador de ondas do tipo cunha, passou a ser estudada também a influência de ondas sobre o fundo móvel. Fez-se necessário então conhecer as propriedades das ondas geradas no canal e se estas se aproximam da onda senoidal perfeita.

Rosauro (2004) apresentou em seu trabalho a curva de eficiência de um gerador do tipo articulado, observando a propagação das ondas geradas em um canal similar ao canal do LIFE. Além de observar as amplitudes alcançadas para uma larga faixa de frequências de geração, comparou os seus resultados com outros estudos da literatura.

Wang desenvolveu em 1973 um estudo teórico e experimental sobre geradores do tipo cunha. Em seu trabalho ele provou analiticamente que para esse tipo de gerador, a razão da amplitude da onda com a amplitude da oscilação do gerador depende do parâmetro de frequência  $Kb$ , onde  $K$  é o número de onda e  $b$  é a largura da cunha, para uma profundidade de imersão denominada  $d$ . Além disso, analisou os resultados obtidos de forma analítica com os dados experimentais.

Para o presente estudo, foi tomada uma metodologia semelhante com a usada por Rosauro (2004), para a determinação da curva de eficiência do gerador e, comparados os resultados obtidos neste estudo com a curva de eficiência teórica prevista por Wang (1973).

## Objetivos

Devido ao uso frequente do canal de ondas do LIFE, em estudos de fenômenos hidrodinâmicos marinhos, esse trabalho almeja estabelecer uma curva de eficiência para o gerador de ondas do tipo cunha, existente hoje dentro do canal de ondas, para auxílio no planejamento de ensaios com modelos físicos reduzidos.

## Materiais e Métodos

Os testes foram realizados no canal de ondas do LIFE, o qual possui 16m de comprimento, 0,71m de largura e 0,79m de altura. Em uma das extremidades do canal, há um perfil de praia que funciona como um absorvedor de ondas, construído em pvc com 3,63m de comprimento e 0,79m de altura. Na outra extremidade do canal está posicionado o gerador de ondas do tipo cunha, conforme esquema apresentado na Figura 1.

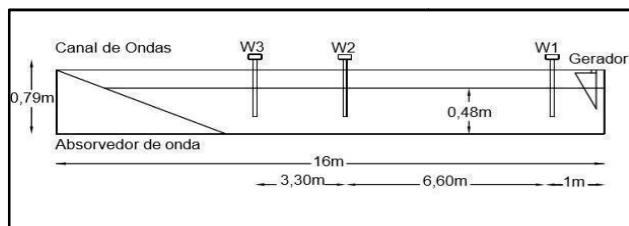


Figura 1.- Configuração do Experimento

O gerador de ondas do LIFE possui um variador de frequências que opera em uma faixa de 0.3 a 1.5 Hz. Para todos os testes, realizados neste estudo, a amplitude de oscilação vertical ( $S$ ) utilizada foi de 9cm. A profundidade média submersa da cunha ( $d$ ) foi de 26,5cm e a largura média ( $b$ ) 12,93cm, conforme o

esquema apresentado na Figura 2. O nível de água dentro do canal ( $h$ ) foi de 48cm.

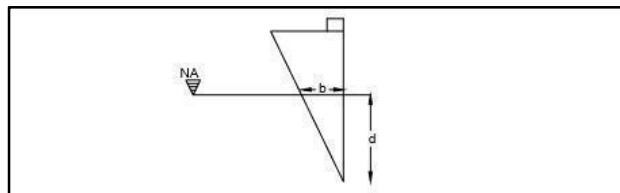


Figura 2.- Detalhe da Cunha do Gerador de Ondas

Foram feitos dois grupos de testes para este estudo: o primeiro usou Waveprobes para detectar a oscilação do nível da água com a passada da onda e, o segundo usou o Vectrino para captar a velocidade das partículas durante a geração. Os testes foram realizados para uma faixa de frequência de oscilação do gerador de ondas de 300 rpm a 1800 rpm, variando de 100 em 100 rpm, para ambos os grupos de testes realizados. Cada teste teve duração de 180s, sendo que o gerador era ligado simultaneamente ao início da aquisição e desligado no instante de 150s.

O primeiro grupo de testes foi realizado com três sensores de nível capacitivo (Waveprobes), denominados  $W_1$ ,  $W_2$  e  $W_3$ . A disposição dos sensores no canal foi pensada para acompanhar a evolução das ondas ao longo do canal, sendo  $W_1$  posicionado próximo ao gerador;  $W_2$  localizado na parte central do canal e  $W_3$  posicionado 1m a jusante do perfil de pvc construído em uma das extremidades do canal, conforme Figura 1. Os sensores eram calibrados sempre ao início e ao fim de cada seção de testes.

A aquisição dos dados foi realizada com o software LabView, para uma frequência de aquisição de 100Hz. No processamento dos dados foi utilizado uma rotina em Matlab para a obtenção das alturas e dos períodos das ondas, através de uma análise temporal, com uso do método do zero ascendente. Por meio desta rotina, foram obtidos os períodos: significativo ( $T_s$ ), médio ( $T_m$ ) e máximo ( $T_x$ ). Por intermédio do mesmo procedimento utilizado para os períodos foram obtidas as alturas: significativa ( $H_s$ ), média ( $H_m$ ) e máxima ( $H_x$ ) das ondas.

O segundo grupo de testes utilizou o velocímetro acústico (Vectrino) que usa do princípio do efeito Doppler para captar a velocidade das partículas em três dimensões. O velocímetro acústico foi inserido primeiramente na posição do  $W_1$ , próximo ao gerador de ondas, e por fim na posição do  $W_2$ , localizado na parte central do canal. A posição do velocímetro acústico relativa ao fundo do canal ( $z$ ) foi de 35cm. A aquisição dos dados foi realizada com aplicação do software Vectrino, para uma taxa de aquisição de 25 Hz. A altura das ondas foi estimada por meio da teoria linear das ondas, mediante dos resultados alcançados para a velocidade horizontal das partículas.

## Avaliação dos Resultados

Conforme observações realizadas por Wu (1991) em seu estudo, modos evanescentes são criados nas imediações da geração de ondas, sendo assim, se optou por usar, em um primeiro momento, os dados obtidos através da sonda  $W_2$ .



A Figura 3 apresenta a relação entre a amplitude de onda relativa (A) e o parâmetro de frequência do gerador (kb).

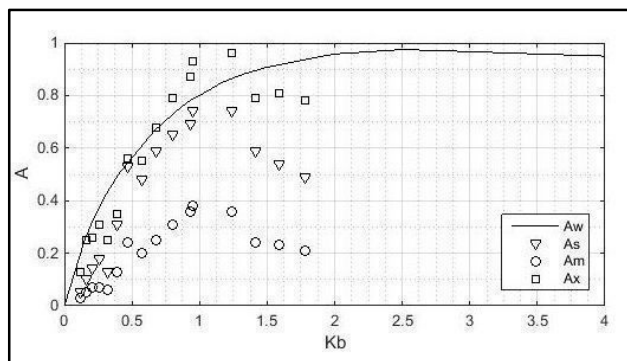


Figura 3. - Comparação entre dados teóricos e experimentais.

Sendo: Aw a amplitude de onda obtida através do método analítico apresentado por Wang (1973), As, Am e Ax as amplitudes relativas de onda significativa, média e máxima, respectivamente, obtidas por análise temporal.

Na Figura 3, verifica-se um melhor ajuste da altura significativa das ondas, para uma faixa de frequência do gerador de ondas entre 800 e 1500 rpm.

A Figura 4 apresenta a relação entre os períodos das ondas (T), obtidos através dos dados experimentais, com a frequência do gerador de ondas (F).

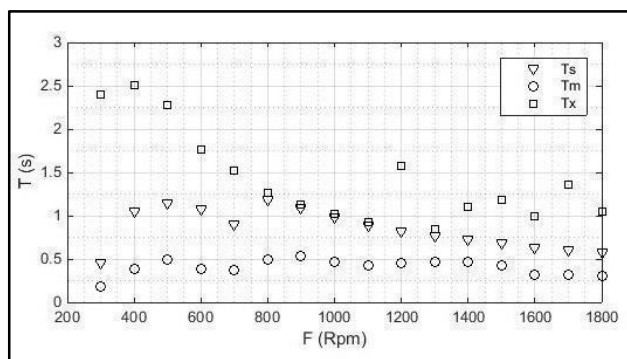


Figura 4.- Relação entre os períodos das ondas e a velocidade do gerador de ondas.

Sendo: Ts, Tm e Tx os períodos das ondas significativo, médio e máximo, respectivamente.

Através da Figura 4 observa-se que o período máximo das ondas apresenta um decaimento com o aumento da frequência do gerador de ondas, porém com uma maior dispersão dos valores para frequências maiores do que 1200 rpm do gerador de onda. Para o período significativo das ondas, observa-se um decaimento de forma gradual para os valores de frequência do gerador entre 800 e 1800rpm. Os períodos médios das ondas apresentaram-se de forma mais constante, com o aumento da frequência do gerador de onda, quando comparados com os demais períodos obtidos.

Visando facilitar o planejamento de experimentos no canal de ondas, a curva de eficiência do gerador utilizado, Figura 5, foi construída em termos de valores não adimensionalizados do período significativo e da altura significativa de onda gerada para apenas uma regulação do gerador de ondas (9cm). Os valores apresentados na Figura 5 são referentes a uma faixa de frequência do gerador de ondas de 800 a 1500rpm, frequências essas que apresentaram uma melhor relação entre altura e período da onda.

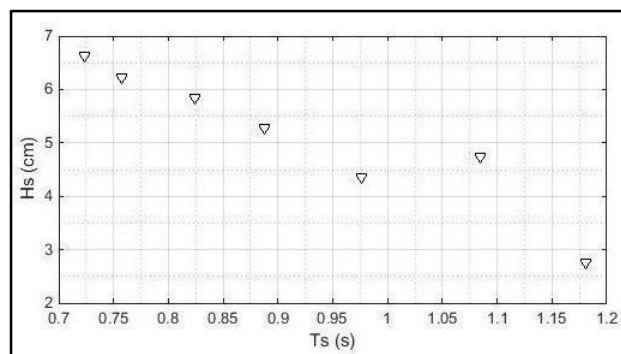


Figura 5.- Curva de eficiência do gerador de onda do tipo cunha.

Verifica-se na Figura 5 que o gerador de onda apresenta uma diminuição na altura da onda com o aumento do período, para o maior período de onda considerado nos experimentos, Ts = 1,18s, a maior altura de onda gerada foi de 2,75 cm.

Outro aspecto analisado neste estudo foi a relação entre os dados obtidos pelo Waveprobe e Vectrino, para a obtenção da altura de onda, conforme Figura 6.

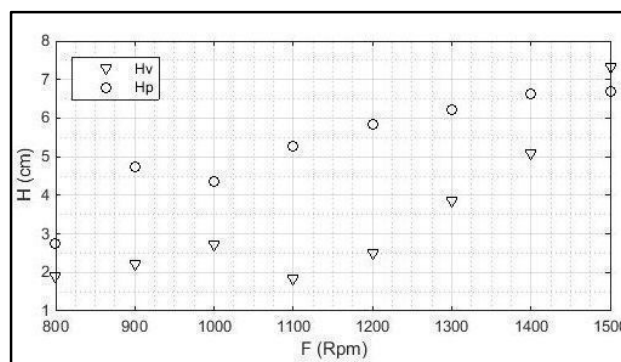


Figura 6.- Relação entre altura da onda obtida pelo Waveprobe e a estimada pelo Vectrino.

Com base nos resultados apresentados na Figura 6 observa-se, para a maioria das frequências utilizadas, que ocorre um aumento da altura de onda com o aumento da frequência do gerador, tanto por dados obtidos através do Waveprob quanto para os dados obtidos pelo Vectrino.

## Conclusões e Recomendações

Os resultados obtidos neste trabalho fazem parte dos dados preliminares de um estudo que ainda se encontra em andamento. Porém, nesta primeira etapa, foi possível verificar que as características das ondas, período e altura, estão melhor representadas entre as frequências de 800 rpm e 1500 rpm do gerador de ondas do tipo cunha, presente dentro do canal de onda estudado. Desta forma, foi possível obter uma relação entre a altura e o período das ondas geradas pelo batedor, para uma amplitude de 9 cm.

## Referências Bibliográficas

- Wang, S. 1973. "Plunger-Type Wavemakers: Theory and Experiment", Journal of Hydraulic Research, Vol. 12, No. 3, PP 357-388.
- Wu, Y. C. 1991. "Waves Generated by a Plunger-Type Wavemaker", Journal of Hydraulic Research, Vol. 29, No. 6, PP 851-861.
- Machado, D. M. Pinto, W. T. 2012. "Uma investigação Experimental sobre a Dinâmica de Ondas Geradas por um Batedor do Cunha".
- Rosauro, N. M. L. 2004. "Teoria e Prática da Geração e Propagação de ondas Monocromáticas em um Canal de Laboratório".
- Clemente, D. S. 2013. "Energia de Ondas: Metodologia de Ensaio em Modelos Reduzidos".

## ANÁLISE DO PROCESSO DE SCOUR EM DUTOS SUBMARINOS SOB A AÇÃO DE ONDAS

Mariana Alvarenga Alves<sup>1</sup>, Waldir Terra Pinto<sup>2</sup> e Débora Martins Machado<sup>3</sup>

Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Brasil  
mari.aalves@hotmail.com; waldir.pinto@gmail.com; deboramach@gmail.com.

### Introdução

Os dutos submarinos se constituem uma alternativa viável para o transporte de petróleo e gás natural em ambientes marinhos. Por se tratar de produtos altamente perigosos, é preciso garantir a integridade dessas estruturas para que permaneçam na diretriz estabelecida em projeto durante o período de operação. Qualquer falha em um duto submarino pode acarretar danos catastróficos ao meio ambiente.

Grande parte das pesquisas relacionadas a erosão ao redor de dutos submarinos sob a ação de ondas, foram realizadas utilizando modelos numéricos. Neste contexto, os estudos experimentais se tornam importantes por dois motivos: ajudam a entender a natureza do problema, além de gerar resultados para validação de métodos numéricos.

Este estudo é motivado pela necessidade de analisar a estabilidade de fundo em dutos submarinos rígidos sujeitos à ação de ondas em águas intermediárias.

### Objetivos

O objetivo deste trabalho é verificar como funciona o transporte local dos sedimentos quando o duto for submetido a condições hidrodinâmicas variáveis, ou seja, analisar o processo de *scour* próximo à estas estruturas. Para isso, o duto foi considerado suspenso, parcialmente enterrado e enterrado, como esquematizado na figura 1.

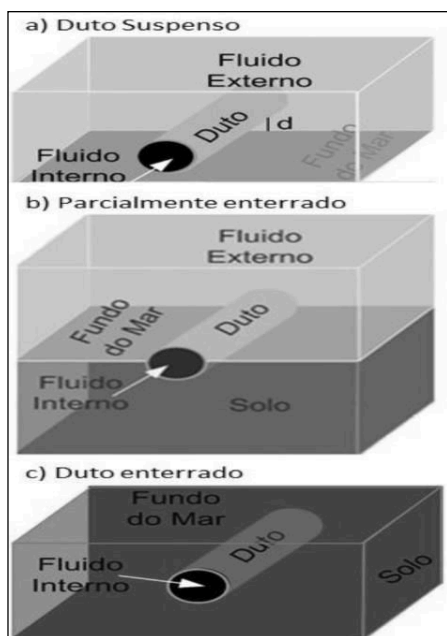


Figura 1.- Representação esquemática do posicionamento do duto nos experimentos realizados. Fonte: Alves et al, 2018.

De acordo com as três situações propostas, se o duto estiver suspenso, pode ocorrer uma erosão local mudando as condições do

escoamento. Quando o duto está parcialmente enterrado, além da erosão, um escoamento ascendente na areia pode tornar o solo liquefeito, causando uma perda de resistência ao cisalhamento. Em dutos enterrados, uma eventual remoção do fundo pode limitar o peso sobre o duto, gerando um aumento no empuxo e um movimento vertical ascendente do duto.

### Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados no canal de ondas do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE), lotado na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

O canal possui 16 metros de comprimento e seção retangular de 0,71 m de largura por 0,79 m de altura. A geração de ondas se dá através de um batedor de ondas do tipo cunha, com frequências que variam de 0,3 a 1,5 Hz. Para dissipar a energia das ondas e minimizar o processo de reflexão durante os ensaios, na extremidade oposta ao batedor há uma praia com inclinação de 11%. O setup completo do experimento é apresentado na figura 2.

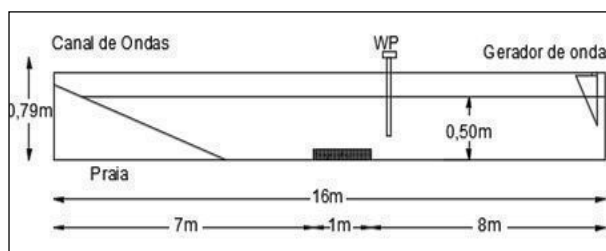


Figura 2.- Setup do experimento no canal de ondas (sem escala).

A área de testes foi posicionada a 8 m do batedor de ondas. Para representar o fundo do mar, criou-se um banco de areia de 1 m de comprimento por 0,12 m de altura. Este solo possui granulometria uniforme e é composto basicamente por areia fina, sendo suas características favoráveis ao processo de erosão. Um tubo de PVC com diâmetro de 38 mm, fixado nas paredes do canal, foi utilizado para simular um duto rígido.

Para a obtenção dos dados experimentais foram utilizados uma sonda capacitiva (waveprobe), para a medição do nível, e o sistema PIV (*Particle Image Velocimetry*). Como apresentado na figura 2, a sonda (WP) foi posicionada pouco antes do banco para captar a onda “real” que incide sobre a estrutura. O sistema PIV baseia-se em técnicas ópticas não intrusivas, para visualizar o campo de velocidades das partículas no fluido.

Com o intuito de analisar o comportamento do solo sob diferentes condições hidrodinâmicas, para cada situação proposta na figura 1 houve uma variação no período das ondas. A profundidade da água no canal foi mantida constante em todos os experimentos.

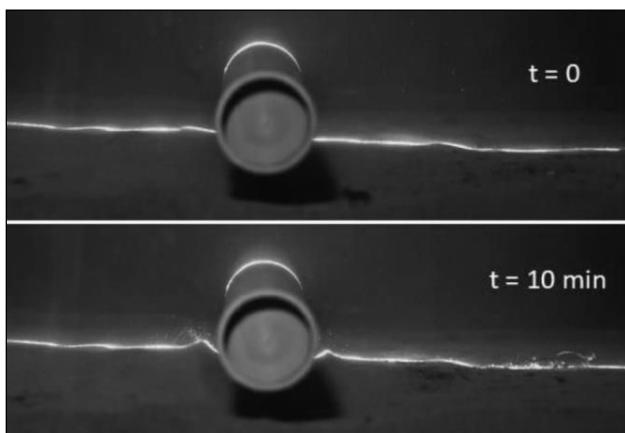
A Tabela 1 apresenta as condições hidrodinâmicas dos experimentos, sendo “h” a profundidade, “T” os períodos de onda utilizados, “a” a amplitude das ondas geradas e “L” o comprimento da onda no local de interesse.

**Tabela 1.-** Condições hidrodinâmicas utilizadas nos experimentos.

h [cm]	T [s]	a [cm]	L [m]
50	1,00	3,66	1,51
	1,30	1,95	2,31
	2,16	1,73	4,44

## Resultados e Discussão

Os resultados deste trabalho são baseados na análise visual através de imagens obtidas pelo sistema PIV. Dos três critérios utilizados (variações na posição do duto), observou-se que estruturas de dutos suspensos são mais propensas a falhas devido ao *scour*, conforme é apresentado na figura 3. Quanto menor é o período da onda, maior a turbulência provocada pela mesma e maiores os efeitos no fundo.

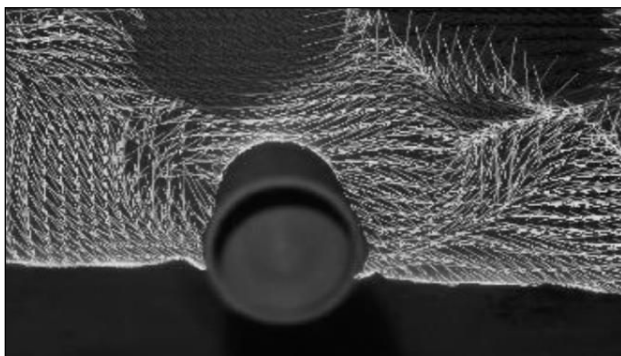


**Figura 3.-** Resultado do experimento para o caso de duto suspenso sob o efeito de uma onda com T = 1,30s.

Neste caso, é visível a remoção do sedimento abaixo do duto. Em situações reais, dependendo da intensidade desse processo erosivo, a estrutura pode perder sua estabilidade chegando a ruptura. Por outro lado, é mais fácil manter ações de controle e recuperação por ser um problema mais perceptível.

Nos experimentos com o duto parcialmente enterrado e enterrado, independente da variação nas condições hidrodinâmicas (períodos de onda), não foram observadas alterações significativas no fundo, sendo assim, neste momento será dado enfoque apenas aos dutos suspensos.

Para visualizar alguns efeitos das ondas sobre o sedimento do fundo, a imagem seguinte (Figura 4) foi gerada pelo sistema PIV e mostra o campo de velocidade das partículas no fluido.

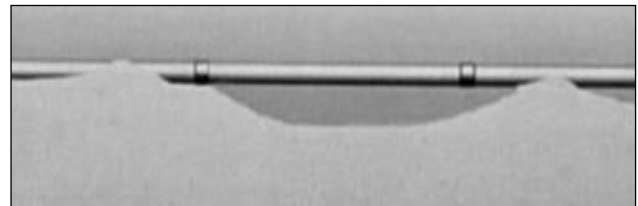


**Figura 4.-** Campo de velocidade das partículas no fluido para o caso de duto suspenso e com período de onda T = 1,30s.

A figura 4 apresenta o escoamento do fluido passando por baixo do duto. Esse escoamento resulta na remoção do material, acelerando o processo erosivo e acentuando o fenômeno de *scour*.

## Aplicações

O *scour* é um problema constante para a indústria offshore. Quando as forças hidrodinâmicas no fundo são severas, a remoção do material ao redor dos dutos submarinos, resultam na formação de grandes vãos (Figura 5), deixando a tubulação sujeita a maiores tensões e fadiga. Neste contexto, analisar e entender esse processo pode evitar possíveis falhas provocadas pela instabilidade do leito marinho.



**Figura 5.-** Abertura de vão próximo a duto submarino. Fonte: Cheng et.al, 2015.

Nestes casos, se o vão livre gerado pelo *scour* atingir um comprimento crítico, pode ocorrer a ruptura das tubulações. Outras alterações provocadas pelo *scour* são mudanças no perfil do fundo, enterrando ou expondo oleodutos.

## Conclusões

Através dos testes realizados, pode-se perceber o quão é importante e necessário estudos experimentais nesta área. Como visto, as estruturas de dutos submarinos estão sujeitas a grandes esforços hidrodinâmicos que, se não forem previstos em projeto, podem acarretar problemas de falhas devido à instabilidade do fundo. Sendo assim, estudos realizados em escala reduzida ajudam a entender os fenômenos de interação entre o solo, o fluido e o duto, evitando possíveis falhas e rupturas dessas estruturas.

## Referencias Bibliográficas

- Alves, M. A. et al. (2018). *Um estudo experimental da interação solo-fluido-estrutura em um duto submarino sujeito à ação de ondas*. 27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário, Engenharia Naval e Offshore – SOBENA, RJ.
- Cheng, L., Draper, S., An, H. (2015). *Scour and Erosion In: LU, L., et al. Numerical investigation of wave induced local scour around a submarine pipeline*. London: Tylor & Francis Group, 2015. p.733-740.
- DNV – RP – F109 (2010). “*On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*”, Det Norske Veritas.
- Fredsoe, J.; Deigaard, R. (1992). *Mechanics of Coastal Sediment Transport*. London: World Scientific Publishing, 1992. 393 p. (Ocean Engineering, 3)
- Lu, L. et al. (2015). *Numerical investigation of wave-induced local scour around a submarine pipeline*. CHENG, L., DRAPER, S., AN, H. Scour and Erosion. London: Taylor & Francis Group, 2015. p. 733-740.
- Rijn, L. C. V. (1993). *Principles of Sediment Transport in Rives, Estuaries and Coastal Seas*. Amsterdam: Aqua Publications, 1993. 690 p.



## MONITORAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DA ANTE-PRAIA DO BALNEÁRIO CASSINO, RIO GRANDE-RS

Marcos Vinicius C. de Mesquita<sup>1</sup>, Débora Martins Machado<sup>1,2</sup> e José Antônio S. Fontoura<sup>3</sup>

Laboratório de Interação Fluido-Estrutura (LIFE)<sup>1</sup>, Laboratório de Engenharia Costeira (LEC)<sup>2</sup>, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil

marcos\_mesquita@msn.com<sup>1</sup>; deboramach@gmail.com<sup>2</sup>; scottfontoura@gmail.com<sup>3</sup>

### Introdução

Em portos estuarinos, como o Porto de Rio Grande, situado no Estuário da Lagoa dos Patos, RS, a presença de lama fluida é recorrente, obrigando a intervenções periódicas de dragagem para a manutenção do calado.

O Balneário Cassino, contíguo ao canal de acesso ao Porto, sofre com eventos de deposição de lama fluida no seu perfil praiial, trazendo prejuízos econômicos e ambientais para a região. Vários estudos realizados por diversas instituições de ensino e pesquisa já comprovaram a existência de bolsões de lama ao largo, que podem, em eventos de alta energia de ondas, serem remobilizados e lançados à praia. Entretanto, ainda não está bem claro se esta lama (presente nos bolsões) que chega a praia é devido unicamente à exportação natural de sedimentos coesivos pela Lagoa dos Patos, ou se é amplificada por atividades antrópicas (como dragagens, por exemplo).

Assim, com o intuito de entender como funciona esta interação entre as forçantes hidrodinâmicas e o fundo lamoso, um grande projeto de monitoramento está sendo realizado na área. Espera-se, ao final do mesmo, obtermos subsídios suficientes para o entendimento de todos os processos envolvidos.

### Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo monitorar as variações temporais da abrangência de lama fluida na antepraia adjacente ao Balneário Cassino antes, durante e após a atividade de dragagem no canal de acesso do Porto de Rio Grande. O mesmo está inserido em um grande projeto intitulado “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande”, da rede SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) e Porto do Rio Grande.

### Metodologia

Para o estudo em questão, uma malha amostral foi previamente definida para o local de interesse (Figura 1).

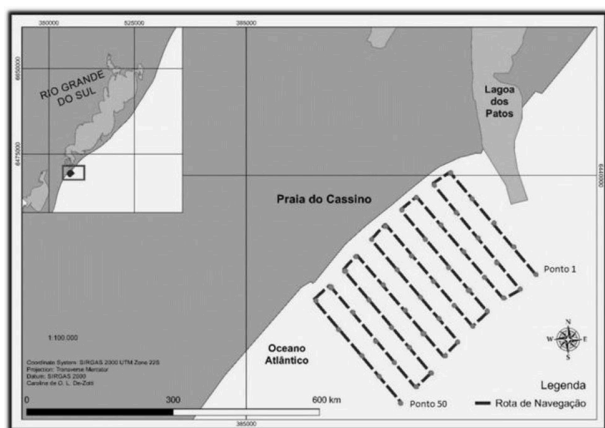


Figura 1. – Malha amostral contendo os pontos de monitoramento. Fonte: De-Zotti, 2018.

Esta malha corresponde a 10 transects (espaçamento de 1 km entre linhas), com 05 estações, ou pontos, em cada um, totalizando assim, 50 estações de amostragem. As linhas, ou transects, se prolongarão desde a zona de surf (5 m) até a profundidade de 10 m, aproximadamente, na antepraia.

A metodologia adotada foi amostrar três estações ao longo de cada transect (total de 30 estações amostradas). Esta metodologia foi aplicada com o intuito de maximizar o uso da embarcação, conseguindo desta forma, abranger um número maior de pontos em menor tempo. Isso garantiu a coleta de dados em todos os transects, para posterior confecção dos mapas de fundo.

O mapeamento sedimentológico foi realizado com a retirada de amostras deformadas e indeformadas do fundo marinho, juntamente com dados de ecobatimetria dupla (200 kHz e 50 kHz). Amostras deformadas nos permitem a caracterização granulométrica do fundo. Já as amostras indeformadas permitem a caracterização geotécnica, através da obtenção dos limites de Atterberg (plasticidade e liquidez), além da obtenção dos valores de resistência ao cisalhamento em solos não drenados (através de testes realizados em laboratório - Vane Test). O ecobatímetro de 200 kHz mapeia a camada superficial do pacote de lama, enquanto a frequência de 50 kHz penetra no pacote, mapeando a superfície de areia abaixo do mesmo.

A granulometria de fundo é a primeira propriedade a ser investigada quanto à formação e presença de lama fluida. Através da granulometria têm-se as frações de solo presentes no local, obtendo-se assim, a classificação do mesmo de acordo com o tamanho do grão. O método tradicional utilizado para caracterizar granulometricamente o solo é o ensaio de peneiramento e de sedimentação, realizados em laboratório e normatizados pela NBR 7181 (ABNT, 1984). Neste trabalho a caracterização do sedimento de fundo foi realizado através de um analisador de partículas (granulômetro) a laser, da Microtrac, modelo S3500 (Figura 2), disponível no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).



Figura 2. – Analisador (Granulômetro) de Partículas a Laser (Microtrac-modelo S3500). Fonte: LEC.

O mesmo agiliza a caracterização granulométrica do solo, pois parte do ensaio tradicional, que é a mais demorada (processo de sedimentação para a obtenção do tamanho das partículas inferiores a 0,075 mm - peneira nº 200 ABNT), é eliminado. Como o aparelho analisa somente a fração inferior ou igual a 2 mm,

as amostras foram passadas na peneira com abertura de 2 mm, segundo a NBR 6457 (ABNT, 1986). Após, as mesmas foram lavadas para a retirada do sal (que pode danificar o aparelho) e adicionado o pirofosfato de sódio como defloculante. O uso do defloculante é necessário para evitar a aglomeração das partículas que pode induzir a erros nas medições realizadas pelo aparelho. O ensaio é repetido quatro vezes (quatro corridas ou leituras). O valor final é a média das quatro leituras. As curvas granulométricas utilizam a escala micron para o diâmetro da partícula.

## Resultados e Discussão

Os resultados apresentados e discutidos a seguir são referentes ao monitoramento realizado no mês de maio de 2018, anteriormente às atividades de dragagem no Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande terem começado.

Devido a limitação de páginas, os autores optaram por mostrar os resultados para os transects da malha amostral que cruzaram o bolsão de lama (transects 06, 07, 08, 09 e 10 - pontos #26 ao #50). No entanto, a análise foi realizada para os 30 pontos amostrais. A amostragem seguiu a metodologia já explicada anteriormente.

Após a coleta e preparação das amostras, as mesmas foram levadas ao granulômetro para a análise e geração das curvas granulométricas (Figuras 3 e 4).

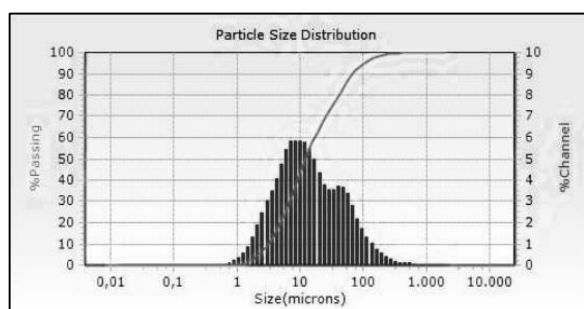


Figura 3. – Resultado para a curva granulométrica do Ponto #33. Fonte: Autores.

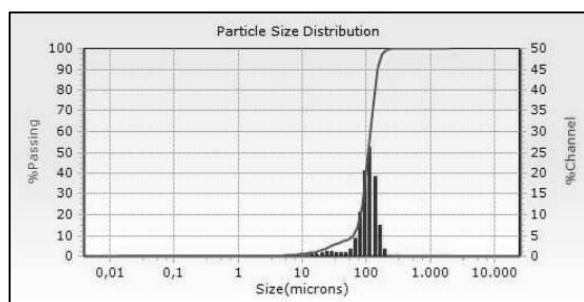


Figura 4. – Resultado para a curva granulométrica do Ponto #45. Fonte: Autores.

A figura 3, acima, apresenta o resultado para o ponto #33, localizado no meio do transect 07 (profundidade de 8 m, aproximadamente). A partir da curva granulométrica apresentada é possível obtermos as frações granulométricas presentes no fundo marinho amostrado. Assim, o ponto #33 é classificado como um solo siltoso (mais de 89% da amostra é composta pela fração silte, seguida de areia fina, 8% aproximadamente e argila, 3% aproximadamente). Já a figura 4, apresenta a curva granulométrica para o ponto #45, localizado no início do transect 09 (profundidade de 5 m, aproximadamente). Analisando o resultado apresentado, neste ponto o fundo marinho é composto basicamente por areia muito fina (86%), seguido de silte (14%), sendo classificado como

um solo arenoso.

A tabela 1, a seguir, apresenta os resultados para os transects 06, 07, 08, 09 e 10 da malha amostral inicial.

Tabela 1. - Granulometria das amostras coletadas (Maio 2018).

Ponto	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
# 26	12,97	85,29	1,74
# 28	7,67	87,67	4,66
# 30	26,77	71,71	1,52
# 31	7,21	89,38	3,41
# 33	8,77	89,79	3,63
# 35	8,9	88,19	2,91
# 36	32,76	64	3,24
# 38	9,79	87,29	2,92
# 40	27,09	71,63	1,28
# 41	22,56	74,7	1,3
# 43	12,97	85,29	10,94
# 45	85,77	14,23	0
# 46	36,89	61,65	1,86
# 48	35,97	62,1	1,93
# 50	15,79	81,51	2,7

O granulômetro se mostrou uma ferramenta valiosa para a caracterização granulométrica. De acordo com as curvas granulométricas geradas, o solo marinho presente na área de interesse, para o período amostrado, é um Solo Silte-arenoso.

## Conclusões

Os resultados para este levantamento inicial mostram que, para esta campanha de monitoramento, realizada em Maio de 2018, anteriormente ao processo de dragagem, os sedimentos presentes na antepira do Balneário Cassino são preferencialmente silte e areia fina (Solo Silte-arenoso). Os monitoramentos continuando sendo realizados (durante o processo de dragagem) e estão previstos novos monitoramentos para o período pós-dragagem. Estes levantamentos, consorciados com dados de ecobatimetria dupla e de perfis de densidade *in situ*, permitirão uma melhor caracterização e delimitação mais precisa da lutoclina e das camadas de lama fluida para a área de estudo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Rede SiMCosta e ao Porto do Rio Grande, pela bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor (Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande. Convênio nº 868/2017 – SUPRG).

## Referencias

- ABNT (1986). NBR 6457: Amostras de Solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 9p.
- ABNT (1984). NBR 7181: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 13p.
- De-Zotti, C.O., (2018). 'Quantificação dos Sedimentos de um Depósito de Lama Fluida Através de Métodos Geofísicos'. Dissertação (Graduação em Oceanologia), Universidade Federal do Rio Grande, pp 12,16,21, 2018.

## ESTUDO EXPERIMENTAL DA RESPOSTADINÂMICA DE UMA VIGA-COLUNA SUPORTE DE UM RESERVATÓRIO EXCITADA POR MOVIMENTOS DE BASE

Gabriel Lavadouro de Melo, Waldir Terra Pinto

Laboratório de Interação Fluido-Estrutura, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

[gabriel.lavadouro@gmail.com](mailto:gabriel.lavadouro@gmail.com) ; [waldir.pinto@gmail.com](mailto:waldir.pinto@gmail.com)

### Introdução

O fenômeno de *sloshing* em tanques parcialmente cheios vem sendo amplamente estudado por poder ocasionar problemas de instabilidade em navios, caminhões e aeronaves, assim como danos estruturais em tanques de armazenamento de líquidos por conta das pressões exercidas nas paredes internas do reservatório (Hu et al 2018; Zhao et al 2014). Outrossim, as variáveis presentes no estudo de *sloshing* como o nível do líquido, a geometria do tanque e a frequência de excitação (Zhao et al, 2017), fazem com que uma análise experimental seja extremamente necessária para o melhor entendimento desse fenômeno.

Vários autores pretéritos realizaram estudos sobre *sloshing* visando compreender suas implicações na dinâmica de estruturas. Bulian e Cercos-Pita (2018) utilizaram um modelo de simulação conjunta não-linear, abrangendo a dinâmica de corpos rígidos e interação fluido-estrutura externa para analisar a dinâmica interna dos fluidos. Hu et al (2018) fazem uma análise das frequências naturais e formatos de *sloshing* em líquidos contidos em tanques bidimensionais com geometrias arbitrarias. Jena e Biswal (2017) utilizam um método de partículas sem malhas para simular situações de fluxo violento de *sloshing* em tanques retangulares parcialmente cheios. Akyildiz (2012) utiliza um algoritmo numérico baseado no volumen do fluido para avaliar o comportamento não-linear de *sloshing*.

Neste estudo, será analisado as frequências e os esforços gerados por um modelo físico composto, primeiramente, de duas hastes que serviram de suporte para um reservatório e, posteriormente, de um reservatório diretamente apoiado sobre a mesa vibratória. A análise será conduzida experimentalmente, levando em consideração diferentes níveis de água no reservatório.

### Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo estudar a interação fluido-estrutura do líquido com o reservatório, levando em consideração a influência da presença da haste sobre o sistema. Além disso, analisar como se dá a troca de energia da haste para o reservatório, pois a estrutura de suporte apresenta uma frequência natural, enquanto o reservatório possui outra, isso indica que há uma troca de energia na junção dos dois elementos estruturais.

### Materiais e Métodos

Para realizar este estudo, em um primeiro momento, foi montado um modelo experimental conforme a figura 1, composta por duas hastes verticais engastadas em uma mesa vibratória e um reservatório preso em sua extremidade livre, que posteriormente, seria apoiado diretamente na mesa vibratória para não sofrer influencia da haste na sua vibração.



Figura 1.- Modelo com as hastes

O sistema vibratório da base foi montado utilizando-se duas placas de madeira, com uma corredeira de gaveteiro, permitindo a excitação da base. As duas hastes são compostas por aço de dimensões 3,5 x 12,7mm e 76cm de comprimento, engastadas por duas cantoneiras. O reservatório foi feito de acrílico com dimensões segundo a figura 2, foi colado utilizando um silicone acético transparente e flexível, para garantir uma boa aderência entre as placas e impermeabilizar o sistema, em sua tampa, foi feita uma pequena abertura circular para a posterior inserção da água. Para a acoplagem do reservatório, as duas hastes foram encurvadas em suas extremidades formando uma espécie de cantoneira a qual foi parafusado uma chapa de acrílico, no qual serviu de apoio para a colagem do reservatório.

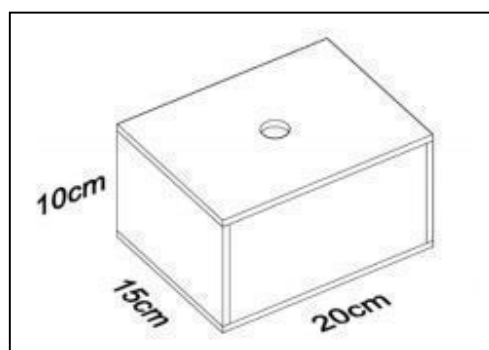


Figura 2.- Dimensões do reservatório

Para a aquisição de dados dos esforços gerados pelo reservatório foi acoplado uma célula de carga de 5kG da HBM abaixo do reservatório.

Para aquisitar os deslocamentos da mesa vibratória, foi acoplado na própria mesa, um sensor de posição da MICRO-EPSILON modelo optoNCDT 1302 que capta deslocamentos em uma faixa de 6cm à 20cm do sensor através de triangulação óptica a laser.

Para o segundo experimento, sem a utilização da haste, foi acoplado na mesa, com o auxílio de cantoneiras, uma célula de carga de 5kg da HBM, na qual serviria para medir os esforços gerados pela ação das ondas na parede do tanque, e então foi colocado o reservatório apoiado encima da célula de carga, conforme a figura 3.

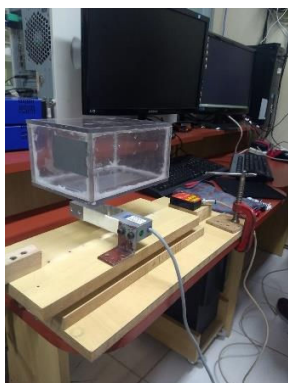


Figura 3.- Modelo diretamente apoiado sobre a mesa

Para o experimento, foi alterado o nível de água dentro do reservatório, a cada 500ml, até completar 1500ml, a base foi excitada manualmente, tentando manter uma frequência de aproximadamente 1Hz, e foi medido os esforços gerados na célula de carga quando há a presença da haste e quando ela é retirada.

### Avaliação dos Resultados

Os gráficos dos esforços medidos pela célula de carga quando o reservatório se encontrava apoiado diretamente na mesa vibratório podem ser vistos abaixo.

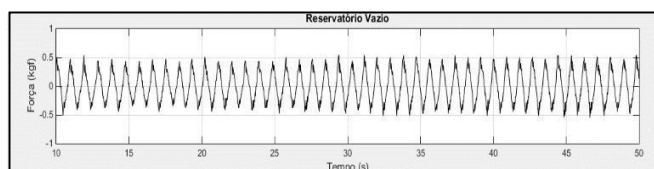


Figura 4.- Reservatório Vazio – Sem haste

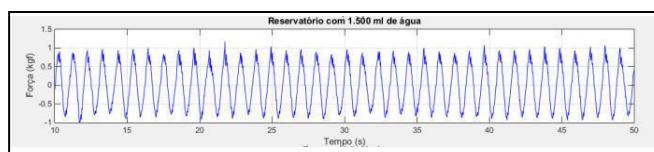


Figura 5.- Reservatório 1500ml – Sem haste

Como pode ser visto, os esforços ficaram entre uma faixa de 0,5kgf e 1kgf.

Os gráficos dos esforços quando as hastes foram adicionadas são encontrados abaixo

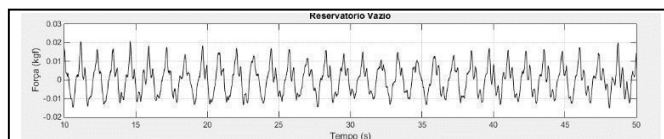


Figura 6.- Reservatório Vazio – Com haste

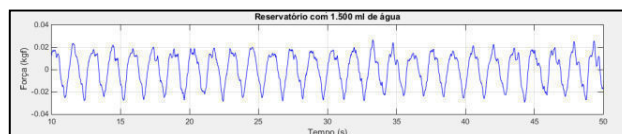


Figura 7.- Reservatório 1500ml – Com haste

Neste caso, os esforços foram um menores, estando entre uma faixa de 0,02kgf e 0,04kgf.

### Aplicações

Com os dados obtidos e analisados, é possível compreender como estruturas interagem com fluidos e quais parâmetros interferem em sua frequência natural, podendo assim, melhor dimensionar estruturas que serão submetidas a efeitos dinâmicos, como edifícios altos com piscinas, pontes e torres eólicas.

### Conclusões

O presente trabalho estudou a variação da frequência natural e os esforços de um sistema composto por duas hastes e um reservatório, sujeito a efeitos dinâmicos, e as variações geradas quando se é retirado as hastes, apoiando o reservatório diretamente sobre a mesa vibratória. Percebeu-se uma diferença nos esforços quando se adiciona as hastes, havendo uma redução dos esforços medidos pela célula de carga.

### Referências

- Akyildiz, H. (2012). A numerical study of the effects of the vertical baffle on liquid sloshing in two-dimensional rectangular tank. *Journal of Sound and Vibration*, 41-52.
- Bulian, G., & Cerco-Pita, J. L. (2018). Co-simulation of ship motions and sloshing in tanks. *Ocean Engineering*, 363-376.
- Hu, Z., Zhang, X., Li, X., & Li, Y. (2018). On natural frequencies of liquid sloshing in 2-D tanks using Boundary Element Method. *Ocean Engineering*, 88-103.
- Jena, D., & Biswal, K. C. (2018). Violent Sloshing and Wave Impact in a Seismically Excited Liquid-Filled Tank: Meshfree Particle Approach. *Journal of Engineering Mechanics*.
- Zhao, D., Hu, Z., Chen, G., Lim, S., & Wang, S. (2017). Nonlinear sloshing in rectangular tanks under forced excitation. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1-21.
- Zhao, W., Yang, J., Hu, Z., Xiao, L., & Tao, L. (2014). Hydrodynamics of a 2D vessel including internal sloshing flows. *Ocean Engineering*, 45-53.



## INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL SOBRE A INFLUÊNCIA DE ONDAS DE GRAVIDADE INCIDINDO EM ESTRUTURAS VERTICAIS

Amanda Basso<sup>1</sup>, Inácio Ribeiro<sup>2</sup>, Luana Marchetotti<sup>3</sup>, Débora Machado<sup>4</sup>, Waldir Pinto<sup>5</sup>

Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE)<sup>1,2,3,4,5</sup> – Escola de Engenharia / FURG

Universidade Federal do Rio do Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

amandahbasso@gmail.com<sup>1</sup>; inaciosr@gmail.com<sup>2</sup>; luanamarchetotti@hotmail.com<sup>3</sup>; deboramach@gmail.com<sup>4</sup>; waldirpinto@furg.br<sup>5</sup>

### Introdução

O homem sempre procurou instalar terminais de acostagem em locais naturalmente protegidos, onde o regime de agitação é mais favorável. Porém, tem ocorrido uma necessidade cada vez maior de instalar estruturas de atracação fora das bacias portuárias (devido ao crescimento dos calados das embarcações), em locais onde a agitação marítima é mais elevada e, portanto, menos propícia. Os danos sofridos pelas estruturas costeiras têm como uma de suas principais causas as erosões localizadas, o que pode acarretar em grandes investimentos de operações de reparação e manutenção, tornando assim, o estudo deste fenômeno de grande importância. (Bezerra, 2008).

A onda ao encontrar uma estrutura vertical (cais de acostagem, por exemplo) pode refletir promovendo a junção de duas ondas progressivas semelhantes, de sentido contrário, formando assim, uma onda estacionária, ou quasi-estacionária, também conhecida como clapotis. Esta por sua vez, caracteriza-se por ter nós e antinós bem definidos, onde, os pontos nodais são fixos e os pontos antinodais oscilam verticalmente entre cavas e cristas (Pereira, 2015). O clapotis pode gerar pressões dinâmicas e campos de velocidade na base da estrutura, ocasionando a erosão do material de fundo e, consequentemente, perda da integridade da mesma (Ribeiro et al., 2018).

### Objetivos

O trabalho desenvolvido visa analisar a influência da inclinação da parede na hidrodinâmica do escoamento para fundos móveis (areia) e sua interação com o sedimento de fundo, sob ação de ondas.

### Metodologia

O experimento foi realizado no canal de ondas do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE), lotado na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. O canal possui 16 m de comprimento com seção retangular de 0,79 m de altura por 0,71 m de largura. As ondas são geradas por um batedor do tipo cunha, com frequências que variam entre 0,3 e 1,5 Hz.

Esta metodologia já foi testada para os efeitos hidrodinâmicos com fundo rígido (Ribeiro et al., 2018). Assim, este trabalho dá continuidade ao anterior, mas agora com a parede apoiada em fundos não rígidos (banco de sedimento não coesivo).

Para verificar a influência que as ondas causam no solo junto a estruturas verticais (parede), uma placa de alumínio com dimensões de 0,71x0,85m foi utilizada para simular a estrutura de um cais de acostagem. A placa foi posicionada sobre uma seção de teste, contendo sedimento não coesivo (areia para representação do leito), com 1,20m de comprimento, altura de 0,12m e largura do canal. Configurou-se a base da placa a uma distância de 8,8m do gerador de ondas. A mesma foi vedada nas laterais impedindo a passagem de água para o outro lado do canal favorecendo, assim, a formação de ondas estacionárias (Figura 1). Para medir a elevação da onda gerada, duas sondas capacitivas (waveprobes) foram dispostas ao longo do canal. A primeira (wp1) a 3,5 m da parede e a segunda (wp2) a 1,3m (Figura 1).

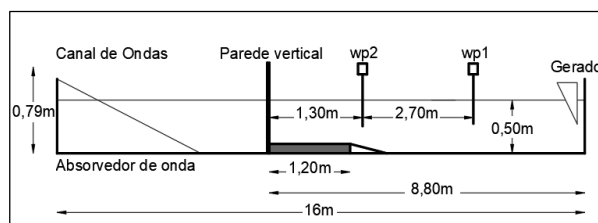


Figura 1. - Esquema do canal de ondas para a configuração #1 do experimento. Fonte: Autores.

Foram realizados testes para três configurações diferentes: configuração #1, parede a 0°; configuração #2, parede a 15° e configuração #3, parede a 25° (ângulo de inclinação com a vertical). Para cada configuração, três períodos de onda (T) foram testados (Tabela 1). Estes períodos foram previamente escolhidos para que a relação entre a altura de água e o comprimento de onda ( $h/L$ ) ficasse dentro da faixa de águas rasas a intermediárias. A profundidade d'água no canal foi mantida constante para todos os experimentos ( $h = 0,50$  m). A taxa de amostragem utilizada foi de 100 amostras por segundo e o tempo de aquisição, 300s.

Tabela 1.- Condições para a realização dos testes experimentais.

Configuração	Inclinação	$\Delta t$ (s)	T [s]
#1	0°	300	2,50
			1,85
			1,00
#2	15°	300	2,50
			1,85
			1,00
#3	25°	300	2,50
			1,85
			1,00

A fim de visualizar e medir os campos de velocidade formados pelo escoamento ao colidir com a parede, o sistema PIV (*Particle Image Velocimetry*) foi utilizado. Neste ensaio, a região escolhida para obtenção das imagens com este sistema foi logo acima do banco e junto à placa (Figura 2).

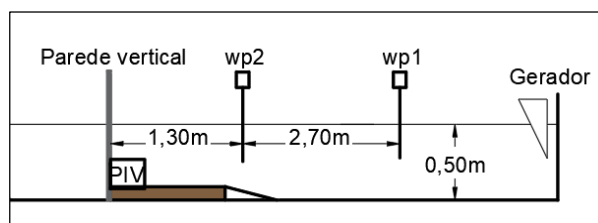


Figura 2. - Região de visualização do PIV. Fonte: Autores.

Os dados foram analisados a partir de rotinas implementadas no

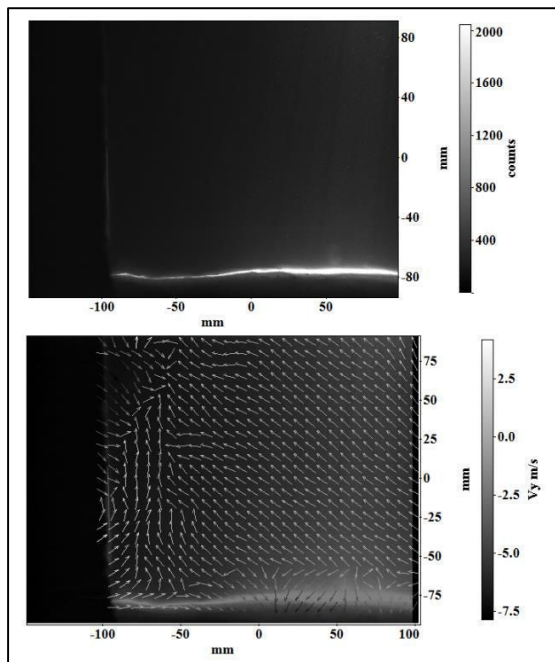


software MatLab e pelas imagens obtidas pelo sistema PIV.

## Resultados e Discussão

Devido a limitação de páginas, os resultados serão mostrados apenas para os casos onde os movimentos do sedimento de fundo foram mais pronunciados. Para isso, as imagens do sistema PIV serão utilizadas, conjuntamente com os campos de velocidade do escoamento.

As figuras 3 e 4, a seguir, apresentam o resultado para a onda com  $T = 1,0$  s, inclinação de  $0^\circ$  com a vertical e  $T = 1,0$  s, inclinação de  $25^\circ$  com a vertical, respectivamente. As imagens selecionadas correspondem ao final de cada teste (300 s).



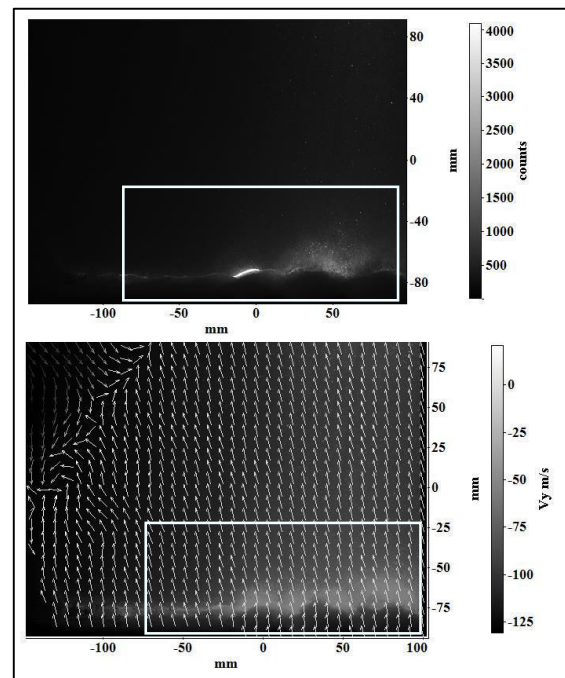
**Figura 3.** - Imagem do fundo capturada pelo PIV após a passagem da onda com  $T = 1,0$ s e campo de velocidades do escoamento para a configuração #1 (Parede na vertical,  $0^\circ$ ). Fonte: Autores.

A partir das imagens captadas pelo sistema PIV, as mesmas foram processadas e os campos de velocidades, gerados. Conforme já testado por Ribeiro et al. (2018), houve a formação de onda estacionária ou quasi-estacionária para todas as configurações propostas.

Para a configuração # 1, parede na vertical (Figura 3), a onda com período de  $T = 1,0$  s não formou *ripples* (ondulações causadas no leito marinho, em profundidades rasas, pela passagem da onda. Normalmente estas ondulações ocorrem em fundos arenosos). Entretanto, a mesma interagiu com o fundo, movimentando-o, porém, sem ressuspensão de sedimento. A incursão da onda medida na parede foi de 4,5 cm.

Para a configuração # 3, parede a  $25^\circ$  com a vertical, houve a formação de *ripples* (Figura 4 – retângulo branco) pela passagem da onda de  $T = 1,0$  s. A mesma remobilizou e ressuspendeu o sedimento de fundo. Com esta inclinação os *ripples* se formaram praticamente em todo o fundo, apresentando cristas e cavas uniformemente distribuídas. A incursão da onda medida na parede foi de 7,5 cm. Já para a parede a  $15^\circ$  com a vertical (não mostrado neste trabalho) e para o mesmo período de onda, os *ripples* se formaram mais afastados da parede, aproximadamente a 40 cm da

mesma.



**Figura 4.** - Imagem do fundo capturada pelo PIV após a passagem da onda com  $T = 1,0$ s e campo de velocidades do escoamento para a configuração #3 (Parede a  $25^\circ$  com a vertical). Fonte: Autores.

O movimento oscilatório da onda, que causa a pressão dinâmica no fundo, tem sua forma alterada devido a inclinação da parede (a onda passa a ter o seu plano médio acima do nível d'água em repouso). Aparentemente, isto faz com que as velocidades do escoamento também sejam alteradas, influenciando diretamente no movimento do fundo. Entretanto, uma análise mais aprofundada deverá ser realizada nos campos de velocidade gerados.

## Conclusão

A partir das imagens adquiridas pelo PIV e dos campos de velocidades gerados pelo mesmo, pôde-se concluir que a inclinação da parede influencia no transporte de sedimento de fundo. A formação de ondulações no fundo (*ripples*) se deu para as configurações #2 e #3 e para todos os períodos de onda gerados. Entretanto, dependendo da combinação inclinação versus período de onda, o padrão de formação e localização destas ondulações mudam. Para a configuração #1, as pressões dinâmicas são maiores, colaborando para a retirada de sedimento de fundo junto à parede.

## Referências Bibliográficas

- Ribeiro, I. S., Basso, A. H., Marchetotti, L. F., Machado, D.M., (2018). "Uma Investigação Experimental sobre os Efeitos Hidrodinâmicos da Reflexão de Ondas Incidindo sobre Paredes". *27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore – SOBENA 2018*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Bezerra, P. I. B. (2008). *Estudo de Soluções Mitigadoras de Erosões Localizadas em Estruturas de Defesa Costeira*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Porto, Portugal.
- Pereira, T.A. (2015). *Forças em Estruturas de Acostagem Descontínuas em Zonas Desabrigadas: Avaliação de ferramentas de cálculo existentes*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Universidade do Porto – Porto, Portugal.

## ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS COM MEDIDOR DE DENSIDADE *IN SITU* (RHEOTUNE)

L. Fiorini<sup>1</sup>, L. Pool<sup>2</sup>, D. M. Machado<sup>3</sup> e J. A. S. Fontoura<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Laboratório de Engenharia Costeira (LEC); <sup>3</sup>Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE)  
Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande do Sul, Brasil;  
(55) 53 997098645<sup>1</sup>.

lpfiorini@gmail.com<sup>1</sup>; lais.pool@gmail.com<sup>2</sup>; deboramach@gmail.com<sup>3</sup>; josefontoura@furg.br<sup>4</sup>

### Introdução

A presença de sedimentos coesivos, especialmente na Praia (Balneário) do Cassino, localizada ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos (RS-Brasil), tem chamado atenção de diversos pesquisadores, tornando-se um importante foco de pesquisas no campo da Engenharia Costeira. Vários estudos já comprovaram a existência de bolsões de lama ao largo, que podem, em eventos de alta energia de ondas, serem remobilizados e lançados à praia (Calliari et al., 2001). Buscando melhor entender os fenômenos que levam o aparecimento da lama na porção subaérea da praia, estudos recentes de monitoramento dos bolsões de lama submersos em frente ao Balneário Cassino foram realizados, com auxílio de sondas batimétricas, coletas de amostras de fundo e Rheotune® (Stema Systems).

Os dados do presente trabalho se referem a amostras coletadas com o aparelho de medição *in situ* Rheotune®, os quais foram analisados no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), com auxílio do software *RhelEdit*. Este trabalho faz parte de um grande projeto intitulado “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande”, da rede SiMCoSta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) e Porto do Rio Grande.

### Objetivo

Este trabalho tem por objetivo mapear a espessura da camada de lama submersa em frente ao Balneário Cassino, através de medidas de densidade *in situ*, buscando a validação das informações obtidas com o ecobatímetro de dupla frequência.

### Metodologia

Para o estudo em questão, uma malha amostral foi previamente definida para o local de interesse (Figura 1).

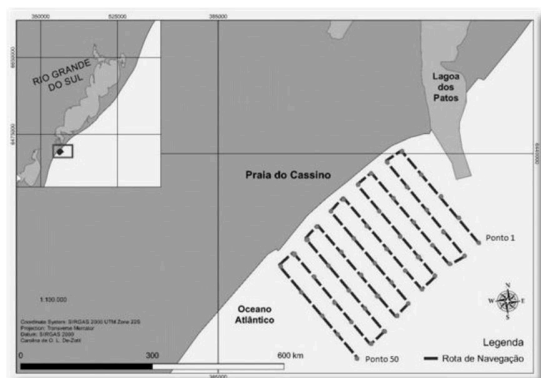


Figura 1. – Malha amostral contendo os pontos de monitoramento. Fonte: De-Zoti, 2018.

Esta malha corresponde a 10 transectos (espaçamento de 1 km entre linhas), com 05 estações, ou pontos, em cada um, totalizando assim,

50 estações de amostragem. As linhas, ou transectos, vão desde a zona de surf (5 m) até a profundidade de 10 m, aproximadamente, na antepraia.

A metodologia adotada foi amostrar três estações ao longo de cada transect (total de 30 estações amostradas). Esta metodologia foi aplicada com o intuito de maximizar o uso da embarcação, conseguindo desta forma, abranger um número maior de pontos em menor tempo. Isso garantiu a coleta de dados em todos os transectos para posterior confecção dos mapas de fundo.

A coleta dos dados foi realizada em Abril de 2018, em diferentes profundidades. Os pontos amostrados foram determinados mediante observação da presença de lama com um ecobatímetro de dupla frequência. O perfil de densidade só foi medido quando o ecobatímetro mostrava um possível fundo marinho com lama mais fluida. De posse desta informação, descia-se o equipamento e fazia-se o perfil (Figura 2). Cada ponto foi identificado e a localização geográfica foi registrada. Nos casos em que o ecobatímetro acusava possível presença de lama fora dos pontos da malha amostral, faziam-se as medições e estes pontos eram denominados como pontos extras.

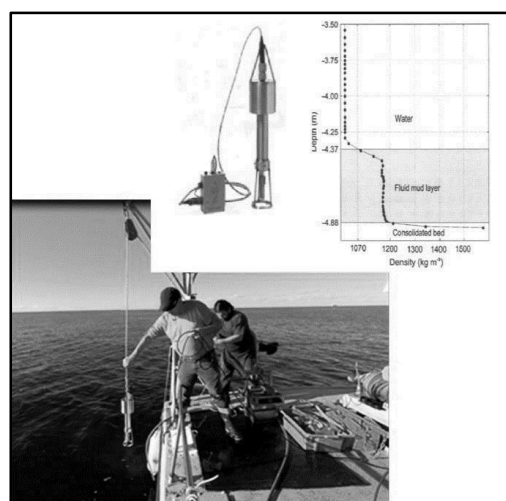


Figura 2. – Rheotune (LEC) em saída de campo (Abril de 2018). Fonte: Autores.

O Rheotune fornece perfis verticais de densidade *in situ* (cujos dados devem ser pós calibrados, em laboratório, através de curvas padrão obtidas com amostras de fundo do local). Para a coleta dos dados foi necessário, primeiramente, a calibração de duas profundidades no aparelho, em um local com a mínima perturbação possível para que o mesmo indique a profundidade real do local de estudo. Esta calibração da leitura da profundidade no local é importante para não acrescentar erros na medição da espessura da camada de lama/lama fluida.

Para as medições *in situ*, faz-se necessário que o equipamento realize o perfil no mínimo três vezes consecutivas no mesmo ponto, evitando erros causados pela descida ou subida acelerada bem como possíveis inclinações ao tocar o solo arenoso ou a camada de lama/lama fluida devido a correntes litorâneas. Durante a coleta dos dados é possível visualizar os perfis brutos obtidos (perfis sem calibração). Em laboratório, os arquivos gerados em campo foram passados em um filtro de calibração. Este filtro deve ser feito com o sedimento do local. Sendo assim, é necessário que o *software* do equipamento seja calibrado com uma amostra significativa do local de estudo. Para este trabalho a curva de calibração (curva padrão) foi realizada com a lama do bolsão submerso em frente ao Balneário Cassino. Após a obtenção da curva padrão para o local, os dados coletados (perfis de densidade) foram, por fim, calibrados e analisados.

## Resultados e Discussão

Os resultados obtidos, para os perfis de densidade, na área de interesse deste trabalho, serão apresentados na forma de gráficos de densidade versus profundidade (Figuras 3 e 4 a seguir).

Conforme explicado anteriormente na metodologia, os pontos foram amostrados mediante observação da presença de lama com um ecobatímetro de dupla frequência. Este procedimento foi realizado para toda a malha amostral (Figura 1). Devido a limitação de páginas, optou-se por mostrar apenas dois perfis. Entretanto, foram obtidos perfis de densidade para todos os pontos possíveis.

Analisando os perfis gerados após a calibração em laboratório, é possível visualizar a lutoclina formada no ponto extra #01 (Figura 3). A mudança brusca no perfil indica mudança significativa de densidade, tendo como marco a profundidade de 7,0 m e término a profundidade de 7,5 m aproximadamente, indicando uma camada de lama de 0,5 m, a qual tem como densidade inicial o valor de 1020 g/l e final de 1360 g/l, apresentando camadas de lama fluida (em torno de 1200 g/l) e lama mais consolidada.

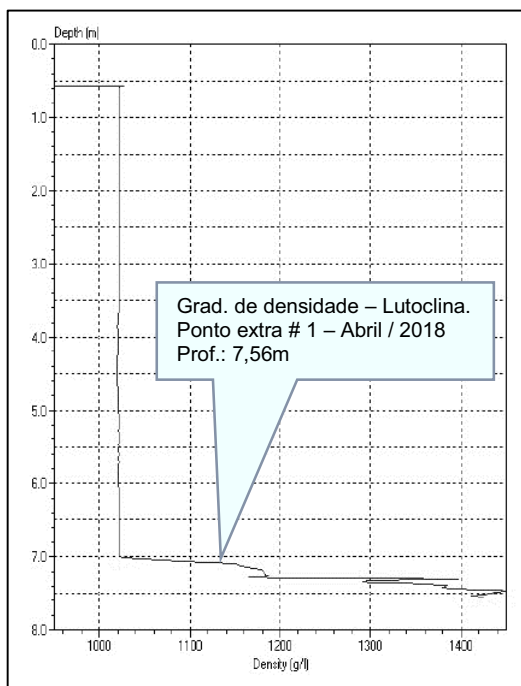


Figura 3. – Perfil de densidade obtido com o Rheotune para o Ponto Extra # 01. Fonte: Autores.

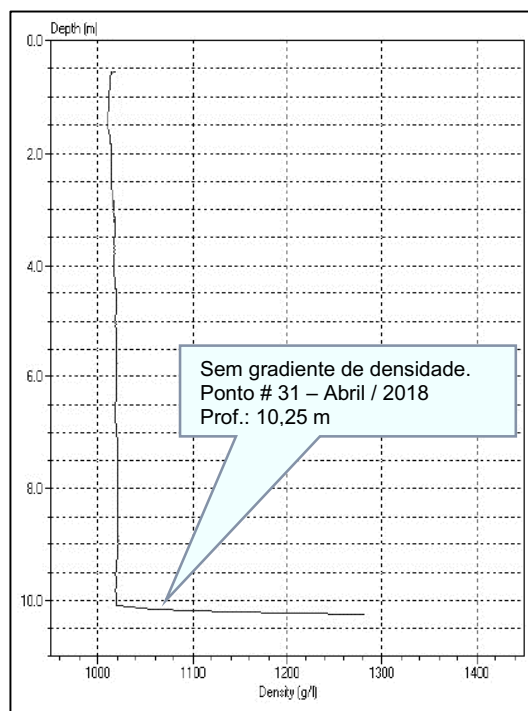


Figura 4. – Perfil de densidade obtido com o Rheotune para o Ponto # 31. Fonte: Autores.

Para o ponto # 31 (Figura 4), localizado na profundidade de 10,25 m, o perfil não apresenta gradiente significativo de densidade, indicando que o fundo é arenoso ou de lama consolidada, pois o Rheotune não foi capaz de penetrar.

## Conclusão

A utilização do Rheotune para medições de densidade *in situ* foi objeto deste estudo. O mesmo, consorciado com dados de ecobatimetria de dupla frequência, permitiu a localização e o mapeamento da espessura da camada de lama submersa em frente ao Balneário Cassino. Estes dados permitirão uma melhor caracterização e delimitação mais precisa da lutoclina e das camadas de lama fluida. Como este trabalho inicial faz parte de um projeto de monitoramento, os levantamentos continuam sendo realizados (durante o processo de dragagem) e estão previstos novos levantamentos para o período pós-dragagem

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Rede SiMCosta e ao Porto do Rio Grande, pela bolsa de Iniciação Científica concedida a primeira e segunda autoras (Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande. Convênio nº 868/2017 – SUPRG).

## Referências

- Calliari, L.J.; Seranski, N.S.; Torronteguy, M. & Oliveira, M.B. (2001). The Mud Banks of Cassino Beach, Southern Brazil: Characteristics, Processes and Effects. International Coastal Symposium (ICS 2000), New Zealand, *Journal of Coastal Research*, 34(S1):318-325.
- De-Zotti, C.O. (2018). 'Quantificação dos Sedimentos de um Depósito de Lama Fluida Através de Métodos Geofísicos'. Dissertação (Graduação em Oceanologia), Universidade Federal do Rio Grande, pp 12,16,21, 2018.

## MEDICIONES DE CONCENTRACIÓN CON SONDAS DE TURBIEDAD (OBS) EN LA PRESENCIA DE MEZCLAS DE SEDIMENTOS

Yasmin W. Goes<sup>1</sup>, Gabriela V. Buraschi<sup>1</sup>, Luana C. Freire<sup>1</sup>, Benevidez C. Xavier<sup>1</sup>, Ana Maria T. Alvarez<sup>2</sup>, Marcos N. Gallo<sup>1</sup> y Luis Gallisa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Dinámica de Sedimentos Cohesivos, Programa de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Federal de Río de Janeiro – Brasil. Tel. +55 (21) 3938-8811 yasminwgoes@poli.ufrj.br; gvburaschi@oceanica.ufrj.br; luana\_freire@oceanica.ufrj.br; benecxav@gmail.com; marcosgallo@oceanica.ufrj.br; lula@if.ufrj.br

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe – Argentina - talva3@hotmail.com

### Introducción

Para la medición continua de concentración de sedimentos in situ se pueden utilizar métodos ópticos y acústicos. Los principios de medición utilizados son similares y se pueden clasificar en tres (ISO, 2014): transmisión, dispersión y difracción.

Los dispositivos ópticos emiten luz y luego miden el total reflejado, que es proporcional a la concentración de sedimentos. Entre los principales instrumentos pueden citarse los de las familias del OBSs (Optical Backscatter Sensors) y LISSTs (Laser In Situ Scattering Transmissometers).

Específicamente, los OBSs miden la concentración por la detección de la radiación infrarroja (IR - 75nm) esparcida por partículas. Es sabido y bien documentado (White, 1998; Downing, 2006) que la sensibilidad de retrodispersión óptica de manera muy diferente a diferentes tipos de sedimentos, tamaño, color y composición.

La presencia de mezcla de sedimentos es muy común en varios ambientes, como regiones costeras, deltas o estuarios y ríos. Por ejemplo, es común encontrar presencia de arenas en suspensión y carga de lavado, o en situaciones extremas, como durante crecidas. También, en caso de presencia de floculación, los OBSs serían incapaces de distinguir entre partículas y flóculos.

Estos sensores tienen ganancias ajustables, lo que permitiría adecuar la medición para diferentes tipos de sedimentos. El problema es que ganancia y sensibilidad están inversamente relacionadas (White, 1998). En mezclas de arena y finos, por ejemplo, si se configura una ganancia baja para detección de finos, la señal sería insensible a variación de arena. Entonces el análisis de las mediciones en campo se torna más complicado cuando coexisten diferentes fracciones de sedimentos.

### Objetivos

El objetivo de este trabajo es mostrar, a través de mediciones controladas en laboratorio, las dificultades en la medición de concentraciones con sondas de OBS en la presencia de mezclas de sedimentos.

### Metodología

En este trabajo se presentan ensayos para medición de concentración con una sonda de turbiedad (modelo 3A Campbell D&A Instruments) y presencia de mezcla de sedimentos en diferentes proporciones. Fue utilizado un reactor de acrílico transparente de 0,40 m de diámetro y 0,50 m de alto, equipado con un motor con acople mecánico para permitir la agitación de la mezcla en condiciones controladas. (Figura 1).



Figura 1.- Disposición del aparato instrumental utilizado en los experimentos, tanque de acrílico y OBS.

En los ensayos fue empleada agua destilada, sedimentos naturales (arenas y finos) y microesferas de vidrio. La granulometría de las partículas (Figura 2) fue determinada utilizando un granulómetro a laser, modelo Mastersizer 2000. Fueron utilizadas esferas de vidrio de diámetro mediano de 0.094 mm y sedimentos naturales del río Amazonas con intervalo de tamaño de aproximadamente 0.001 a 0.110 mm. Para la separación de los sedimentos en las fracciones finas y gruesas fue usado el tamizado húmedo en el tamiz #230 (0.063 mm).

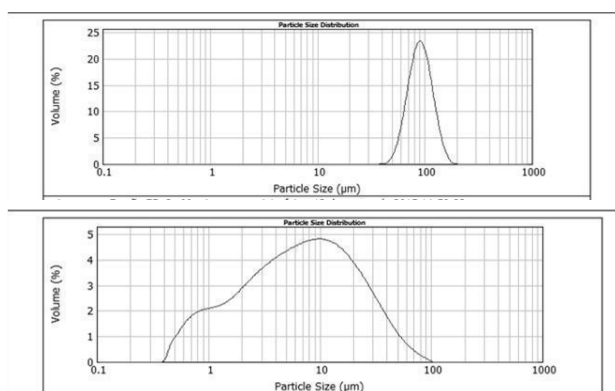


Figura 2.- Distribución granulométrica de material usado en los ensayos (arriba, esferas de vidrio y abajo, sedimentos naturales).

Las mediciones de turbiedad (en unidades de NTU) fueron realizadas con un OBS 3A (Campbell Scientific), calculando valores promedios durante 60 segundos. Todas las mediciones fueron comparadas con determinación de concentraciones a través



de colecta física de muestras, próximo del volumen de medición de la sonda. El muestreo fue realizado con una bomba peristáltica de caudal controlado (Masterflex L/S con cabeza/7024) y colectando volúmenes de aproximadamente 200 ml. Los análisis de concentración fueron realizados según la norma ABNT NBR 7181, y con un sistema de filtrado en membranas de acetato de celulosa de porosidad 0.45  $\mu\text{m}$ . Las concentraciones obtenidas fueron calculadas a través de la media aritmética de 3 determinaciones.

## Resultados

Inicialmente fueron verificados los límites de saturación de la sonda OBS, para los diferentes tipos de materiales (Figura 3). Se puede observar que la respuesta de dispersión al aumento de concentraciones (NTU vs. CSS), está formada por 2 partes: una rampa ascendente y otra horizontal. La primera parte muestra la relación lineal comúnmente usada para determinar la calibración de las sondas. Como mostrado en la Figura 3, esta parte de la relación depende del tipo de sedimento, ya que la inclinación de la rampa es diferente, cuando se consideran esferas de vidrio o material natural. La segunda parte muestra la saturación de la sonda (que para el instrumento usado es de 2242 NTU). Como observado en la Figura 2, el valor de concentración al cual satura es diferente según el tipo de material y tamaños utilizados.

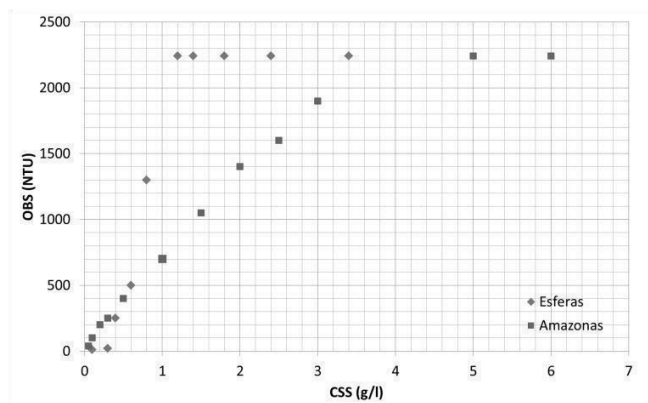


Figura 3.- Dispersión óptica registrada por la sonda (esferas de vidrio y sedimentos naturales), considerando intervalos crecientes de concentraciones.

Luego fueron realizados 5 experimentos adicionales, considerando diferentes mezclas de sedimentos naturales (finos/gruesos) en diferentes proporciones (10/90; 25/75; 50/50; 75/25 y 90/10).

La figura 4 muestra los resultados de la comparación de los ensayos considerando mezclas de sedimentos con concentraciones dentro de la parte lineal de la relación. Puede ser observado que la sensibilidad de la sonda es mucho mayor para la fracción fina, o sea, para el mismo valor de concentración, la respuesta de la sonda (NTU) es más elevada cuanto mayor es la proporción de materiales finos presentes. Esto puede ser explicado por las diferentes proporciones de señal esparcida y atenuada por cada fracción, considerando la teoría de Rayleigh.

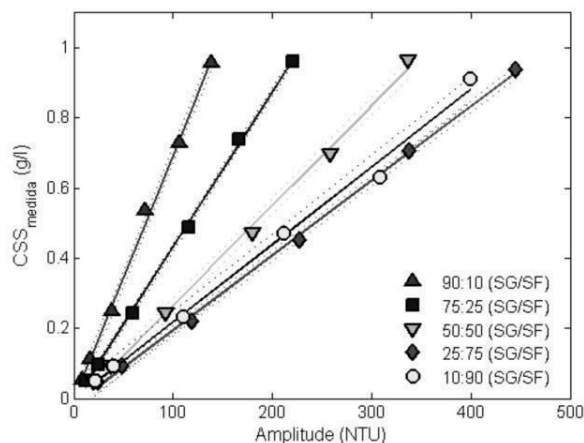


Figura 4.- Relación entre las mediciones de la sonda (NTU) y concentraciones medidas (CSS) según diferentes proporciones de mezclas de sedimentos, (gruesos SG/ finos SF).

## Conclusiones

Las desventajas del uso de sondas OBS incluyen la dependencia de la sensibilidad al tamaño de partícula. Cuando los usuarios no son conscientes de los cambios en los tamaños (en tiempo), las concentraciones pueden parecer que cambian debido a esos cambios de tamaño. Esto puede ser resuelto con sensibilidad variable del instrumento.

Sin embargo, los resultados de este trabajo permitieron cuantificar los errores cometidos en las mediciones de concentración en la presencia de mezcla de sedimentos. O sea, el problema continua cuando diferentes fracciones de sedimentos coexisten en el ambiente, por ejemplo, en caso de floculación o cargas de sedimentos de diferentes orígenes.

Se puede concluir, que es imprescindible la calibración de la sonda con el mismo tipo de sedimento, preferiblemente antes y después del experimento o medición de campo. En la práctica, el único caso en que los OBSs aparecen usables en mezclas, sería cuando la concentración de una fracción es relativamente estable. Se recomienda el uso de por lo menos 2 equipos con sensibilidad diferente, o uso complementario de otros instrumentos, como por ejemplo, acústicos (ADV, ADCP, ADP).

## Agradecimientos

El trabajo está inserido en el proyecto “Estudio sedimentológico, geológico e hidráulico en ambientes fluviales de llanura” – CAI+D 2016 (UNL).

## Referencias Bibliográficas

- Downing, J. (2006). *Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly*. Continental Shelf Research 26: 2299–2318.
- International Standard, ISO 11657 (2014). *Hydrometry — Suspended sediment in streams and canals — Determination of concentration by surrogate techniques*. 20 pp.
- White, T. E. (1998). *Status of measurement techniques for coastal sediment transport*. Coastal Engineering 35: 17–45.



# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO AVANÇO DE UM MODELO DE EMBARCAÇÃO

Hema Carla Rodrigues Moreira, Waldir Terra Pinto.

Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande –RS, Brasil.

[hemamoreira95@gmail.com](mailto:hemamoreira95@gmail.com)

[waldir.pinto@gmail.com](mailto:waldir.pinto@gmail.com)

## Introdução

A resistência ao avanço é considerada uma força resultante que se opõe ao movimento de uma embarcação que se desloca com velocidade constante em águas tranquilas. O estudo da resistência permite o dimensionamento eficiente do casco de uma embarcação, assim como a estimativa de potência e avaliação de fatores a serem considerados durante o projeto do navio. O método mais comum para a estimativa da resistência ao avanço consiste na realização de ensaios de reboque ou arrasto, em tanques de prova.

Este trabalho apresenta um estudo experimental sobre a resistência ao avanço de um casco deslocante por meio da realização de ensaios de arrasto no Canal de Testes do laboratório de Interação Fluido-Estrutura (LIFE-FURG) utilizando uma plataforma de reboque com células de carga acopladas, e seguindo as recomendações da associação Internacional Towing Tank Conference (ITTC).

A embarcação estudada é um modelo reduzido de rebocador cujo principal atributo de desempenho é a força. Com o intuito de analisar o deslocamento do modelo em ambiente experimental, foram efetuados experimentos de medição da resistência ao avanço para diferentes valores de velocidade e diferentes perfis de onda nos quais o modelo foi submetido. A configuração de hardware, dados de medição e depuração foi promovida por meio da programação gráfica do software LabView. Em seguida, a análise de dados foi realizada em ambiente MATLAB, cuja interface permite a construção de gráficos a partir dos sinais obtidos nos experimentos.

## Objetivo

Estimar a resistência ao avanço de um modelo de embarcação, através da realização de ensaios experimentais em Canal de testes;

## Objetivos específicos

- Aplicar conhecimentos teóricos de hidrodinâmica em ensaios de engenharia;
- Explorar conhecimentos específicos da Engenharia Naval;
- Melhorar o desempenho do modelo visando competições universitárias;
- Elaborar estudos hidrodinâmicos para o laboratório de interação fluido estrutura (LIFE – FURG);
- Obter resultados de resistência ao avanço em função da velocidade da embarcação;

## Materiais e Métodos

O requisito básico de um ensaio de resistência em tanque de reboque é que o modelo deve ser geometricamente semelhante ao navio onde quer que esteja em contato com a água. Esta condição pode não ser possível em todos os casos devido aos materiais de construção em escala do modelo e devido ao tamanho.

Além disso, é desejável que quaisquer desvios de similaridade sejam conhecidos e documentados. No presente estudo, os materiais usados para modelo de casco de navio incluem madeira, fibra de vidro, resina e tintas náuticas. Foi escolhido um modelo de rebocador portuário cujo plano de linhas é mostrado na Figura 1. A Figura 2, por sua vez, ilustra o modelo no canal de testes.

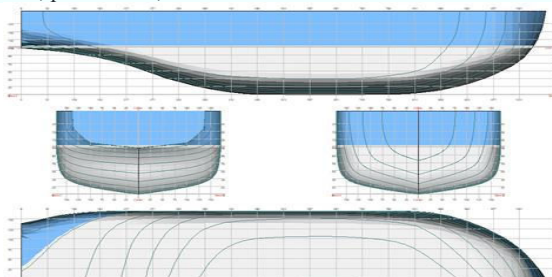


Figura 1. Plano de Linhas do modelo a ser rebocado.

O modelo foi escolhido pela simplicidade geométrica e pela facilidade de se obter o plano de Linhas. As etapas de obtenção do modelo consistiram em:

1. Escolha do projeto de protótipo
2. Análise dos coeficientes de forma do protótipo
3. Aplicação de escala de redução para dimensionamento do modelo
4. Levantamento do material para a confecção do modelo
5. Construção do modelo

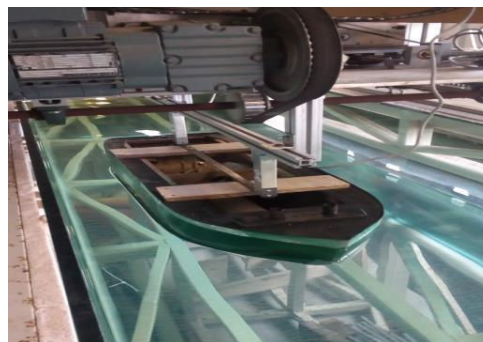


Figura 2. Modelo pronto e acoplado no tanque de ensaio.

A metodologia proposta para a determinação da Resistência ao avanço do modelo seguiu o procedimento da associação de padronização dos métodos de estimativa, a *International Towing Tank Conference*, e pode ser descrita nos seguintes tópicos:

- Foram estudadas 6 velocidades de avanço, sendo elas: 0,17m/s, 0,28m/s, 0,38m/s, 0,48m/s, 0,58m/s, 0,68 m/s.
- Foram realizados 3 ensaios no tanque de reboque: Ensaio de resistência ao avanço, ensaio de resistência ao avanço com geração de ondas, ensaio de resistência ao avanço com propulsão do modelo. Cuja esquematização é mostrada na Figura 3.

- Foram determinados os números de Froude do escoamento, assim como os coeficientes de resistência total do modelo.

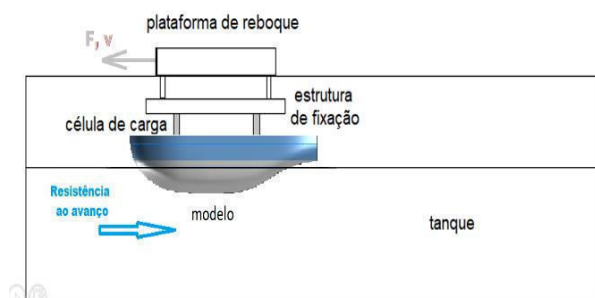


Figura 3. Esquemática dos Ensaios de arrasto.

O objetivo do ensaio de arrasto do modelo era efetuar a medição com célula de carga da força de arrasto que é contrária ao movimento da embarcação, originada pelo atrito da superfície da água com a área de carena (área submersa) do modelo. O procedimento de ensaio consistiu em:

1. Configuração do ambiente de aquisição de dados;
2. Pesagem do modelo;
3. Colocação e posicionamento do lastro;
4. Fixação do modelo na plataforma de reboque;
5. Conexão da célula de carga nos canais CC1 e CC2 da plataforma;
6. Posicionamento da plataforma na posição inicial do comprimento de arrasto;
7. Ligação do Inversor;
8. Configuração de Frequência – velocidade de reboque;
9. Acionamento do sistema de aquisição de dados;
10. Reboque do modelo ao longo do canal;
11. Aquisição de sinais ao longo do deslocamento;

### Avaliação dos Resultados

Após a obtenção dos valores de medição da força de arrasto, foi realizada a correção do sinal de cada uma das medições realizadas nos ensaios e análise da tendência da força de arrasto, foram obtidos os valores de resistência ao avanço em kg para a proa e para a popa do modelo, e posteriormente foram somadas as parcelas de resistência. Os resultados da resistência ao avanço com propulsão e com geração de ondas são descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Velocidade de Reboque (m/s)	Número de Froude	Resistência de avanço total (N)	Resistência ao avanço propulsão (N)	Força gerada propulsão (N)
0,17	0,052	23,54	66,70	43,16
0,28	0,085	30,41	69,65	39,24
0,38	0,116	33,35	86,33	52,98
0,48	0,147	43,16	97,12	53,96
0,58	0,178	49,05	108,89	59,84
0,68	0,208	63,76	115,76	52,00

Tabela 1. Resultados obtidos nos ensaios para a resistência total em N.

Os resultados indicam que a resistência ao avanço cresce em termos de força, conforme a velocidade de reboque é aumentada, o que já era esperado. O acréscimo de resistência

causado pelo deslocamento com propulsão acionada não é tão significativo na proa como na popa. O acréscimo de resistência causado pela geração de onda por outro lado é mais expressivo ao redor da proa.

O mesmo processo de obtenção do resultado final da análise de resistência ao avanço foi realizado para o ensaio com geração de ondas e deste modo foram calculadas também as parcelas de resistência residual para cada o ensaio com 0,28 m/s e o ensaio com 0,58m/s. Constatou-se que a velocidade mais alta utilizada apresentou menores acréscimos de resistência de onda, quando comparada ao ensaio sem ondas para a mesma velocidade.

Período de ondas (RPM)	Velocidade de 0,28 m/s		Velocidade de 0,58 m/s	
	Resistência total de avanço com ondas (N)	Parcela de resistência residual (N)	Resistência total de avanço com ondas (N)	Parcela de resistência residual (N)
2,43	35,31	4,90	43,16	-5,89
1,94	37,28	6,87	49,05	0
1,62	43,16	12,75	53,96	4,91
1,39	48,07	17,66	60,82	11,77
1,22	55,92	25,51	70,63	21,58

Tabela 2. Resultados obtidos nos ensaios para a resistência com ondas.

### Aplicações e Conclusão

Observou-se ao longo do estudo que as ondas geradas aumentaram a resistência ao avanço de 16% à 84% na velocidade de reboque de 0,28m/s, conforme o período de onda era diminuído, e a resistência ao avanço com geração de ondas na velocidade de reboque de 0,58m/s teve um acréscimo de 10% a 43%. Porém, é importante salientar que houve influência das paredes e do fundo do canal nos resultados, o que contribuiu para a obtenção de valores altos de resistência ao avanço em ondas.

No ensaio de arrasto com propulsão, a medição de força nas células de carga também foi grande, resultando em uma média de 50% de acréscimo de força nas medições. Isto se deu principalmente pela força a favor do movimento gerada pelos hélices e também pela interação entre o modelo e a plataforma.

Apesar das incertezas de medição e da presença de influências externas nos ensaios, foi possível obter valores coerentes para a estimativa de resistência ao avanço e analisar minuciosamente algumas das parcelas que aumentam gradualmente esta força contrária ao movimento de uma embarcação.

### Referências Bibliográficas

- ITTC 2017, Report of the 28<sup>th</sup> ITTC Resistance Committee.
- LEWIS, E. V. (1988). **Principles of Naval Architecture**. 2 ed. Cidade de Jersey, USS.
- MOLLAND, A. F.; TURNOCK, S. R.; HUDSON, D.A. (2011). **Ship Resistance and Propulsion**. University of Southampton. Cambridge University Press, Crambridge, USS.

TRINDADE, J. (2012). **Hidrodinâmica e Propulsão: Engenharia de Máquinas Marítimas**. [S.l.]: ENIDH. Lisboa, Portugal.

## UTILIZAÇÃO DE CILINDROS FLEXÍVEIS PARA PROTEÇÃO COSTEIRA

Luana de Freitas Marchetotti<sup>1</sup>, Amanda Helena Basso<sup>1</sup>, Débora Martins Machado<sup>1</sup>, Waldir Terra Pinto<sup>1</sup>

Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brasil  
luanamarchetotti@hotmail.com, amandahbasso@gmail.com, deboramach@gmail.com, waldirpinto@furg.br

### Introdução

Grande parte da população mundial vive e trabalha próximo à costa ou junto a ela. Sabe-se que nesta região existem diversos fatores que podem afetar tanto a morfologia costeira como a população que ali está (Zimmermann et al., 2005). Variações dos níveis de água e onda, conjuntamente com a oscilação das marés e correntes locais, podem desencadear processos de erosão ou acreção da linha de costa.

Diversos centros de pesquisa em engenharia costeira vêm demonstrando a vulnerabilidade de cidades costeiras frente as modificações climáticas globais de vento, ondas e nível médio do mar (Muehe, 2010). Qualquer alteração na energia que atinge um sistema praiado, produz uma reorganização na morfodinâmica do local, afetando o aporte de sedimentos (Nemes et al., 2018).

O engordamento de praia é uma das principais estratégias da engenharia costeira, segundo Van Rijn (2011), para tentar controlar o processo erosivo/destrutivo. Entretanto, muitas vezes junto com o engordamento faz-se necessário acoplar uma obra (esporões, quebra-mares, etc) para que não haja perda eventual de sedimentos e um possível colapso da estratégia utilizada a médio e longo prazo.

Buscando alternativas diferentes às já tradicionais obras de proteção costeira utilizadas pela engenharia, este trabalho apresenta um estudo experimental, em um canal de ondas, de um grupo de cilindros dispostos lado a lado, submetidos a incidência de ondas.

A ideia central é a utilização de cilindros flexíveis para absorver a energia das ondas geradas, já que estruturas de proteção baseadas na reflexão da energia acabam por transferir o problema para outra região. Para isso, vários arranjos (configurações) experimentais são propostos e testados.

### Objetivos

O objetivo deste trabalho é testar experimentalmente um grupo de cilindros flexíveis como uma estrutura para proteção costeira, quantificando as possíveis alterações no escoamento da onda (devido a presença dos cilindros), com ênfase na atenuação da mesma.

### Metodologia

Os testes foram realizados no canal de ondas do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE), lotado na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). O mesmo possui 16 m de comprimento e seção transversal de 0,71x0,79m (Figura 1). O canal possui um gerador de ondas do tipo cunha cujas amplitudes e frequências variam de 0 a 15 cm e de 0,3 a 1,5 Hz, respectivamente.

Para simular a estrutura de proteção costeira, espaguete de piscina foram utilizados. Os espaguete (ou cilindros flexíveis) possuem 6 cm de diâmetro e 76 cm de comprimento, aproximadamente. Uma extremidade foi fixada ao fundo do canal e a outra foi mantida livre.



Figura 1. – Canal de Ondas do LIFE. Fonte: Autores.

Foram testadas quatro configurações de cilindros flexíveis dispostos lado a lado: a primeira configuração corresponde a utilização de uma fileira apenas de cilindros; a segunda corresponde a utilização de duas fileiras de cilindros; a terceira a três fileiras de cilindros e a quarta configuração corresponde a utilização de quatro fileiras de cilindros (Figura 2), todas dispostas transversalmente ao canal de ondas. O espaçamento utilizado entre fileiras foi de 6 cm.

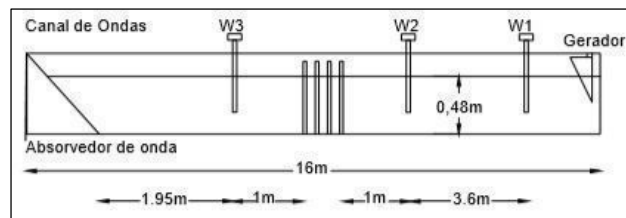


Figura 2. – Set up dos experimentos. Configuração com quatro fileiras de cilindros. Fonte: Autores.

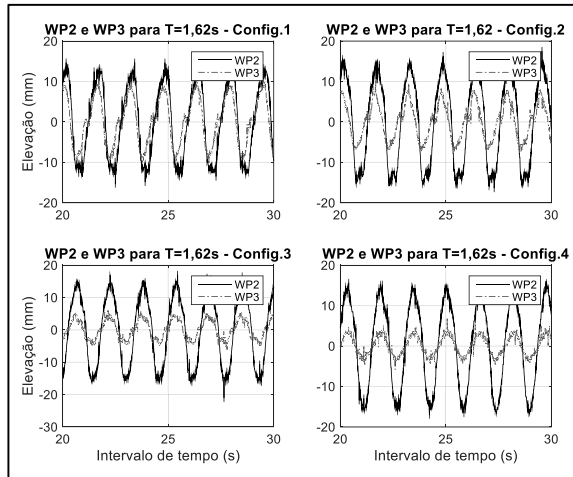
Foram utilizadas três sondas capacitivas (*waveprobes*) para medir a elevação de nível: W1, localizada próxima ao gerador; W2, localizada antes da estrutura e W3, localizada após a estrutura, (Figura 2 acima). A profundidade foi mantida constante ( $h = 48$  cm) para todas as configurações testadas e para cada configuração foram geradas ondas com períodos de 0,81s; 1,09s; 1,62s e 3,24s. Estes períodos foram escolhidos, respeitando a relação ( $h/L$ ) para águas rasas a intermediárias. A taxa de aquisição utilizada foi de 100 amostras por segundo e o tempo de aquisição, 60 segundos.

A análise dos dados foi realizada a partir da implementação de rotinas no software MatLab.

### Resultados e Discussões

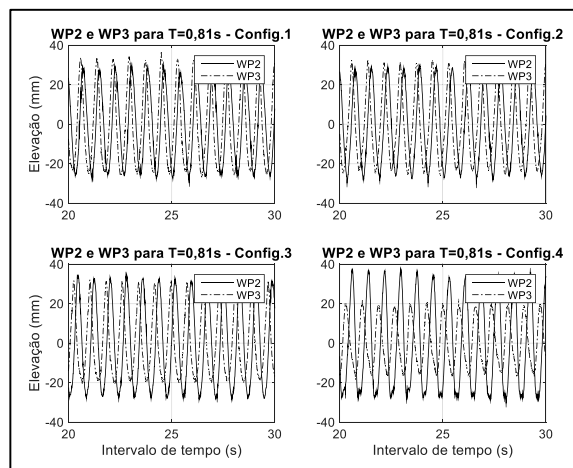
Para cada configuração proposta neste trabalho (configurações # 1, # 2, # 3 e # 4), as ondas foram geradas para os períodos previamente definidos e suas amplitudes medidas antes e depois da estrutura. Entretanto, devido a limitação de páginas, apenas dois resultados mais significativos serão mostrados e discutidos a seguir. O resultado final será apresentado na forma de uma tabela.

A figura 3, a seguir, apresenta os resultados para as quatro configurações propostas (#1, #2, #3 e #4).



**Figura 3.** – Amplitude da onda medida pelas sondas W2 (antes da estrutura) e W3 (depois da estrutura), com período  $T = 1,62$  s, para as quatro configurações propostas.

Como já era de se esperar, o uso da estrutura influenciou na amplitude da onda incidente gerada para o período de 1,62 s. A partir das medições obtidas pelas sondas W2 (antes da estrutura) e W3 (pós estrutura), houve uma diminuição da amplitude para as quatro configurações testadas. Para a configuração #1 (composta por uma fileira de espaguetes), a atenuação sofrida pela onda, ao passar pela estrutura, foi de aproximadamente 36%. Para a configuração #2 (duas fileiras), 58%; para a configuração #3 (três fileiras), 72% e para a configuração #4 (quatro fileiras de espaguetes), a atenuação sofrida pela onda foi de aproximadamente 78%.



**Figura 4.** – Amplitude da onda medida pelas sondas W2 (antes da estrutura) e W3 (depois da estrutura), com período  $T = 0,81$  s, para as quatro configurações propostas.

Para  $T = 0,81$  s (Figura 4, acima) os resultados obtidos para as quatro configurações apresentaram um comportamento diferente do anterior. Para a configuração #1, a onda sofreu um aumento de aproximadamente 6%, na sua amplitude, ao passar pela estrutura.

Já para as configurações #2, #3 e #4, a amplitude sofreu uma atenuação de aproximadamente 4,5%, 22% e 47%, respectivamente, inferiores ao medido para a onda de 1,62s. A tabela 1, a seguir, apresenta o resultado para as amplitudes médias medidas (para todos os testes realizados).

**Tabela 1.** – Resultados para todos os testes realizados com estrutura.

T(s)	amplitude da onda (mm) antes da estrutura			
	Conf. #1	Conf. #2	Conf. #3	Conf. #4
3,24	2,94	2,8	2,42	2,26
1,62	12,81	14,95	15,09	15,01
1,09	12,89	13,59	16,42	19,96
0,81	26,94	26,82	30,04	32,05
T(s)	amplitude da onda (mm) depois da estrutura			
	Conf. #1	Conf. #2	Conf. #3	Conf. #4
3,24	2,92	3,08	2,91	2,57
1,62	8,12	6,17	4,14	2,24
1,09	20,94	20,18	18,68	13,94
0,81	28,56	25,63	23,25	16,96

Analisando os resultados apresentados na tabela 1, ondas com frequências maiores parecem sofrer muita influência da estrutura (antes da passagem pela mesma), amplificando sua amplitude conforme o acréscimo de fileiras. O fato da amplitude aumentar, antes de ter passado pela estrutura, parece sugerir que a estrutura funciona como uma parede, refletindo a onda incidente. Já o aumento da amplitude após a passagem pela estrutura, pode ser devido ao movimento da própria que, sendo flexível, acaba influenciando o escoamento próximo à ela ou devido a reflexão da onda nas laterais do canal. Entretanto, outros testes deverão ser realizados para investigar melhor esse fenômeno.

## Conclusões

Com o intuito de buscar formas alternativas para proteção costeira, este estudo apresentou uma investigação inicial de estruturas flexíveis para a atenuação da energia de ondas de gravidade. Das quatro configurações propostas, a configuração #4 se mostrou mais eficiente, atenuando a onda para três dos quatro períodos testados, sendo que o período de 1,62 s foi o que apresentou o maior percentual de atenuação (para as quatro configurações testadas). Novos testes serão conduzidos com o intuito de investigar o aumento de amplitude sofrido e também se o espaçamento entre cilindros e entre fileiras influencia na atenuação, a fim de obtermos o melhor arranjo.

## Referências Bibliográficas

- Muehe, D. (2010). "Brazilian Coastal Vulnerability to Climate Change". *Pan-American Journal of Aqua Science*, 5(2): 173-183. Available on-line at [http://www.panamjas.org/pdf\\_artigos/PANAMJAS\\_5\(2\)\\_173-183.pdf](http://www.panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_5(2)_173-183.pdf).
- Nemes, D. D., Gallo, M. N., Pedocchi, F. (2018). "Desenvolvimento Experimental de uma Estratégia de Controle Morfodinâmico de Perfil de Praia Arenosa Dominada por Ondas". *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18(1): 49-69. DOI: 10.5894/rgeci-n120.
- Van Rijn, L. C. (2011). Coastal Erosion and Control. *Ocean & Coastal Management*, 54: 867-887.
- Zimmermann, C., Dean, R.G., Penchev, V. and Verhaagen, H.J. (2005). Environmentally Friendly Coastal Protection. Springer, Netherlands. 2005



## CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE MÉTODOS Y EQUIPOS DE AFORO PARA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS APLICADOS EN CAMPAÑAS HIDROMÉTRICAS EN LA PROVINCIA DE SANTA FE

Serra Silvina, Gagliardi Paula, Ferreira Gustavo, Robul Andrés, Eletti Felipe y Pérez Melina

Secretaría de Recursos Hídricos, Ministerio de Infraestructura y Transporte de la Provincia de Santa Fe, Argentina  
[Silviserra08@gmail.com](mailto:Silviserra08@gmail.com), [gagliardimp@gmail.com](mailto:gagliardimp@gmail.com), [ferreiragust@gmail.com](mailto:ferreiragust@gmail.com), [andresrob364@yahoo.com.ar](mailto:andresrob364@yahoo.com.ar), [cacho\\_eletti@hotmail.com](mailto:cacho_eletti@hotmail.com), [perezfortuna@gmail.com](mailto:perezfortuna@gmail.com).

### Introducción

La Dirección General de Servicios Técnicos Específicos de la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Infraestructura y Transporte tiene como misión el monitoreo de las variables que intervienen en el ciclo del agua dentro de las cuencas hidrográficas ubicadas en la Provincia de Santa Fe. Llevar adelante esta tarea desde lo conceptual requiere planificación, lo que no es una realidad dentro de una repartición pública, ya que la misma debe atender los requerimientos de la sociedad regidos, en primer lugar por las emergencias hídricas, seguidas por conflictos hídricos entre provincias, localidades, sectores rurales y urbanos, entre otros. Todo lo mencionado aleja las posibilidades de la elaboración planificada y ordenada de una evaluación cuantitativa de caudales en una cuenca. Es así como los registros de datos hidrológicos se concentran en cuencas o lugares puntuales en función a distintas problemáticas hídricas de interés provincial. Con el tiempo se ha podido conformar una colección de datos con distribución areal y temporal irregular, y medidos con distintas metodologías.

Dentro de las cuencas hidrográficas con mayor cantidad de registros se encuentra la Cuenca Inferior del Río Salado, pero debe entenderse que en la provincia coexisten 26 cuencas, cada una con su problemática, por lo que es prioritario para el equipo de trabajo, la rapidez y eficiencia en las mediciones. La Cuenca del Río Salado cuenta con un sistema de estaciones telemétricas que registran niveles hidrométricos de los cursos, así como pluviometría y niveles freáticos (Ferreira, 2013 y 2015; Serra et. al, 2017). La mayoría de las estaciones cuentan con una serie considerable de aforos y su correspondiente curva de descarga.

Históricamente los aforos se realizaron con un equipo de aforadores y un molinete hidrométrico. Estos trabajos arrojaron una frecuencia aproximada de 12 aforos por mes con un máximo de 24 aforos durante emergencias. En el año 2016 se incorporó un equipo ADCP (Sontec, 2015) y un equipo Flow Tracker (Sontec, 2009) pero no se incrementó el personal del grupo, por lo que el mismo equipo humano pasó de medir con Molinete a medir con ADCP, y de esta forma se pudo incrementar, no la cantidad de aforos por mes, sino la variedad de cursos a medir, aumentándose las mediciones en cursos grandes o medianos en estados de aguas altas. En el año 2017 se conformó un segundo equipo de aforadores y se incorporó como instrumento de medición el Flow Tracker (FT). De esta forma se pasaron a ejecutar aforos en mayor cantidad de cauces pequeños o medianos en aguas bajas.

De las 27 Estaciones Hidrométricas de la Cuenca del Río Salado, el 60% de las mismas tienen curva de descarga, siendo el 89% de las mediciones realizadas con Molinete Hidrométrico. La Tabla 1 presenta un resumen de los datos. De los 387 aforos que conforman las curvas, 344 fueron realizados con Molinete Hidrométrico, 22 con ADCP y 21 con Flow Tracker.

### Metodología

Se realizaron 5 campañas para el aforo de 5 estaciones con los tres equipos disponibles: Molinete Hidrométrico (MH), ADCP y FT. A los fines de contrastar la calidad de las mediciones, por la resolución de la medición se tomó el equipo ADCP como sensor testigo para la comparación.

La medición con FT se realiza desde una embarcación de pequeño porte a remo. Gracias a que el equipo es pequeño y liviano se ha implementado un sistema de barra graduada que se baja con el sensor adosado en su extremo a la profundidad de medición. Este método permite independizarse de la presencia de un puente y de la necesidad de una bajada de lancha si no se puede medir desde el puente, además de reducir los costos, pero la materialización de la sección genera un límite en el ancho del cauce. El método permite elegir la sección más conveniente pero es muy limitado respecto a las variables a medir, en éste sentido, la embarcación puede mantenerse estanca para una velocidad máxima de 1m/s. La profundidad puntual se mide con una vara graduada y es confiable hasta 3m de profundidad.

Tabla 1.- N° de estaciones y de curvas de descarga por cauce según su orden jerárquico en la cuenca.

Orden del Cauce	N° de Estaciones	N° de Aforos	N° Curvas HQ	% Est. Con curva
1	11	166	7	64
2	4	109	4	100
3	9	71	5	56
4	2	41	1	50
5	1	0	0	0

Debido a que el objetivo fue comparar la calidad de las mediciones y la eficiencia de los métodos, se consideró aplicar cada una de las metodologías sin tener en cuenta las restantes. En éste aspecto lo primero que varía con el método es la ubicación de la sección transversal de cada medición. El MH y sus accesorios, por poseer gran peso, es conveniente implementarlo si se mide sobre la sección de aguas abajo de un puente. El ADCP es dirigido con una soga desde un puente, pero en una sección mas alejada, ya sin tanta influencia de las pilas, y el FT fue implementado para medir, a lo largo de una sección transversal materializada por un cable maroma, el que se recorre por vadeo o en una embarcación de pequeño porte, lo que genera independencia de la sección del puente.

La Tabla 2 lista las estaciones y los caudales medidos. En la estación San Antonio el caudal fue muy bajo por lo que no se pudo medir con ADCP, aquí se usó como método de referencia el FT. En la estación Calchaquí, que no cuenta con puente, no se midió con MH. En la estación Emilia no se midió con MH por no contarse en el momento con el equipo. En la misma tabla puede observarse que la diferencia en porcentaje entre los caudales medidos es muy pequeña, aunque en la estación Emilia, debido a la existencia de una zona importante de recirculación aguas abajo del puente, las



diferencias se incrementan, ya que el ADCP puede captar el continuo del vórtice, pero no así las mediciones puntuales del FT, que deberían densificarse en esa sección para que pueda registrarlo. Las variables comparadas, graficadas en Fig. 2 se listan:

**Perfil transversal:** Con el Molinete (MH) se mide el perfil ubicado inmediatamente aguas abajo del puente, El ADCP se desplaza con una soga desde el puente alejada del mismo entre 15 y 20 metros. El Flow Tracker (FT) se desplaza en forma independiente del puente, por lo que puede elegirse la sección más uniforme y tender allí el cable maroma.

**Perfil de velocidades medio en la sección:** Para MH y FT se obtuvo un valor medio en una progresiva del perfil transversal por integración de mediciones puntuales dentro de un perfil vertical. Para el ADCP se integraron los datos de las celdas ubicadas en forma coincidente con los perfiles verticales medidos con los métodos anteriores.

**Perfiles Verticales en la Sección:** En los perfiles verticales medidos con MH y FT se midieron puntos en función de la profundidad, mientras que el ADCP mide en forma casi continua, en cada celda cuyo tamaño depende también de la profundidad.

**Curvas isotáqueas:** Se confeccionaron con la totalidad de los datos medidos, pero para su comparación, en la sección medida con ADCP se integraron los valores en las verticales coincidentes con las relevadas en los otros métodos.

Tabla 2.- Aforos realizados con los tres métodos (\*se compara con FT)

Fecha	Estación Río	Alt. Hid. (m.)	Sensor	Q (m <sup>3</sup> /s)	%/ADCP	V. (m/s)	%/ADCP
5/10/2018	Emilia, Salado	1.06	FT ADCP	25.0 29.3	-15	0.33 0.37	-11
30/10/2018	Calchaquí,	1.59	FT ADCP	14.0 14.9	-5.7	0.219 0.227	-3.5
8/10/2018	RP N°2, Salado	4.07	FT ADCP MH	14.2 13.9 14.1	2 1.7	0.237 0.229 0.227	3.5
9/10/2018	RP N°61, Salado	1.85	FT ADCP MH	14.1 14.6 14.6	-4 -0.6	0.304 0.295 0.314	3
9/10/2018	Petroni-la, San Antonio	0.60	FT MH	0.57 0.27	-53 *	0.07 0.04	-43*

## Resultados

Según Tabla 2, el valor final del caudal presenta diferencias en valor absoluto del orden del 10% o menores, aunque para caudales muy bajos, el FT es más sensible a pequeñas velocidades y el ADCP no se implementa en estos casos.

Para la visualización de los resultados se muestran las variables medidas en la Estación del Río Salado en RP N°2. La figura 2 presenta la comparación con los tres métodos de la sección transversal aforada, de las velocidades medias en la sección y de los perfiles verticales en tres puntos de la sección. La figura 3 presenta las curvas isotáqueas en cada sección medida.

## Conclusiones

En cuanto a la calidad de los datos, el FT presenta un error respecto de medir con ADCP del orden del 5%. En cuanto a las limitaciones de cada método, la Tabla 3 presenta las limitantes de cada método, considerando que el ADCP se desplaza solamente con una soga desde el puente (como en los casos analizados).

## Referencias

Ferreira C. G. (2013) "Resultados del monitoreo de eventos de sequía

ocurridos en la provincia de Santa Fe (Argentina) mediante una red telemétrica." XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan.

Ferreira C. G. (2015). Sistemas de alerta hidrológico en cuencas de llanura: caso de la cuenca del río Salado (Prov. de Santa Fe, Argentina). Anales del XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, 14 al 18 de Junio de 2015.

Serra S., Gagliardi M.P. (2017). "Análisis preliminar de la distribución temporal de tormentas con datos de la red telemétrica de la cuenca del río Salado". XXVI Congreso Nacional del Agua. Córdoba, Argentina.

Sontek. (2015). "RiverSurveyor S5/M9 System Manual. Firmware Version 3.91.

Sontek. (2009). "Manual de Usuario ADCP de FlowTracker. Firmware Version 3.7.

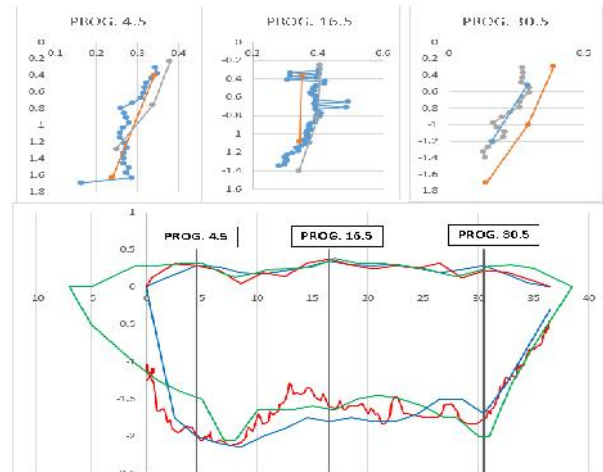


Figura 2.- Variables medidas con MH (verde), ADCP (rojo) y FT (azul).

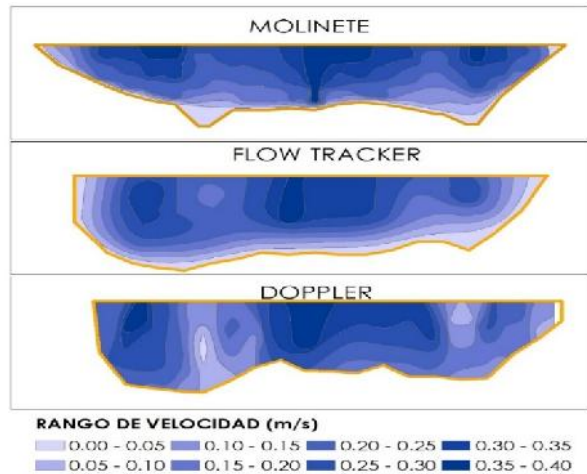


Figura 3.- Curvas isotáqueas.

Tabla 3.- Limitantes de los métodos. (\*los equipos tienen limitantes máximas pero no se aplican a los cursos que en ésta repartición se miden).

	Sección de aforo	Vel. Mín (m/s)	Vel. Máx (m/s)	Prof Min (m)	Prof Máx (m)
ADCP	aa Puente	Sin lim.	Sin lim.*	>0.3	Sin lim.*
MH	Puente	<0.1	Sin lim.*	>0.1	7
FT	Ancho < 100m	Sin lim.	<1	0.04	3

# QUANTIFICAÇÃO DAS VAZÕES NA REGIÃO INTERNA DA BAÍA DE GUANABARA (RJ/BRASIL) – INFLUÊNCIA DA MARÉ

Gabriela Buraschi<sup>1</sup>, Luis S. Cairo<sup>1</sup>, Ernani Fernandes<sup>1</sup>, Leandro Pessoa<sup>2</sup>, Carlos Echeverría<sup>2</sup>,  
Marcos N. Gallo<sup>1</sup>, Marcos A. Freitas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Oceânica Costeira, <sup>2</sup>Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais  
Universidade do Rio de Janeiro, Brasil

luisbcairo@gmail.com; gvburaschi@oceanica.ufrj.br; ernanifernandes@poli.ufrj.br; leandro.pessoa@ivig.coppe.ufrj.br;  
carlos.alejandror@ivig.coppe.ufrj.br; marcosgallo@oceanica.ufrj.br; mfreitas@ivig.coppe.ufrj.br

## Introdução

Por sua localização geográfica, os estuários são áreas ideais para o desenvolvimento de ambientes urbanos e locação estratégica de portos. Devido às atividades do homem, o padrão natural de sedimentação nos corpos de água próximos a esses ambientes é afetado quando se retira a cobertura vegetal e dispõe a terra para agricultura e urbanização, acelerando a deposição sedimentar. Como consequência destas atividades na bacia de drenagem, os estuários apresentam processos erosivos em função do déficit de sedimentos, ou contrariamente, sofrem um processo acelerado de assoreamento, como ocorre na Baía de Guanabara (BG), no estado do Rio de Janeiro, Brasil.

A BG é palco de intensas atividades econômicas que incluem, entre outras, terminais de petróleo e refinarias, portos e atividades relacionadas à existência de núcleos urbanos, como as cidades do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo. E tem sido intensamente estudada em várias áreas, onde podem ser mencionados os trabalhos de Lazzari et al. (2016); Martins et al. (2016); Garcia Neto (2008) e Melo (2004) que se concentram em medições em pontos fixos distribuídos na baía, e permitem estimativas de fluxo apenas pontuais. Também, destaca-se o trabalho de Bérnago (2006) por realizar medições em forma de transectos, demonstrando a existência de variabilidade espacial em algumas das seções por ele investigadas. Esta variabilidade espacial sugere que medições pontuais não forneçam boas estimativas de importação e exportação entre setores.

Em função disto, entender como se comportam os fluxos responsáveis pelas trocas de propriedades entre a BG e o seu interior e a plataforma continental adjacente é fundamental. Tendo em vista as principais variações da BG associadas às estações do ano, e às modulações pelas marés de sizígia e quadratura, o presente estudo se insere em uma etapa inicial investigativa a respeito da quantificação dos fluxos, considerando a variabilidade das descargas temporalmente, ou pelo menos, ao longo de um ciclo de maré de sizígia e quadratura.

O presente estudo se insere em uma etapa investigativa a respeito da quantificação dos fluxos, tendo em vista as principais variações da BG associadas às estações do ano, e às modulações pelas marés de sizígia e quadratura. Para quantificar as descargas foram realizadas medições de campo em 2 cenários distintos de maré (sizígia e quadratura), com medições horárias com ADCP e compreendendo um ciclo de maré completo (13 horas). Estas medições foram utilizadas para validar um modelo numérico configurado para a região com o intuito de explorar, posteriormente, outros cenários temporais.

## Metodologia

Para quantificar as descargas foram realizadas medições de campo em 2 cenários distintos de maré (sizígia e quadratura), compreendendo um ciclo de maré completo e nos transectos T3+T4 apresentados na Figura 1. Este transecto indicaria o fluxo principal do interior da Baía.

Os perfis contínuos foram realizados durante maré de sizígia (dia 19/10/2017) e maré de quadratura (26/10/2017), com um

perfilador de correntes desde a embarcação (ADCP-Acoustic Doppler Current Profiler) de 1200 kHz. As medições de níveis foram realizadas com um mareógrafo de bóia e contrapeso localizado na Ilha do Fundão, onde se localiza a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

O modelo numérico utilizado foi o Delft3D, desenvolvido por pesquisadores da empresa Deltares, sediada em Delft, Holanda, hoje disponível gratuitamente. A grade numérica utilizada neste trabalho é curvilínea com maior resolução na região de interesse. A malha inclui regiões de manguezais e rios do fundo da Baía de Guanabara a fim de manter o prisma de maré. Na região do canal central a resolução da grade é de 60 por 200 metros e na fronteira externa de 800 por 1300 metros. A malha possui 18404 elementos distribuídas em 172 células em x e 107 em y. As condições de contorno consideram o aporte fluvial dos 143 rios que chegam à baía, quantificados em média em 100 m<sup>3</sup>/s; as principais componentes de maré (extraídas do modelo global FES2014) e a influência meteorológica.

O modelo foi desenvolvido para o período de Outubro de 2017 à Outubro de 2018, visando a análise das principais características hidrodinâmicas ao longo de um ano. Este período engloba estação seca e chuvosa, maré de sizígia e quadratura e diferentes eventos meteorológicos.

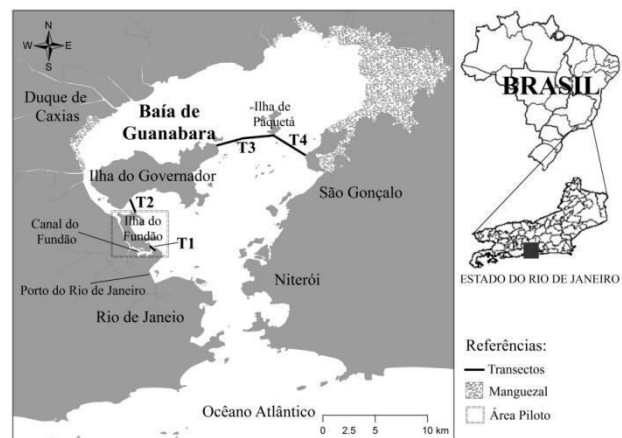


Figura 1.- Localização de transectos de medição e área piloto na Baía de Guanabara

## Resultados

Nos dois dias de medições as alturas de marés medidas foram de 1,3m e 0,6m, para maré de sizígia e quadratura, respectivamente. O nível médio local na estação, para o mês de outubro, foi estimado em -0,3m. Os resultados do cálculo dos fluxos (durante um ciclo de maré, ~13 horas) são apresentados nas Figuras 2 e 3, em conjunto com a curva de maré medida. Durante as medições de quadratura no interior da baía foram observadas condições de estratificação no perfil vertical. Os picos de descarga aparecem defasados aproximadamente 2 horas dos respectivos picos de níveis, ou seja, preamares e baixa-mares. Isto caracteriza a onda como aproximadamente

estacionária no interior da baía.

Devido às maiores amplitudes de maré, os fluxos durante as sizíguas foram maiores que nas quadraturas, com máximos aproximadamente de -19950 (enchente) e 15327 m<sup>3</sup>/s (vazante) e -8230 (enchente) e 13462 m<sup>3</sup>/s (vazante), respectivamente.

Se observa que os fluxos de enchente foram relativamente reduzidos durante a quadratura. Foi calculada a relação entre as vazões de enchente e vazante para cada campo, com resultados de 1,3 e 0,6, para sizígia e quadratura, respectivamente. Isto indica a dominância de enchente durante as marés de sizígia e dominância de vazante nas marés de quadratura, neste local da baía. Esta alternância na dominância dos fluxos estaria associada à diferente hierarquia das forças nos 2 cenários de medição. A maior influência da maré na circulação durante marés de sizíguas (amplitudes de maré maiores) e a consequente geração de assimetrias devidas à propagação em regiões mais rasas, contribuiria para o padrão de dominância de enchente. Já, durante marés de quadratura, com amplitudes de marés reduzidas (como observado na Figura 3), a combinação da menor assimetria da onda, o predomínio de aportes continentais e maior estratificação influem na dominância de vazante.

Resultados da modelagem confirmaram as hipóteses levantadas. Das séries de vazões extraídas do modelo foram calculadas as vazões residuais, utilizando um filtro passa-baixa. Logo, foram calculados os valores médios dos residuais de vazões, para todo o mês de outubro, durante 3 dias na sizígia e três dias na quadratura, obtendo: -345 m<sup>3</sup>/s (enchente); -719 m<sup>3</sup>/s (enchente) e 321 m<sup>3</sup>/s (vazante), respectivamente. Ou seja, a baía de Guanabara pode ser considerada como um corpo d'água com dominância de enchente durante condições médias, mesmo no seu interior. Isto faz com que esse residual proporcione renovação das águas, o que foi estimado pelo modelo em aproximadamente 15 dias para toda a baía. Durante as marés de sizígia o residual de enchente é mais intenso, possibilitando maior renovação. Já durante as quadraturas, a dominância se inverte (ou seja, o residual é de vazante) o que implicaria que o aporte do interior da baía com maior carga orgânica, lixos e contaminantes é exportado para a porção média e boca da baía.

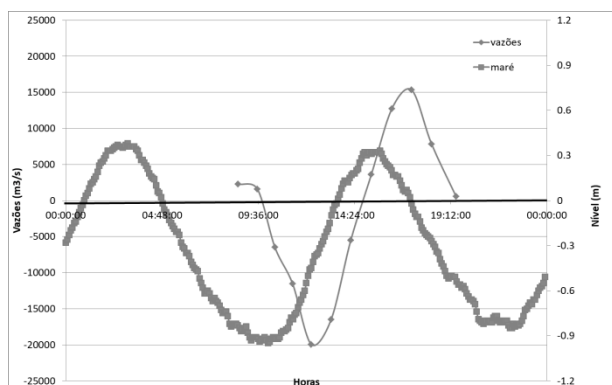


Figura 2.- Curva de maré observada e curva de descarga para as medições no dia 19/10 (maré de sizígia). Valores positivos indicam vazante e negativos enchente.

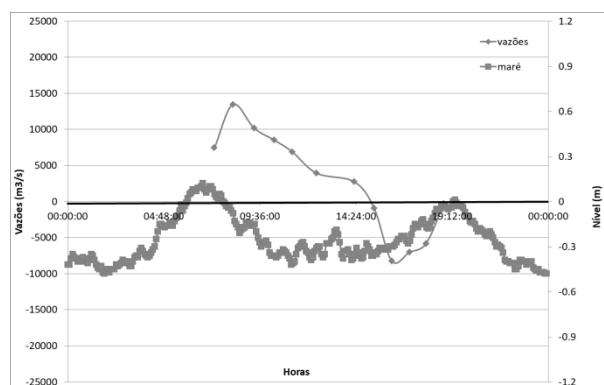


Figura 3.- Curva de maré observada e curva de descarga para as medições no dia 26/10 (maré de quadratura). Valores positivos indicam vazante e negativos enchente.

## Conclusões

Desta primeira análise dos fluxos pode-se inferir que o interior da BG se comporta como importador ou exportador, dependendo o cenário temporal, pelo menos no que se refere à maré. Medições em um transecto na boca da Baía (Rego, 2017) indicaram a dominância de enchente nesse local.

A combinação das medições com os resultados de modelos hidrodinâmicos permitiu observar a variabilidade dos fluxos para diferentes situações hidrológicas e de maré, onde não se tem observações.

Com estas medições pretende-se calcular o fluxo de sedimentos e detritos (lixos) e outras variáveis (como salinidade) que são determinantes para o funcionamento do sistema.

## Agradecimentos

O trabalho foi financiado pelo Programa CAPES/Ciências do Mar 1977/2014. Agradecemos a todas as pessoas que ajudaram nas coletas.

## Referências Bibliográficas

- Garcia Neto, E. V.** (2008). "Fluxo de material particulado em suspensão na entrada da baía de Guanabara ao longo de um ciclo de maré". Monografia de Graduação em Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. 65 p.
- Bérgamo, A.L.** (2006). "Características Hidrográficas, da Circulação e dos Transportes de Volume e Sal na Baía de Guanabara (RJ): Variações sazonais e Moduladas Pela Maré". Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, Brasil. 200 p.
- Lazzari, L. et al.** (2016). Estuary Adjacent to a Megalopolis as Potential Disrupter of Carbon and Nutrient Budgets in Coastal Ocean. Sociedade Brasileira de Química. J. Braz. Chem. Soc., v.00, n. 00, 1-1, Brazil, 2016.
- Martins, J. M. A. et al.** (2016). Characterization of Particulate Organic Matter in a Guanabara Bay Coastal Ocean Transect Using Elemental, Isotopic and Molecular Markers. PANAMJAS, Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v.11(4), p. 276-291.
- Melo, G.V.** (2004). "Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara, em um ciclo de maré". Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Departamento de Geologia – LAGEMAR, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Brasil. 102p.
- Rêgo, F. M.** (2017). "Estimativa do Transporte de volume da Baía de Guanabara (RJ) ao longo de um ciclo de maré". Monografia de Graduação em Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. 80p.

## MODELO FÍSICO SOBRE DRAGADOS A PIE DE MUELLES UTILIZANDO CHORROS DE INYECCIÓN DE AGUA

Mangini Silvina; Prendes Héctor Hugo; Huespe José; Palay Esquivel Yasser

Facultad de ingeniería y ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral  
Ciudad Universitaria. 3000 Santa Fe. Argentina

[Silvinamangini@yahoo.com.ar](mailto:Silvinamangini@yahoo.com.ar); [hectorhugoprende@gmail.com](mailto:hectorhugoprende@gmail.com); [jhuespe@fich.unl.edu.ar](mailto:jhuespe@fich.unl.edu.ar); [ypalay@yahoo.es](mailto:ypalay@yahoo.es)

### Instrucciones Generales

La presencia de un buque amarrado en un muelle durante la carga, disminuye la sección de paso del flujo por debajo de la quilla fomentando su aceleración con el consiguiente aumento de transporte de sedimento, pero, en la zona de la popa, donde la forma del casco tiene menor calado, el efecto es inverso, y dicho material erosionado deposita. Esto ocasiona una beneficiosa limpieza y profundización desde la proa hacia la popa y también una acumulación de material (con pérdidas de calado) en la zona próxima a la popa. Al partir el buque, la zona de atraque queda con menores calados obstaculizando el siguiente atraque. Este proceso obliga a realizar mantenimiento mediante obras de dragado.

El proceso mencionado, ocurre en muelles con lechos de arenas ubicados en presencia de corrientes de agua con capacidad de transportar sedimentos, muy común en la hidrovía Paraná-Paraguay. Una posible solución a este inconveniente sería resuspender el material depositado en la zona de la popa, generando turbulencia por medio de chorros verticales inyectados a partir de una estructura de cañerías con picos, logrando de esta manera incorporar dicho material nuevamente a la corriente para ser transportado aguas abajo.

Este trabajo muestra experiencias preliminares realizadas a partir de un ensayo en un canal del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la UNL, cuyo objetivo fue analizar tipo de soluciones que resuelvan el problema mencionado y sean aplicadas a un puerto fluvial para buques oceánicos, ubicado en la hidrovía Paraná Paraguay. El objetivo buscado es evitar la presencia de equipos de dragado que obstaculicen la operatividad del puerto.

En un canal de Laboratorio, con lecho de arena, se simuló la embarcación cargada y se visualizó la acumulación de material en la popa de la embarcación. En un ensayo posterior, debajo de ese mismo lecho de arena se ubicó un sistema de cañerías con orificios de inyección separados una distancia determinada, de manera de lograr la limpieza de toda la zona. Estas experiencias alientan para avanzar en un desarrollo más detallado, habiendo obtenido en esta etapa resultados a nivel cualitativo.

### Ensayo Laboratorio. Modelo físico

En un canal existente en el Laboratorio de Hidráulica de la FICH-UNL, se colocó en el fondo una capa de arena y posteriormente se ubicó el modelo de un casco de un buque granelero, en escala 1:100. Se hizo circular agua a aproximadamente 0,15 m/s y se cargó la embarcación de manera de lograr condiciones similares a la realidad ( Tirante=20m; Calado=10pies) . Ver Figura 1.

Para observar la modificación de los tubos de corriente a lo largo del casco y la redistribución de caudales durante la carga, se inyectó un colorante antes de la proa de la embarcación. Ver Figura 2.



Figura 1.- Canal con fondo de arena y modelo.

La Figura 2, muestra que, hasta más de la mitad del casco no se observa colorante, no existiendo gran redistribución de caudales, apesar de la importante interferencia de la sección transversal del buque.



Figura 2.- Embarcación amarrada en corriente de agua y colorante inyectado en la proa.

En consecuencia a medida que la embarcación se va cargando y aumentando el calado, se produce un aumento de la velocidad y la disminución del tirante, lo que hace que aumente la tensión de corte sobre el fondo y consecuentemente el transporte de sedimento por debajo del casco, provocando erosión y aumento de las profundidades originales debajo de la embarcación a lo largo de casi toda la eslora. Hacia la popa, donde la forma del casco comienza a ensancharse, la corriente empieza a perder la capacidad de transporte que tenía debajo del casco y comienza una zona de depositación. Ver Figuras 3 y 4.



Figura 3.- Acumulación de material en la zona de la popa de embarcación.



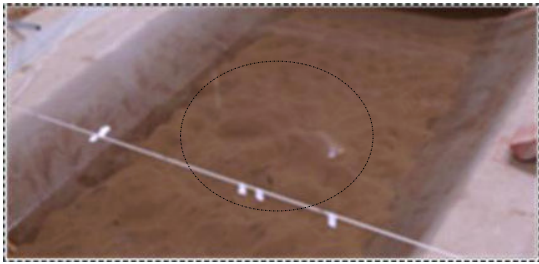


Figura 4.- Acumulación de material en la zona de la popa de embarcación.

### Batería de Inyectores Fijos

Para la limpieza de estos sedimentos una de las alternativas de posibles soluciones es la colocación de cañerías con una red de Inyectores Fijos, de manera que mediante un chorro se re suspenda el material acumulado levantándolo y la corriente lo transporta sacándolo de la zona.

Estas cañerías se colocarían a una cota fija por debajo de las profundidades necesarias a pie de muelle y en la zona de acumulación de material.

El diseño de los inyectores deben colocarse a distancias calculadas y bien distribuidas, de manera que las alturas máximas de los conos generados por la resuspensión del material que es transportado aguas abajo provoque pérdidas de calado.

A los efectos de evaluar esta posibilidad, se realizaron ensayos preliminares en laboratorio. En el mismo canal antes mencionado, se trató de simular el funcionamiento de esta batería de inyectores. En una estructura de hierro se fijó una manguera perforada simulando la cañería e inyectores y se la colocó en el fondo del canal, a la cual, luego se cubrió con una capa de arena fina.



Figura 5.- Esquema de disposición de cañería e inyectores en canal de laboratorio

A continuación, se llenó el canal y se generó una corriente de agua. Una vez logrado el régimen con las velocidades de corriente, se comenzó a inyectar agua a presión, visualizando el efecto de resuspensión de los granos de arena y su transporte, ver Figura 6.



Figura 6.- Inyectores simulados funcionando.

La figura 6, permite visualizar el efecto de resuspensión y arrastre que genera la corriente sobre la arena, la cual es transportada hacia aguas abajo. El material al costado de los inyectores va cayendo conformando un talud y los conos constituidos se van interfiriendo entre si, conformando una especie de panel de abejas que promueve la limpieza del fondo y controla las profundidades en la zona. Ver Figuras 6 y 7.

En la Figura 7, se visualizan los inyectores limpios y el área con la limpieza efectuada por los chorros de inyección de agua.



Figura 7.- Esquema de disposición de cañería e Inyectores.

### Conclusiones

Estas experiencias resultan alentadoras para avanzar en un desarrollo más detallado. El objetivo buscado es evitar la presencia de equipos de dragado que obstaculicen la operatividad del puerto.

### Detalle de tareas en ejecución y futuras

Actualmente, se están llevando a cabo ensayos con mayor grado de detalle para conocer la hidráulica del flujo alrededor y debajo del casco del modelo del buque. Se adaptó el casco para la colocación de un velocímetro ADV SONTEK a fin de medir la velocidad debajo del mismo. También fueron colocados, respetando la escala de semejanza, pilares que conforman la estructura de amarre del buque, siguiendo el diseño de la estructura de amarre de un puerto del tramo medio del río Parana, donde se presenta el tipo de problema que nos motiva en esta investigación. Hasta el momento se midieron velocidades a distintas profundidades en 5 secciones transversales a fin de describir la hidrodinámica del flujo a fondo fijo con y sin buque. Ver Figura 8.

Los datos obtenidos con estas mediciones están siendo procesados para investigar sobre la erosión y depositación debajo del casco. Los próximos ensayos se llevarán a cabo con lecho arena fina menor a 250 micrones y simultáneamente con batería de inyectores. En este caso los resultados también serán de orden cualitativo.



Figura 8.- Mediciones de la hidrodinámica a fondo fijo con buque.



## VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN EXPUESTA A INUNDACIONES URBANAS EN TUCUMÁN MEDIANTE VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES A GRAN ESCALA (LSPIV)

1<sup>er</sup>. Flavia Bazzano<sup>1, 2</sup>, 2<sup>do</sup>. Hebe Espinosa Rojas, 3<sup>er</sup>. Florencia Nanni, 4<sup>to</sup>. David Aguirre, 5<sup>to</sup>. Paula Almaraz, 6<sup>to</sup>. Benjamín Alba Fernández, 7<sup>mo</sup>. Benjamín López Kuchudis, 8<sup>vo</sup>. Eduardo Ruiz Nofal, 9<sup>no</sup>. Hebe Barber, 10<sup>mo</sup>. Florencio Serrano y 11<sup>mo</sup>. Leandro Chaile

1 Laboratorio de Construcciones Hidráulicas. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Argentina

E-mail: fbazzano@herrera.unt.edu.ar

### Introducción

La ocurrencia de intensas tormentas junto con la ineficiencia del sistema de desagües pluviales, son las principales causas de las inundaciones urbanas en la ciudad de San Miguel de Tucumán. Allí sus pobladores sufren las afectaciones provocadas por las mismas, que incluyen tanto, problemas para circular por las calles como daños a inmuebles, y en ocasiones hasta la pérdida de vidas humanas. Estos eventos generan gran conmoción en la ciudadanía, por lo que es común encontrar registros generados por los habitantes, tales como fotografías y videos, que son publicados en redes sociales, periódicos y portales web.

Para este trabajo se recopiló videos filmados en la ciudad de San Miguel de Tucumán y compartidos en el portal de YouTube en forma espontánea. Los mismos fueron procesados empleando la técnica de Velocimetría por Imágenes a Gran Escala (LSPIV). De esta forma, se determinan los campos de velocidad superficial y caudales asociados, a partir de los cuales se establece la vulnerabilidad a la que están expuestos los habitantes.

### Objetivos

- Determinar la velocidad del flujo y el caudal de escurrimiento en calles durante inundaciones en San Miguel de Tucumán.
- Evaluar la vulnerabilidad de los habitantes afectados.
- Evaluar la estabilidad de los vehículos presentes en la captura filmica.

### Materiales y métodos

De un total de 8 videos recopilados se completa el análisis sólo en 3, mientras que los 5 restantes se descartan porque la mala calidad de la imagen y el movimiento de la cámara imposibilitan su procesamiento. El primer caso corresponde al 24/01/2014, donde se registra la inundación de la Av. Kirchner al 3000, ubicada en el sur de la ciudad. El segundo caso analizado es una inundación grabada el día 03/03/2015 en la intersección de las calles Suipacha y Ecuador, al norte de la ciudad. Y el tercero, se filma en la esquina de las calles Marco Avellaneda y Ecuador, separado del segundo caso a una distancia de aproximadamente 100 m en la misma fecha. Aunque los videos duran algunos minutos, se extrajeron unos cuantos segundos donde se mantenía fija la imagen, condición necesaria para aplicar la técnica propuesta. La resolución en todos los casos es de 620:360.

El primer paso para aplicar la técnica de LSPIV consiste en extraer las imágenes del video. Las mismas se procesan con la herramienta PIVLab (Thielicke y Stamhuis, 2014) para obtener la distribución de velocidades superficiales, valoradas a partir del desplazamiento en píxeles por cada par de imágenes sucesivas. Dado que la filmación se realiza oblicua al sentido del escurrimiento, es necesario rectificar las imágenes imponiendo la distancia entre 4 puntos fijos, representados por árboles, postes o casas presentes en cada video. Para ello, se relevan las distancias entre dichos puntos que, afortunadamente, se encuentran aún en los sitios de grabación. También se releva la sección transversal del flujo, necesaria para el cálculo del caudal, y para la estimación del tirante se escala la

imagen con una dimensión conocida, como es la altura de los neumáticos o escalones según lo disponible en cada caso (Figura 1). El tiempo que transcurre entre los desplazamientos sucesivos se define a partir de la cantidad de imágenes extraídas de la filmación por cada segundo. Ésta última etapa se realiza mediante el programa computacional River (Patalano *et al.*, 2013) que permite obtener el campo real de velocidad en m/s.

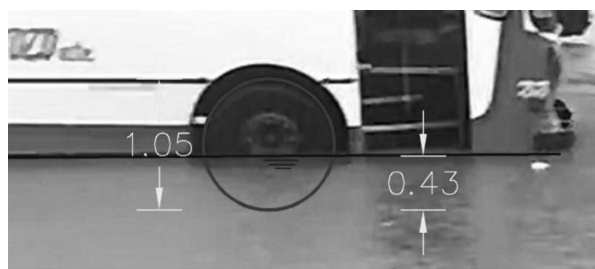


Figura 1.- Determinación del tirante a partir de la altura del neumático de un ómnibus.

La técnica de LSPIV fue empleada anteriormente en videos caseros para evaluar la magnitud de inundaciones urbanas con buenos resultados (Guillén *et al.*, 2017). Los autores citados evalúan la vulnerabilidad de las personas a la inundación registrada empleando los umbrales de estabilidad propuestos por Milanesi *et al.* (2015). Además, analizan la estabilidad de los automóviles presentes en los videos según lo propuesto por Xia *et al.* (2011).

En este trabajo, se complementa dicha evaluación con el análisis de la precipitación causante de las inundaciones registradas. Para ello se dispone de registros de alta frecuencia provenientes de estaciones automáticas dispuestas en las cercanías de los sitios de análisis. Empleando la relación i-d-T local (Bazzano *et al.*, 2015) se calcula la recurrencia asociada de los eventos, con lo que se establece una medida del riesgo al que se exponen los habitantes en los puntos de la ciudad estudiados, empleando caudales medidos.

### Análisis de resultados

En primer lugar se obtuvieron los vectores de desplazamiento, delimitando la zona de análisis mediante máscaras que excluyen a los márgenes sin escurrimiento y a los obstáculos presentes en el momento de la filmación (Figura 1Figura 2).



Figura 2.- Campo de velocidad media superficial obtenido mediante LSPIV en el caso 1.

Luego de la rectificación realizada a partir de las distancias medidas, se consigue el campo de distribución de velocidades en cada caso analizado.

La Figura 3 presenta la sección transversal, el perfil de velocidades y la distribución de caudal obtenida para el caso 3. Se observa que los mayores valores de velocidad se producen en la margen izquierda de la calle, donde se alcanza un máximo de 3,1 m/s. La velocidad decrece hacia la margen derecha donde se alcanza un mínimo de 1,5 m/s. El caudal calculado es de 2,45 m<sup>3</sup>/s y se distribuye según se muestra en dicha figura.

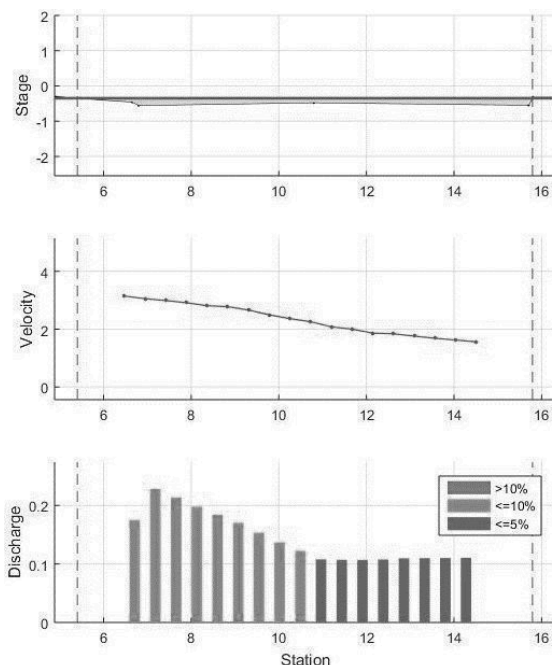


Figura 3.- Distribución del caudal en una sección en el caso 3.

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis de la lluvia causante de las inundaciones en cada caso junto con los caudales y velocidades máximas medidas. La duración considerada crítica es la que arroja el máximo valor de recurrencia en cada caso. Se observa que en las dos fechas la recurrencia no alcanza los 10 años, lo cual indica que si bien se trata de eventos intensos, ocurren con cierta frecuencia en la ciudad.

Tabla 1.- Resultados del análisis de los eventos: Duración crítica (d), lámina precipitada (h), recurrencia (T), Velocidad máxima y caudal (Q).

Caso	Fecha	d (min)	h (mm)	T (años)	V <sub>máx</sub> (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	24/1/2014	180	95,2	9,9	0,72	3,03
2	3/3/2015	60	62	9,5	4,5	3,00
3	3/3/2015	60	62	9,5	3,14	2,45

La Figura 4 presenta los umbrales de estabilidad frente al deslizamiento (C), derrumbe (B) y ahogamiento (A) propuestos por Milanesi *et al.* (2015) para el caso de agua clara y pendiente nula, para niños (línea de trazos) y adultos (línea continua). Los puntos en la misma figura indican la situación en cada sección analizada, según la máxima velocidad y su correspondiente tirante. El caso 1 se encuentra en una zona de baja vulnerabilidad (por debajo de la línea de trazo) en el rango B asociado al derrumbe, mientras que los casos 2 y 3 quedan en una zona de alta vulnerabilidad (por encima de la línea continua) en el rango C dominado por la inestabilidad frente al deslizamiento. Estos indicadores demuestran la magnitud de la amenaza hídrica en los casos de análisis.

En forma similar se analiza la estabilidad de los vehículos dispuestos en la fotografía, quedando por debajo del umbral del movimiento definido por Xia *et al.* (2011) en el caso 1 y por encima del mismo en el caso 2 donde se observa el arrastre de un automóvil,

con un ángulo de 90° con respecto a la dirección del escurrimiento.

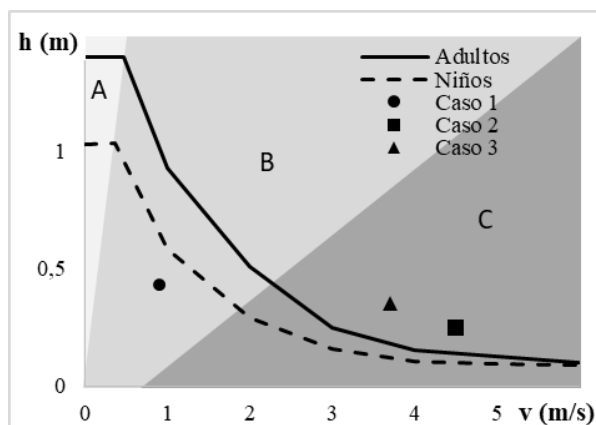


Figura 4.- Umbrales de estabilidad para adultos y niños (Milanesi *et al.*, 2015). Resultados para los casos de análisis.

## Conclusiones

Los videos descargados del portal YouTube, generados en forma espontánea por los ciudadanos, resultan fácilmente asequibles. Además, la rapidez con la que se producen estas crecidas y las dificultades que generan en el tránsito, hacen imposible acceder al lugar, con lo cual el aporte de los vecinos adquiere particular importancia. Sin embargo, se presentan múltiples inconvenientes para su aprovechamiento, tales como la baja resolución en la filmación, el movimiento constante del enfoque de la imagen y la falta de puntos fijos y de niveles de referencia para definir tirantes. Estas condiciones, que llevaron a descartar 5 de los 8 videos seleccionados en un primer momento, podrían mejorarse con la difusión entre los pobladores de las condiciones básicas para poder aplicar la técnica.

A pesar de los inconvenientes mencionados, ha sido posible incorporar información generada por la ciudadanía para cuantificar caudales de inundación mediante la técnica de LSPIV. Estos datos son una herramienta para el diagnóstico del funcionamiento del sistema de desagües de esta ciudad, necesario para el diseño de las mejoras necesarias. Por su parte, la asociación de estas mediciones a una recurrencia mediante el análisis de la lluvia originante resulta un indicador para delimitar zonas de riesgo potencial dentro de la ciudad.

Los resultados ratifican los modelos empíricos antecedentes, tanto en la vulnerabilidad de las personas como en la estabilidad de los autos presentes en las filmaciones. En ellos se evidencia la alta vulnerabilidad de la población afectada por las inundaciones analizadas.

## Referencias Bibliográficas

- Bazzano F., Caamaño Nelli, G. y Rajmil, G. (2015). "Predicción de lluvias máximas con el Modelo DIT en Tucumán". XXV CONAGUA.
- Guillen, N.; Patalano, A.; García, C. M. y Bertoni, J. C. (2017). "Use of LSPIV in assessing urban flash flood vulnerability". *Natural Hazards*, 87:383–394
- Patalano A.; Brevis, W.; Guillén, N. F.; Alvarez, J.; García, C. M.; Bleninger, T; Rodríguez A. (2013). "Rectificación digital para mediciones de velocidad de flujo a gran escala utilizando velocimetría por imágenes de partículas". doi: 10.1016/j.cageo.2017.07.009
- Milanesi, L., M. Pilotti, and R. Ranzi (2015). A conceptual model of people's vulnerability to floods, *Water Resources. Res.*,51, 182–197, doi:10.1002/2014WR016172.
- Thielicke, W., y Stamhuis, E. J. (2014). "PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB." *Journal of Open Research Software*, 2.
- Xia J, Teo FY, Lin B, Falconer RA (2011) Formula of incipient velocity for flooded vehicles. *Nat Hazards* 58(1):1–14

## OBTENCIÓN DE CURVA H-Q MEDIANTE APLICACIÓN DE LSPIV SOBRE EL RÍO LOS SOSA EN EL DEPARTAMENTO DE MONTEROS – TUCUMÁN

Hector David Aguirre<sup>1</sup>, María Florencia Nanni<sup>1</sup>, Flavia Marcela Bazzano<sup>1,2</sup>, Hebe Espinosa Rojas<sup>1</sup>, Eduardo Ruiz Nofal<sup>1</sup>, Benjamín López Kuchudis<sup>1</sup>, Florencio Serrano<sup>1</sup>, Paula Almaraz<sup>1</sup>, Benjamín Alba Fernández<sup>1</sup>, Leandro Chaile<sup>1</sup> and Hebe Barber<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Construcciones Hidráulicas, Universiada Nacional de Tucumán, Argentina

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

E-mail: hdaguirre@herrera.unt.edu.ar

fbazzano@herrera.unt.edu.ar

mfnanni@herrera.unt.edu.ar

### Introducción

Dada la creciente demanda del recurso hídrico, cada vez se hace más indispensable su cuantificación para poder cumplir con las necesidades de la sociedad. Sumado al contexto global antes mencionado, la Provincia de Tucumán cuenta con escasos registros de caudales de los cursos naturales de agua existentes (nueve estaciones activas a cargo de la empresa EVARSA). Son ampliamente conocidos, además, los riegos que implican aforar ríos de montaña (altas pendientes) con los métodos convencionales de medición durante crecientes importantes. En este trabajo se evalúa la implementación de la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partícula a Gran Escala (LSPIV) basada en la identificación de patrones de movimiento presentes en la superficie libre en imágenes sucesivas, que pueden generarse natural o artificialmente en un flujo. Para validar la técnica se utilizó como lugar de aforo la estación sobre el río Los Sosa, ya que se buscó realizar mediciones en estaciones de aforo activas dentro del territorio provincial, y de esta manera contrastar los valores de caudales encontrados con los valores medidos con molinete por parte de la empresa que opera la estación (EVARSA).

### Objetivos

- Determinación de las curvas H-Q del río Los Sosa tanto para los aforos realizados mediante LSPIV y los obtenidos por EVARSA.
- Validación de la técnica de LSPIV para aforar en ríos de montaña.

### Materiales y Métodos

Las ventajas principales de trabajar en una sección de análisis en la estación de aforo del río Los Sosa son su accesibilidad, la cercanía con San Miguel de Tucumán y la posibilidad de validación por contraste de las mediciones generadas mediante métodos de aforo tradicionales, internacionalmente reconocidos. Las coordenadas de dicha estación son 27° 6' 3.40" S, 65° 38' 10.20" O, ubicada dentro del departamento Monteros en la Provincia de Tucumán.

Desde el 29 de diciembre del 2018 hasta el día de la fecha con frecuencia semanal se están realizando aforos aplicando LSPIV. Esta tarea de campo consiste en el relevamiento de la sección y algunas distancias características del cauce con cinta topográfica y regla de nivelación, en conjunto con la filmación de un video del escurrimiento donde se realiza el sembrado de partículas de viruta de madera para captar el campo de velocidad superficial. La captura filmica se realiza con una cámara Sony modelo W80 con resoluciones de 1920x1080 (Full HD) a 30 fps. Se registra, además, el valor de escala linimétrica de la estación de EVARSA en el momento de medición.

Posteriormente, estos videos son procesados con las herramientas PIVlab (Thielicke y Stamhuis, 2010) y RIVeR (Patalano *et al.*, 2013).

Para este trabajo se utilizaron un total de 11 mediciones que corresponden al periodo 29/12/2018 hasta el 09/03/2019 y se consideraron dos situaciones para el coeficiente que relaciona la velocidad superficial y la velocidad media en la vertical ( $\delta=V_s/V_m=0,85$  y  $\delta=V_s/V_m=1,00$ ).

**Tabla 1.**-Tabla de resultados de los aforos mediante LSPIV, considerando un coeficiente  $\delta=0,85$  y  $\delta=1,0$

	$V_s/V_m$	0,85	1,00	
Fecha	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Observaciones
29/12/2018	2,26	2,25	2,65	
5/1/2019	2,36	3,88	4,56	
12/1/2019	2,57	6,55	7,71	
19/01/2019	2,56	5,92	6,96	
25/01/2019	2,3	3,09	3,64	
1/2/2019	2,65	8,16	9,60	
9/2/2019	2,37	1,29	1,52	Descartado
16/02/2019	2,45	3,16	3,72	
<u>22/02/2019</u>	<u>2,26</u>	<u>1,94</u>	<u>2,28</u>	<u>Mínimo</u>
2/3/2019	2,26	1,65	1,94	Descartado
<u>9/3/2019</u>	<u>2,87</u>	<u>16,79</u>	<u>19,75</u>	<u>Máximo</u>

Estos resultados obtenidos fueron contrastados con los registros que realiza EVARSA, oportunamente cargados a la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. Debido a las continuas modificaciones en la geometría del cauce, por efecto de su dinámica torrencial, es que para la comparación se utilizaron los registros pertenecientes al mismo periodo de tiempo.

Se adoptó  $\delta=1$  como parámetro de ajuste para acercar la serie de caudales obtenidas con la técnica LSPIV y los obtenidos por EVARSA. Además, se eliminaron dos mediciones con LSPIV donde el campo de velocidad superficial determinado no resultó representativo del flujo por la falta de reconocimiento de los patrones en la superficie, ya sea por falta de viruta de madera, que describan con mayor fidelidad las velocidades superficiales, o por la presencia de reflejo de la luz solar (ver Tabla 1)

Cada serie de valores se ajustó mediante regresión a la siguiente expresión analítica:

$$Q = \alpha \cdot (H - H_0)^\beta = \alpha \cdot \Delta H^\beta \quad [1]$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de calibración, H es el nivel o altura de superficie libre respecto a un nivel de referencia y  $H_0$  es un parámetro que representa la altura de superficie libre cuando no hay escurrimiento (caudal nulo). El parámetro  $H_0$  fue establecido igual a 2,19 m según la lectura de la escala en el fondo del cauce. Sin embargo, este valor resulta hipotético, dada su complejidad para saber si realmente representa un caudal nulo, por lo que además se consideró a  $H_0$  como parámetro de calibración de tal forma de obtener un mejor ajuste (mayor  $r^2$ ) para que la ecuación represente un comportamiento hidráulico adecuado, igualando el exponente  $\beta$  a un valor de 5/3 para los caudales relevados.

### Análisis de resultados

De los resultados se observa que los caudales bajos obtenidos mediante la técnica de LSPIV pueden ser considerados representativos de la serie de EVARSA, pero para caudales altos la diferencia resulta importante, con registros mayores para la serie de EVARSA.

Solamente en dos días coincidieron los aforos con los dos tipos de medición, siendo estos días el 25/01/2019 y el 22/02/2019 registrando una diferencia de 14,06% y el 29,25%, respectivamente, con valores superiores para EVARSA.

Tabla 2.-Diferencias de medición en los días que hubo coincidencia.

FECHA	H [m]	Q <sub>LSPIV</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>EVARSA</sub> [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$\varepsilon$ [%]
25/01/2019	2,30	3,64	4,23	0,59	14,06
22/02/2019	2,26	2,28	3,226	0,94	29,25

Los parámetros de la función de H-Q para la totalidad de la serie de caudales determinadas con LSPIV y sobre la serie de mediciones de EVARSA son los siguientes:

Tabla 3.-Parámetros de la ecuación [1] para las mediciones con LSPIV y la serie de EVARSA con  $H_0$  determinado estadísticamente.

SERIE	$\alpha$	$\beta$	$H_{0e}$ estadístico	$R^2$
LSPIV	26,67	5/3	2,09	0,9495
EVARSA	56,42	5/3	2,12	0,9979

Considerando el  $H_0$  observado de la escala se muestran los parámetros de calibración:

Tabla 3.-Parámetros de la ecuación [1] calibrado para las series de mediciones con LSPIV y la serie de EVARSA para  $H_0$  observado

SERIE	$\alpha$	$\beta$	$H_{0m}$ Valor de escala	$R^2$
LSPIV	37,65	5/3	2,19	0,9042
EVARSA	64,98	5/3	2,19	0,9892

Los valores aforados con LSPIV, los caudales de EVARSA y las curvas de ajuste obtenidas para cada serie de datos se muestran en la siguiente imagen:

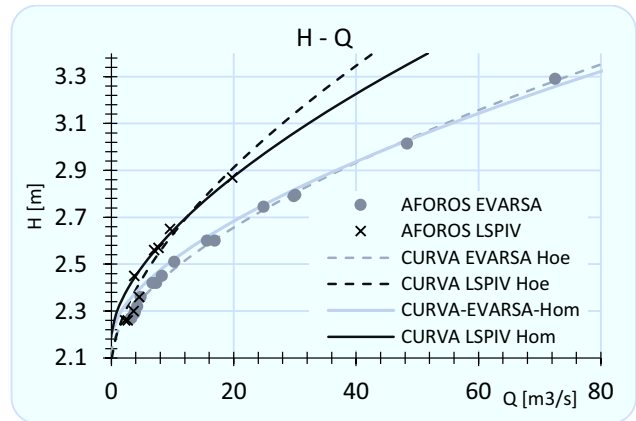


Figura 1.- Valores H-Q con aforos LSPIV y datos de EVARSA y las diferentes curvas de ajuste.

### Conclusiones

Se encontraron diferencias entre los aforos realizados por la empresa EVARSA y los aforos realizados con la técnica LSPIV.

Estas diferencias encontradas varían, en los días en que hubo coincidencia de medición, entre 14,06% y el 29,25% y si se consideran las diferencias de las curvas H-Q tomando el  $H_0$  observado de la escala (2,19m) las diferencias son del 42% con respecto a las mediciones de EVARSA.

La dinámica del cauce imposibilita la creación de una curva H-Q validada para toda la serie histórica de caudales, ya que el mismo sufre continuas modificaciones en su geometría que repercuten directamente tanto en el nivel como en la estimación del caudal. Lo antedicho está reflejado en la serie de datos históricos de la relación H-Q ya que hay una gran dispersión de valores sin poder definir una función Q (H).

Resulta indispensable realizar un correcto sembrado de las partículas para realizar una buena medición de caudal mediante LSPIV ya que se determinaron caudales muy por debajo de algunas mediciones con LSPIV para igual valor de nivel de agua y con respecto a los valores de referencia de EVARSA, llevando a descartar dos valores de la serie.

La diferencia encontrada no invalida la técnica, pero requiere mejorar los aspectos antes mencionados, mayor cantidad de datos medidos y evaluar la metodología de determinación de la sección de aforo.

### Referencias Bibliográficas

- Thielicke, W., y Stamhuis, E. J. (2014). "PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB." Journal of Open Research Software, 2.
- Patalano A.; Brevis, W.; Guillén, N. F.; Alvarez, J.; García, C. M.; Bleninger, T; Rodríguez A. (2013). "Rectificación digital para mediciones de velocidad de flujo a gran escala utilizando velocimetría por imágenes de partículas". doi: 10.1016/j.cageo.2017.07.009

## PROGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLÓCULOS SUSPENDIDOS EN FLUJOS NO ESTACIONARIOS

Matías Ragessi<sup>1</sup>; Luis P. Thomas<sup>1</sup>; Ricardo N. Szupiany<sup>2</sup>; Beatriz M. Marino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GFGA, CIFICEN, CONICET-Universidad Nacional del Centro Provincia Buenos Aires, Tandil, Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina,  
matiasragessi@gmail.com , {bmarino,lthomas}@exa.unicen.edu.ar , rszupian@fich1.unl.edu.ar

### Introducción

La comprensión de los procesos de sedimentación y transporte del material particulado en suspensión (MPS) en estuarios es importante para enfrentar muchos problemas ingenieriles y ambientales, cuya solución requiere mediciones creíbles y de buena calidad. En estos sistemas, la floculación es un proceso dinámico que dificulta la caracterización de las partículas, dando lugar a nuevos desafíos técnicos para superar esta limitación. Aquí se presenta un código computacional programado en MATLAB para determinar, en forma simplificada y rápida, la concentración del MPS en flujos no estacionarios a partir de los registros de la intensidad de la señal acústica retrodispersada (*backscatter*) de un perfilador acústico Doppler (ADCP) obtenidos en experimentos de campo a lo largo de transectas. La atenuación de la señal debida al ensanchamiento del haz, la salinidad, la temperatura y tamaño y concentración de los sedimentos finos suspendidos son incorporados al cálculo como datos de entrada. La calibración se realiza usando mediciones de concentración y tamaño de las partículas proporcionadas por un difractómetro. Así es posible estudiar con buena resolución espacio-temporal la evolución de la distribución de la concentración de flóculos cuyas propiedades cambian rápidamente. El programa se aplica en el análisis hidro-sedimentológico del estuario del río Quequén Grande (ERQG) con el fin de identificar las zonas de erosión y sedimentación.

### Metodología

El programa desarrollado usa tres subrutinas para procesar la información experimental, cuyas funciones son las siguientes:

**Subrutina 1:** Proporciona las propiedades del MPS obtenidas in situ con un difractómetro LISST-25X. Estas son la concentración media en volumen  $C_V$  ( $\mu\text{L/L}$ ) y el tamaño medio del grano  $D$  ( $\mu\text{m}$ ) de los elementos suspendidos, y la concentración media  $C_{Vg}$  y el diámetro medio  $D_g$  de la fracción gruesa ( $D > 63 \mu\text{m}$ ). Para ello deben cumplirse las siguientes condiciones: (a) Los valores de la transmisión óptica deben encontrarse en el rango óptimo 30%-98%; (b)  $C_{Vg} \leq C_V$ ; (c) Los valores de  $C_V$  y  $D$  negativos o fuera del rango esperable son descartados.

Para una longitud de trayectoria óptica  $P = 25 \text{ mm}$  y tamaños entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ , el rango de concentración donde el difractómetro empleado registra valores con error pequeño se encuentra entre:

$$C_{vmax}(100 \mu\text{m}) = 375 \times D/P \mu\text{L/L} = 375 \times 100/25 = 1500 \mu\text{L/L} \quad \text{y}$$

$$C_{vmin}(10 \mu\text{m}) = C_{max}(10 \mu\text{m})/120 = 1.25 \mu\text{L/L}.$$

Sobre la serie temporal filtrada se calculan las medianas  $\overline{C_V}, \overline{C_{Vg}}, \overline{D}, \overline{D_g}$  para cada profundidad y los respectivos intervalos de confianza  $CI = 1.96\sigma / \sqrt{n}$ , donde  $\sigma$  es la desviación estándar y  $n$  es el tamaño de la muestra.

**Subrutina 2:** Procesa el nivel de intensidad del eco sonoro registrado por el ADCP para determinar la intensidad de la señal retro-dispersada por los blancos acústicos contenidos en celdas

contiguas en la columna de agua. Los archivos .pd0 entregados por el ADCP proveen la intensidad de los cuatro haces sonoros en cuentas, la profundidad ( $h$ ), la distancia radial desde el transductor al centro de la celda de medición ( $r$ ) y coeficiente de corrección por campo cercano ( $\psi$ ). Con ellos, se calculan la intensidad media ( $E$ ) de la señal acústica de los cuatro haces, la atenuación debida al agua salada ( $\alpha_w$ ) y a la dispersión en el sedimento y los efectos viscosos ( $\alpha_s$ ), y las pérdidas de la señal acústica ( $2TL$ ). Los valores de  $\alpha_w$  y  $\alpha_s$  (en dB/m) se determinan usando las ecuaciones de Francois y Garrison (1982) y Thorne y Hanes (2002), respectivamente, y los perfiles de temperatura y salinidad obtenidos con una sonda multiparamétrica Horiba U-52. El valor de  $E$  en cada celda de un dado perfil vertical se calcula como la mediana de la intensidad recibida de los haces convertidos a dB por medio de factores de conversión específicos para cada transductor.

Conocido  $RL+2TL$ , se encuentra la correspondiente  $C_V$  mediante la calibración de la respuesta acústica de las partículas suspendidas:  $RL+2TL = \log_{10} C_V + 74$  (Marino et al., 2016).

Finalmente, se comparan los valores obtenidos de  $RL+2TL$  y  $C_V$  a cada profundidad con esta curva de calibración, y evalúan el coeficiente de correlación  $R^2$  y el error cuadrático medio RMS. Los valores de  $\alpha_s, \alpha_w, RL, 2TL, RL+2TL$  para cada profundidad y tiempo se almacenan en una tabla para su posterior análisis.

**Subrutina 3:** Procesa el nivel de intensidad del eco medido por el ADCP para estimar la distribución de  $C_V$  en función de  $h$  y la distancia recorrida. Se emplea la corrección de la señal acústica  $2TL$  realizada por la subrutina 2 asumiendo como válida la relación encontrada entre  $RL+2TL$  y las mediciones de  $C_V$  proporcionadas por el difractómetro.

### Resultados

La Fig. 1 muestra los recorridos del bote siguiendo la vaguada del ERQG mientras se registraba la intensidad del *backscatter* con el ADCP *Rio Grande* (Teledyne, RD Instruments) operando a 1200 KHz. Los mismos fueron realizados durante el flujo y refluo el 24 de agosto de 2016. La trayectoria L1-2 se extiende unos 1.9 km comenzando a 960 m del sitio S0 tomado como referencia. Abarca parte de la zona portuaria ( $h > 12\text{m}$ ) y parte de la zona menos profunda ( $h < 3-4 \text{m}$ ). La trayectoria L3-4 se extiende unos 2.2 km comenzando a 7.3 km de S0 y pasa por la sección a la que llega el frente salino.

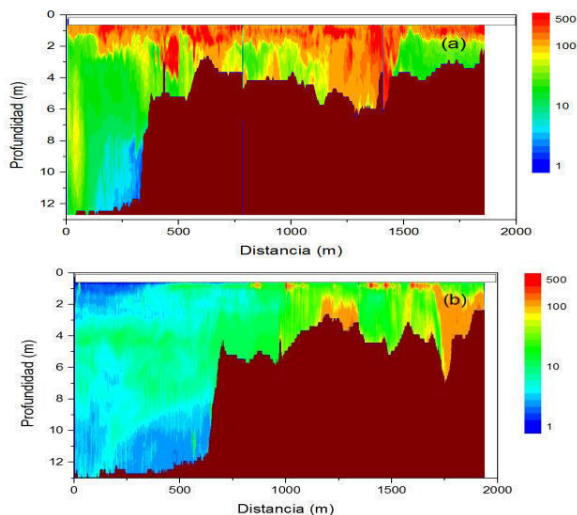
En los días previos al de medición, las condiciones meteorológicas fueron de tiempo calmo lo cual implica que el ERQG estaba estratificado. La Fig. 2 presenta la distribución espacial de concentración del MPS para el recorrido L1-2. La diferencia de profundidad entre las zonas portuaria y de menor profundidad del estuario es evidente. Durante el refluo (Fig. 2a), concentraciones de hasta 500  $\mu\text{L/L}$  de material suspendido son detectadas en los 2 m próximos a la superficie del agua. En algunos sitios, la alta concentración se detecta hasta el lecho; no obstante, en general, a profundidades  $h > 2 \text{m}$  se observan concentraciones menores. Esta



situación contrasta con la detectada durante el flujo (Fig. 2b), cuando la concentración es muy baja ( $< 10 \mu\text{L/L}$ ) en la zona portuaria y algo mayor ( $\sim 10 \mu\text{L/L}$ ) en la parte menos profunda donde también se observan algunos sitios cerca de la superficie y del lecho con concentraciones mayores ( $\sim 100 \mu\text{L/L}$ ).



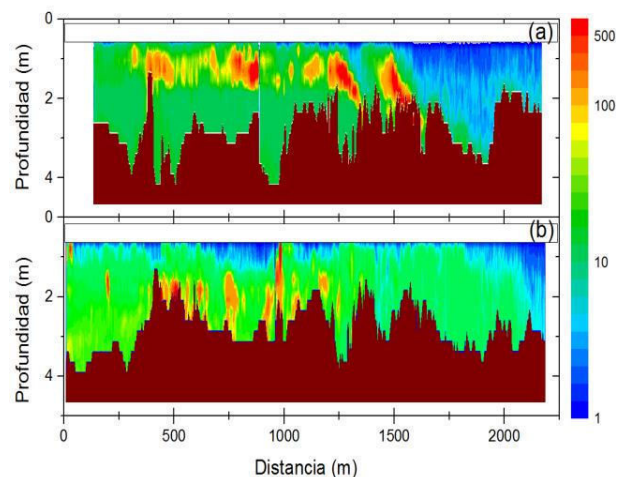
**Figura 1.**— Trayectorias a lo largo de las cuales se realizaron las mediciones. F indica el alcance del frente salino y S la posición del salto de profundidad.



**Figura 2.**— Concentración de material particulado en sedimentos en la columna de agua para diferentes tiempos durante las fases de (a) reflujó y (b) flujo a lo largo del recorrido L1-2. La escala logarítmica en unidades de  $\mu\text{L/L}$  se muestra en falso color a la derecha.

La Fig. 3 muestra las distribuciones de concentración del MPS a lo largo de las trayectorias L3-4 que abarca parte de los sectores superior y medio del ERQG. Durante el reflujó (Fig. 3a) se distingue una zona a la derecha de la figura con baja concentración de sedimentos ( $< 5 \mu\text{L/L}$ ), lo cual es consistente con la presencia de agua de río. A la izquierda de esta zona, se observa un par de plumas con alta concentración de partículas que se

separan del fondo y son transportadas hacia el mar a profundidades de entre 1.0 y 1.5 m. Debajo de estas plumas, la concentración es  $\sim 10 \mu\text{L/L}$ . Las plumas no se observan durante la fase del flujo (Fig. 3b) cuando se detectan sitios de alta concentración sobre el lecho. La zona de agua de río que se encontraba a la derecha durante el reflujó fue desplazada por agua con una concentración de  $\sim 10 \mu\text{L/L}$ . Además, se distingue una capa superficial de 1 m de espesor con agua dulce en todo el tramo de medición, la cual no es apreciable en Fig. 3(a).



**Figura 3.**— Concentración de sedimentos en suspensión medidos en la columna de agua para diferentes tiempos durante el (a) reflujó y (b) flujo próximo a la posición del frente de la intrusión salina. La escala logarítmica en unidades de  $\mu\text{L/L}$  se muestra en falso color a la derecha.

## Conclusiones

El código computacional presentado permite determinar la concentración del MPS en flujos estuarinos a partir de los registros de la intensidad de la señal acústica retrodispersada de un ADCP. Los datos adicionales necesarios, como la concentración y el tamaño de las partículas suspendidas en perfiles seleccionados junto con los respectivos perfiles de salinidad y temperatura, son obtenidos in situ con un difractor láser y una sonda multi-paramétrica, respectivamente. Este modo de procesamiento de la información registrada con el ADCP facilita obtener información sustancial en el análisis de los patrones hidro-sedimentológicos resultantes de la acción mareal y en la evaluación de eventuales cambios morfológicos en el ERQG. Resta aún encontrar una adecuada extrapolación de los valores registrados a profundidades donde el ADCP no mide debido a la sumergencia (i.e., cerca de la superficie libre).

## Referencias

- Marino B.M., Thomas L.P., Szupiany R.N., Pereyra M.G. y Gallo M.N. (2016). "Caracterización de los elementos suspendidos en un estuario estratificado usando un difractor LISST-25X". *Proceedings of the XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Francois R.E. y Garrison G.R. (1982a). "Sound absorption based on ocean measurements. Part I: Pure water and magnesium sulfate contributions," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, pp. 896–907.
- Francois R.E. y Garrison G.R. (1982b). "Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, pp. 1879–1890.
- Thorne P.D. y Hanes D.M. (2002). "A review of acoustic measurement of small scale sediment processes," *Cont. Shelf Res.*, Vol. 22, pp. 603–632.

## ESTIMACIÓN DE LA SALINIDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ADV

Rodrigo Mosquera y Francisco Pedocchi

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.  
[rmosquer@fing.edu.uy](mailto:rmosquer@fing.edu.uy) y [kiko@fing.edu.uy](mailto:kiko@fing.edu.uy)

### Introducción

Los Velocímetros Acústico Doppler ADV (por sus siglas en inglés) son muy utilizados para la obtención de mediciones detalladas de la velocidad del agua, ya que permiten estimar por ejemplo, estadísticos de la turbulencia, o tensiones de corte en el fondo (Voulgaris and Trowbridge, 1998; Cartwright et al., 2013; García et al., 2005). Los ADV consisten en un transductor piezoeléctrico principal, que emite un pulso ultrasónico, y tres o cuatro transductores que reciben la señal, situados a una cierta distancia.

En ambientes estuarinos, la salinidad  $s$  presenta variaciones importantes que pueden ser relevantes para la hidrodinámica y los procesos de transporte de sedimento (Fossati y Pedra-Cueva, 2008). En estos lugares,  $s$  es estimada mediante instrumentos dedicados a la medición de la conductividad eléctrica, temperatura y profundidad CTD (por sus siglas en inglés) que suelen ser tan costosos como un ADV. Por esto puede ser de interés utilizar la información que brinda el ADV para la estimación de  $s$ .

El presente trabajo discute la posibilidad de utilizar las mediciones provistas por un ADV para la determinación de la salinidad en cuerpos de agua donde ésta varía.

### Materiales y métodos

A demás de los forma usual en que los ADV determinan la velocidad, tienen una estrategia de muestreo en la que se realiza un “chequeo” (Probe Check mode para Nortek), donde se verifica el funcionamiento. En este modo el emisor genera un pulso, mientras los receptores registran la amplitud del sonido dispersado durante un largo intervalo de tiempo. La Figura 1 muestra las medidas realizadas por un ADV en distintas salinidades. Nótese que la Amplitud está dada en función de una distancia  $d$ , calculada como el tiempo transcurrido desde la emisión del pulso multiplicado por una velocidad prefijada  $c_{std}$  dividido dos.

El perfil de Amplitud se encuentra directamente relacionado con los patrones de radiación del transductor que emite y del que recibe. La distribución angular de la energía acústica que emite o percibe un transductor es a su vez, función de la geometría del transductor, de la velocidad del sonido en el medio  $c$  y de la frecuencia del sonido (Morse y Ingard, 1986). En la Figura 2 se muestra la intersección de los patrones de radiación de un emisor y un receptor en el plano que los contiene. En un determinado instante de tiempo, la señal registrada por el receptor es la integración de la energía acústica que se encuentra en entre dos elipsoides con ambos transductores como puntos focales.

El resultado de esta integración se muestra en línea gruesa en la Figura 1, el máximo relativo que se observa (cerca de 150 mm para el Vector de Nortek) se encuentra asociado al volumen donde se realizan las mediciones de velocidad. La ubicación de este máximo varía según la velocidad de la propagación del sonido  $c$ . Dado que la velocidad del sonido  $c$  en el mar es función de la presión, temperatura y salinidad (Del Grosso, 1974), es posible estimar la salinidad una vez conocidas la temperatura, presión y  $c$ .

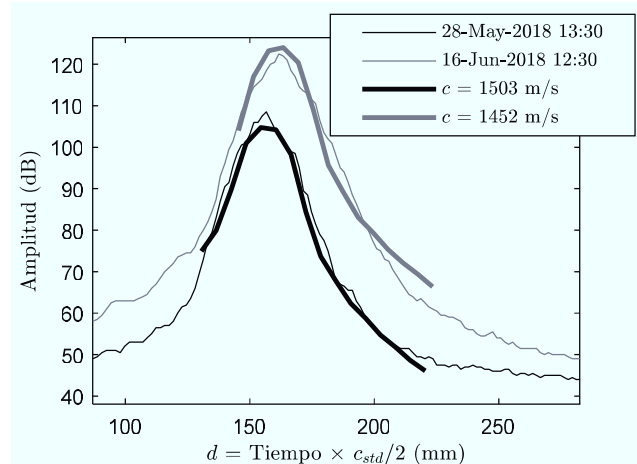


Figura 1.- Medidas realizadas durante el Probe Check (líneas finas), y estimaciones teóricas para dos  $c$ .

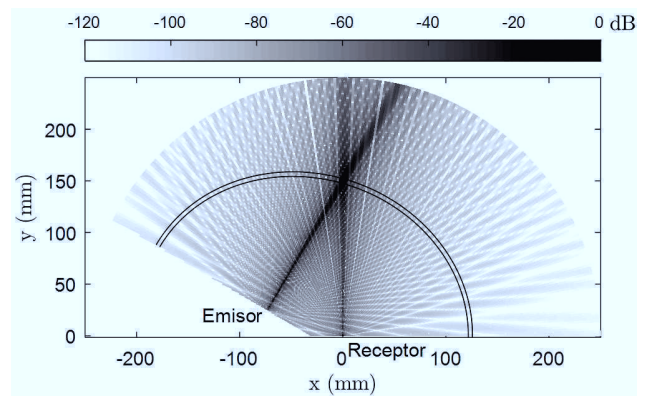


Figura 2.- Intersección del patrón de radiación del emisor y receptor considerando la geometría del Vector de Nortek. La escala de grises indica la amplitud relativa en dB.

Como primera aproximación, la distancia  $d$  que posee el mayor valor en el perfil de Amplitud puede ser utilizada para estimar  $c$ . Sin embargo, la discretización en el tiempo que tienen los perfiles del Probe Check resulta bastante gruesa, ya que en el rango de variación que presenta  $c$  (entre 1440 y 1540 m/s) varía tan sólo entre cinco puntos. Esto hace que la apreciación de  $c$  sea  $\sim 20$  m/s. Aunque los datos hayan sido muestreados en intervalos o pixeles más espaciados, una estimación más precisa es posible si implementa una estimación sub-píxel (Raffel et al., 2011). Ajustando el perfil de Amplitud a un polinomio de segundo orden

$$A = \alpha d^2 + \beta d + \gamma, \quad [1]$$

la distancia donde se da el máximo  $d_{max}$  del ajuste, se relaciona con  $c$  como

$$d_{max} = -\frac{\beta}{2\alpha} = \frac{K}{c}, \quad [2]$$

donde  $K$  es una constante que depende del instrumento ( $\sim 235 \text{ m}^2/\text{s}$  para nuestro ADV).

## Mediciones

Se realizó un fondeo en el período comprendido entre el 25 de mayo y el 25 de agosto en el estuario del Río de la Plata a unos 3,0 km al sur de la costa de Montevideo. Se colocaron un ADV Vector, fabricado por Nortek junto con un sensor de Conductividad, Temperatura y Presión CTD SBE 19plus V2 fabricado por SeaBird en una estructura fija. El ADV se encontraba a 30 cm del fondo mientras el CTD a unos 55 cm. El lecho en la zona es un barro consolidado de varios metros de espesor, compuesto mayoritariamente de limos y arcillas. Se registraron variaciones de temperatura entre 10 y 18 °C y de salinidad entre 0 a 28 psu en una zona de unos 7,5 m de profundidad.

La frecuencia del sonido que tiene el ADV es de 6 MHz y se configuró para medir ráfagas de 3 minutos de duración a 32 Hz cada 30 minutos, siendo el registro de los Probe Check al inicio y final de cada ráfaga para cada uno de los tres receptores que posee. El CTD se configuró para tomar datos también cada media hora. En la Figura 3 se observa la serie de velocidad del sonido y salinidad en este fondeo.

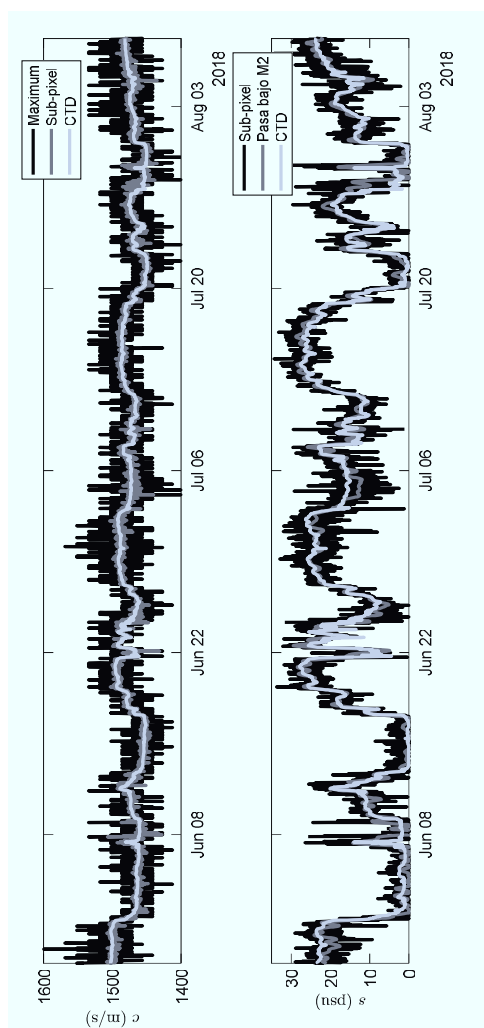


Figura 3.- Medidas realizadas durante el fondeo en el Río de la Plata.

Se observa en la Figura 3 que la serie de datos de salinidad obtenida mediante esta metodología (Sub-pixel) presenta variaciones de alta frecuencia. Puesto que la marea semidiurna M2 es la principal componente de oscilaciones en esta zona, se le aplica un filtro pasa bajos de 12,4 horas logrando una serie de datos más limpia y próxima a la serie de datos medida por el CTD.

## Conclusiones

La metodología aquí propuesta demuestra la posibilidad de realizar estimaciones de la salinidad en ambientes estuarinos. La desviación estándar de la diferencia entre las estimaciones del ADV y el CTD es de 4,0 psu para el set de datos estudiado. Si bien la duración del fondeo fue de tres meses, se registraron variaciones de temperatura y de salinidad en un amplio rango, en donde se valida esta técnica.

El uso del estimador sub-pixel logra errores cuatro veces menores en la estimación de la velocidad del sonido, siendo una rutina de cálculo de muy bajo costo computacional.

## Agradecimientos

El ADV utilizado en este trabajo fue adquirido gracias al programa Fondo María Viñas de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay. El trabajo de campo fue realizado gracias al apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República (UdelaR) en Uruguay. Los autores quieren agradecer también el trabajo realizado por Matías González, Guillermo Echavarría, Daniel Barboza y Ricardo Zouko del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR. Se agradece a los buzos de la empresa Technodive SRL así como la tripulación de la embarcación Titón por su ayuda en las maniobras de fondeo del instrumental.

## Referencias bibliográficas

- Cartwright, G.M., Friedrichs, C.T., Smith, S.J., (2013). "A test of the ADV-based Reynolds flux method for in situ estimation of sediment settling velocity in a muddy estuary". *Geo-Marine Letters* 33, 477-484.
- Del Grosso, V.A., (1974). "New equation for the speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations)". *The Journal of the Acoustical Society of America* 56, 1084-1091. doi:10.1121/1.1903388.
- Fossati, M., Piedra-Cueva, I., (2008). "Numerical modelling of residual flow and salinity in the Río de la Plata". *Applied Mathematical Modelling* 32, 1066-1086.
- García, C.M., Cantero, M.I., Niño, Y., García, M.H., (2005). "Turbulence measurements with Acoustic Doppler Velocimeters". *Journal of Hydraulic Engineering* 131, 1062-1073.
- Morse, P.M., Ingard, K.U., (1986). *Theoretical Acoustics*. Princeton University Press.
- Raffel, M., Willert, C., Scarano, F., Kähler, C., Wereley, S., Kompenhans, J., (2011). *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*. 30, Cambridge University Press.
- Voulgaris, G., Trowbridge, J.H., (1998). "Evaluation of the Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) for turbulence measurements". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 15, 272-289.



## MEDICIONES DE OLEAJE CON BOYA-GPS EN LAS PROXIMIDADES DE COLONIA.

Rodrigo Alonso, y Manuel Teixeira.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Uruguay  
[ralonso@fing.edu.uy](mailto:ralonso@fing.edu.uy), [mteixeira@fing.edu.uy](mailto:mteixeira@fing.edu.uy)

### Introducción

En este artículo se presenta la campaña de medición de oleaje realizada en el Río de la Plata en las proximidades de Colonia del Sacramento con la boya DWR-G4.

Los objetivos son difundir los aprendizajes adquiridos en el uso del instrumento así como presentar resultados sobre las características del oleaje en la zona obtenidos a partir del análisis de las mediciones realizadas. En este sentido se destaca que constituye la primera serie de espectros de oleaje medidos en esta zona del estuario.

### Boya DWR-G4

La boya DWR-G4 es un instrumento desarrollado por la empresa Datawell-BV. De las boyas que ofrece esta empresa y que se basan en la tecnología GPS, la DWR-G4 con sus 40 cm de diámetro y 17 kg de peso, es la de menor tamaño y menor peso. Esto la hace un equipo de fácil manipulación plausible de ser posicionado en el mar para medir oleaje recurriendo únicamente a una embarcación de pequeño porte.

El sensor del instrumento es un GPS simple. La medición se basa en considerar efecto Doppler a la señal de GPS para estimar la velocidad del emisor de la señal (i.e. antena GPS) y posteriormente integrando en el tiempo estimar los desplazamientos tanto en vertical como en horizontal. Admitiendo que la boya sigue el movimiento que tendría el volumen de agua que desplaza, los desplazamientos medidos pueden considerarse como desplazamientos de la superficie del mar y proporcionan la información necesaria para caracterizar el estado de mar que indujo el movimiento a la boya.

Los desplazamientos de la boya se registran con una precisión de 1 cm y una frecuencia de muestreo de 1.28 Hz. El análisis espectral realizado por el software de postprocesamiento W@ve21, convierte la serie de desplazamientos en espectros direccionales que van siendo almacenados. Los espectros cubren todas las direcciones y un rango de frecuencias de entre 0.025Hz y 0.6Hz. Por su parte, la resolución en direcciones es de 1.5°, mientras que la resolución en frecuencias es de 0.005 Hz en el caso de frecuencias menores a 0.1Hz y de 0.01 Hz para las frecuencias mayores a 0.1Hz.

Fenómenos de resonancia asociados tanto al desplazamiento vertical de la boya, así como a giros de la misma respecto a un eje horizontal, generan diferencias entre el movimiento de la antena GPS y el movimiento de las olas, introduciendo errores en las medidas. Para mitigar estos fenómenos de resonancia, la boya cuenta con un anillo de caucho en su ecuador y una cadena de estabilización en su parte inferior. En de Vries et al. 2007 se muestra la efectividad de estos elementos.

En pocos casos es factible que la boya mida estando a la deriva, siendo necesario el fondeo de la misma. Un anclaje que no restrinja el movimiento de la boya inducido por las olas, y por ende no afecte la medida, no es trivial. En la campaña realizada se optó por implementar el sistema de anclaje recomendado por Datawell BV (2011).

### Campaña de medición

La boya se fondeó en las proximidades de Colonia de Sacramento, específicamente en las coordenadas  $-57^{\circ}51.460'$ ,  $-34^{\circ}28.400'$ . Permaneció en el agua durante el período 4/7/2018 - 29/8/2018 (56 días) almacenando espectros de oleaje cada 30 minutos. En la Figura 1 se localiza el punto de fondeo y se muestra una cronología de la campaña.

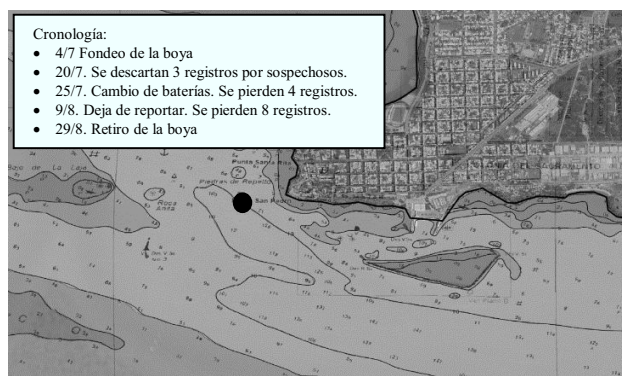


Figura 1.- Ubicación del fondeo (punto negro) y cronología de la campaña.

Los registros de oleaje se complementaron con los registros simultáneos de viento en la estación meteorológica INUMET de Colonia y medidas del nivel del mar registrados en el puerto deportivo de Colonia.

### Resultados

Una primera apreciación fue la cantidad de energía en bajas frecuencias en muchos de los registros obtenidos. Esto resultó sospechosos dado que no hay evidencia de oscilaciones de tan largo período en la zona. Se constató que se trataba de energía espuria originada por el análisis espectral a series de desplazamientos con huecos de información. Al reprocesar los espectros con el algoritmo de corrección propuesto en (Datawell BV, 2012) se logró eliminar esta energía espuria.

En la Figura 2 se presentan los espectros promedios. Se observa que la energía está comprendida entre 2 y 6 segundos de período y direcciones ente  $100^{\circ}$  y  $200^{\circ}$  (Convención Náutica). La energía pico promedio se da para un período de 4 s y una dirección de  $148^{\circ}$  (SE- SSE), mientras que también se aprecia un pico secundario en  $232^{\circ}$  (SW – WSW).

En la Figura 3 se presenta el diagrama de dispersión correspondiente a la altura de ola  $H_{m0}$  y al período medio  $T_{m01}$  (Holthuijsen 2007, por ejemplo, presenta la definición de estos parámetros). Se destaca que la nube de puntos se encuentra limitada por la curva correspondiente a un peralte de 1:15, valor de referencia tomado de Tucker (1991). Este resultado por un lado da una referencia para estimar un período correspondiente a un oleaje más energético, mientras que por otro da confianza en la medición en el sentido de que no hay registros de oleaje con peraltes sospechosos desde el punto de vista físico.

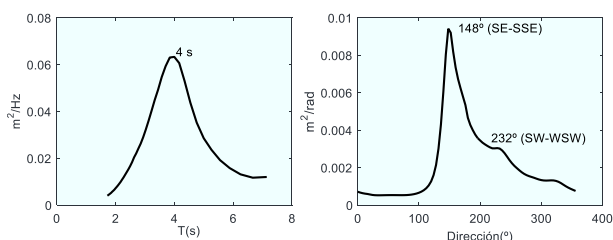


Figura 2.- Espectro promedio en periodos (izquierda) y en direcciones (derecha).

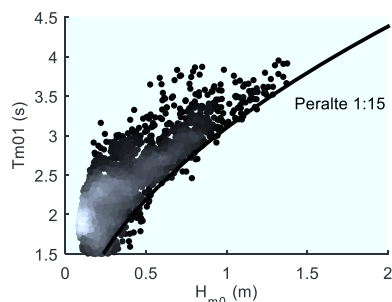


Figura 3.- Diagrama de dispersión. Altura de ola  $H_{m0}$  - Período medio  $T_{m01}$

En la Figura 4 se compara la dirección del viento con la dirección del oleaje. A su vez, se compara la intensidad del viento y la altura  $H_{m0}$  y se presenta la serie temporal de niveles. Las comparaciones muestran el comportamiento local del oleaje en la zona. Las direcciones de oleaje y viento coinciden cuando el viento viene desde el mar (i.e.  $100^\circ - 300^\circ$ ) y bajo estas condiciones la evolución de la altura  $H_{m0}$  reproduce la evolución de la velocidad del viento. Mientras que por otro lado, con viento del continente o con velocidades bajas, se aprecian calmas de oleaje ( $H_{m0} < 0.25$  m).

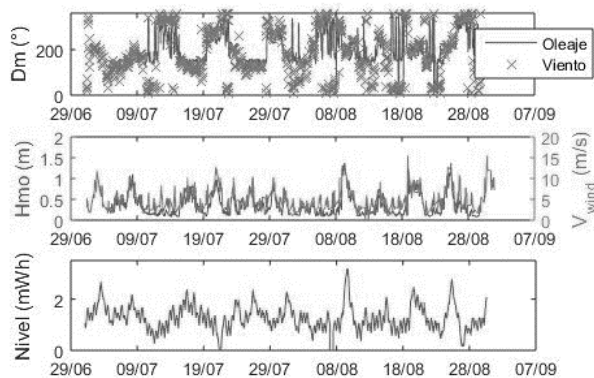


Figura 4.- Comparación entre dirección del oleaje y dirección del viento (arriba), entre  $H_{m0}$  y velocidad del viento (medio) y serie temporal de nivel medio del mar en el puerto de Colonia (abajo).

Resulta interesante destacar lo observado en el entorno del 16/7/2018 (Ver Figura 5). Se aprecian condiciones de viento de intensidad media con direcciones que varían entorno al SE ( $135^\circ$ ). Esta dirección, alineada con el eje del estuario, se corresponde con la mayor distancia de fetch. Se observan picos en la serie de  $H_{m0}$  con una separación de 12 h aproximadamente. Una señal similar se aprecia en la serie de niveles y es atribuible a la marea astronómica. El desfase entre la señal de  $H_{m0}$  y la de niveles está entre 1 y 4 horas. Esto es, los picos de oleaje se dan entre 1 y 4 horas después del pico de nivel. Una explicación a este tipo de eventos, radica en que para condiciones de viento persistentes y con largas distancias de fetch, la variabilidad del oleaje queda determinada por la variabilidad del nivel medio.

El proceso capaz de explicar esta correspondencia es la disipación de energía del oleaje debido a la interacción con el fondo. Un menor nivel equivale a una menor profundidad de la zona de generación del oleaje, implicando una mayor disipación por fondo que mitiga la energía del oleaje. Por el contrario con un mayor nivel, la disipación por fondo es menor y menos energía es disipada en la zona de generación.

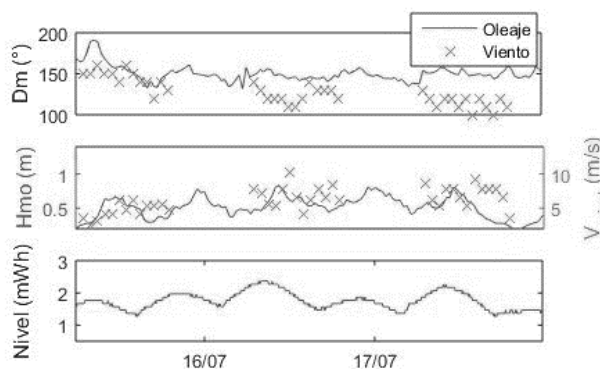


Figura 5.- Idem Figura 4 con acercamiento al día 16/7/2018.

## Conclusiones

La campaña realizada permitió aprender sobre el funcionamiento y uso del instrumento, a la vez que se generó la primera base de datos de espectros de oleaje medidos en esta zona del Río de la Plata.

Respecto al uso del instrumento, los principales aprendizajes pasan por medir in-situ la profundidad, de forma que los cabos del sistema de anclaje tengan las longitudes recomendadas y si se tiene implementado la transmisión en tiempo real, estar alerta de la presencia de huecos en la señal de desplazamientos, para en la medida de lo posible ensayar alguna corrección.

Los resultados obtenidos reflejan la característica local del oleaje en la zona. Esto significa que el oleaje está fuertemente condicionado por el viento local. A su vez, más de un evento permitió observar que para un viento relativamente constante, se observan variaciones en la altura de ola y estas responden a las variaciones del nivel medio del estuario. Se entiende que el proceso principal que hay detrás de esta influencia, es la disipación de energía del oleaje debido a su interacción con el fondo.

## Referencias Bibliográficas

- Datawell BV** (2011). *Datawell Mooring Manual. DWR-G4*. The Netherlands.
- Datawell BV** (2012). *GPS gap repair. DWR-G4*. The Netherlands.
- De Vries JJ.** (2007). "Designing a GPS-based mini wave buoy." *International Ocean System* May/June 2007.
- Holthuijsen L.H.** (2007). *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge Press. UK.
- Tucker M.J.** (1991). *Waves in ocean engineering. Measurement, analysis, interpretation*. Ellis Horwood Series in Marine Science, UK.

## Agradecimientos

El trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación a través del proyecto FMV-3-2016-1-125918 "Reanálisis de oleaje de alta calidad y alta resolución para el Río de la Plata".



## MEASURING ORBITAL VELOCITIES OF BICHROMATIC-BIDIRECTIONAL WAVES

Mario G. de Souza e Silva, Nils B. Kerpen and Claudio F. Neves

Federal University of Rio de Janeiro, Brazil<sup>1,3</sup>, Leibniz University Hannover, Germany<sup>2</sup>  
 mariosilva@poli.ufrj.br<sup>1</sup>, kerpen@lufi.uni-hannover.de<sup>2</sup>, neves@oceanica.ufrj.br<sup>3</sup>

### Introduction

Capacitive and resistive point gauges are commonly used in hydraulic models for measuring instantaneous free surface elevation. With a properly positioned array of these gauges, it is possible to characterize the direction of wave propagation in a wave basin and even quantify wave reflection (Lykke Andersen *et al.*, 2017). Due to surface tension, a meniscus may form around the sensor at the free surface, which may be enhanced by the presence of dust films on the water surface, thus interfering with the readings of the instrument. In addition, such instruments require recurring calibration, demanding more effort and labor time. The more recently developed ultrasonic sensors (USSs) offer the advantage of measuring the instantaneous free surface at a higher frequency and without interfering with the flow.

There are, however, alternative ways to measure waves in laboratory, such as pressure sensors and velocity meters. The main advantages of Acoustic Doppler Velocimeters (ADV) are the accuracy of the measurements, the time resolution and the possibility of observing a three-dimensional property (velocity) with least disturbance of the flow, different from other speed sensors (electromagnetic, hot wire, propellers, and rotors). The amount of noise and spikes present in ADV records has been one of the main criticisms of this type of instrument.

The present work describes the experiments carried out in the wave basin of the Ludwig-Franzius-Institut, at the Leibniz Universität Hannover, where Bichromatic and Bidirectional (Bi-Bi) waves were measured with an array of ADVs and two arrays of USSs. The second order subtractive nonlinear wave-wave interaction (Sharma and Dean, 1981), which is usually associated to infragravity waves (Bertin *et al.*, 2018), is the main focus of the present work.

### Objectives

This work proposes a new method for identifying nonlinear wave-wave interactions generated by Bi-Bi waves, by means of ADV measurements. The velocity output data is treated with a three-step procedure which gives a clean data set of the three components of the velocity field. The treated data is then subjected to the Hilbert-Huang Transform (HHT), which was developed specifically to deal with nonlinear and nonstationary phenomena (Huang and Wu, 2008). The NA-MEMD (Noise Assisted Multivariate Empirical Mode Decomposition), was applied to aid the HHT on sifting the different frequencies scales phenomenon inside the wave basin.

### Materials and Methods

The wave basin of the Ludwig-Franzius-Institut is 40 m wide and 15 m long. The wave maker, located along one of the longest sides of the basin, is composed by 72 individual paddles which enables the generation of Bi-Bi waves simultaneously. On the other three sides of the basin, a 5 m wide passive absorption system is placed in order to reduce wave reflection. Two arrays of USSs and one array of ADVs were used, as can be seen in Figure 1.

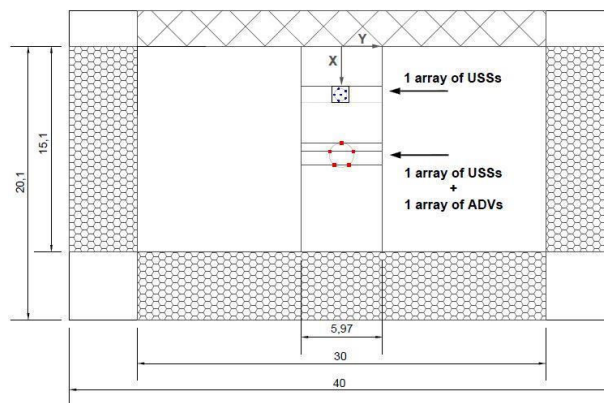


Figure 1.- Upper view sketch of the wave basin.

A total of 271 experiments were conducted, with different combinations of water depth, wave height, period and angle, and vertical positioning of the ADVs along the water column. Each simulation had 2 minutes of duration, and 10 minutes were allowed in between each run so that the water inside the basin could calm down. The following conditions were tested: water depth of 0.60 m and 0.75 m; wave steepness ranging from 0.01 to 0.07; and angle differences between primary waves of 0°, 10° and 30°. The ADVs were positioned mostly at 0.35 m below free surface, but a few experiments had the instruments at 0.50 m below the free surface. Table 1 summarizes the main characteristics of test T1, which will be used for exemplifying the results.

Table 1.- Example of experimental tests made in the 3D wave basin (h = water depth; d = ADV depth; H = wave height; T = wave period; D = wave direction; subscripts 'a' and 'b' represent each the primary waves).

Test	H <sub>a</sub> [m]	H <sub>b</sub> [m]	T <sub>a</sub> [s]	T <sub>b</sub> [s]	D <sub>a</sub> [°]	D <sub>b</sub> [°]	h [m]	d [m]
T1	0.05	0.11	1.60	2.10	10	0	0.60	0.35

Lack of suspended particles in the water may be one of the main causes for noisy ADV output data as well as the presence of spikes. In order to avoid this effect, almost neutrally buoyant seeding material was added to the water around each ADV, before each test. The seeding material was composed by TiO<sub>2</sub> at a concentration of 1.6 g/L, which was pumped through a circular plastic tube located directly on top of the ADVs, from where the material dripped to the water. A cloud of particles formed around the instruments, which had an approximate settling velocity of 1.5 mm/s. The vertical positioning of the ADV determined the previous necessary pumping time.

Treatment of the raw data followed three steps:

1. Despiking: spikes can be caused by either one of these effects: random movement of suspended material in the water; phase wrapping; air bubbles; bottom interference; or lack of suspended material in the water column. In this work, spikes were eliminated according to the method proposed by Goring and Nikora (2002);
2. Data filtering: the high sensitivity of the ADV probes capture

small scale hydrodynamic phenomena, such as turbulence. Because the main objective of the study was to analyze low frequency motions, the ADV record was filtered with a low pass filter (Thompson, 1983), which kept third order interaction components;

3. Tilt correction: in practice, it is very hard to align the probes exactly in vertical position and horizontal alignment. Different from field ADV probes, laboratory equipment does not have a built-in compass for tilt correction. Small misalignments of the ADV cause the (large) horizontal velocity to interfere with the vertical velocity component, for instance. Therefore, the square cross-correlation matrix procedure proposed by Neves *et al.* (2012) was applied to correct the ADV tilting.

Figure 2 shows the 3D hodograph of the measured velocities after the three-step procedure and a comparison with the modeled velocities given by the Sharma and Dean (1981) equations. The hodograph represents the time history of the tip of the velocity vectors.

## Results Evaluation

The Bayesian Directional Spectral Estimation Method (BDM) was applied to the USSs measurements. For test T1, the primary frequency waves ( $f_a$  and  $f_b$ ) were detected with good precision, along with a superharmonic wave,  $2f_b$ , and some reflections. However, no energy was present in the second order subtractive interaction band, which was expected to have 0.148 Hz ( $f_a - f_b$ ) for this test.

The HHT procedure applied to the array of ADVs produced 15 Intrinsic Mode Functions (IMFs). IMF 9 represented the second order subtractive wave-wave interaction, with an average instantaneous frequency of 0.149 Hz. Its 3D orbital velocity is plotted in Figure 3 along with the theoretical hodograph calculated by the Sharma and Dean (1981) equations. It is visually noticeable that the direction and the amplitude of this phenomenon was detected with a good precision.

## Conclusions

Direct measurement of wave orbital velocities presents many advantages as compared to free surface point gauges. First, most engineering applications require direct assessment of waves and acceleration (forces on structures, bottom stresses, sediment transport). Second, it is possible to characterize the local wave field in multidirectional seas, and to correlate the velocities directly with the response (object of study). Third, the frequency of acquisition is much higher as compared to point gauges. Fourth, it provides information on directionality, as opposed to single point wave gauges. Fifth, it does not require lengthy calibrations, unless some hardware malfunctioning exists. On the other hand, ADV measurements require more sophisticated data treatment, which includes despiking, low pass filtering, and positioning correction; further, the adequate amount of seeding in the water must be adjusted. Finally, a mathematical tool was presented for analyzing unsteady, nonlinear signals, based on HHT (Hilbert-Huang Transform), which was able to identify the long period subtractive interference, something which was not achieved by traditional Fourier spectral analysis of free surface data, even using an USS array.

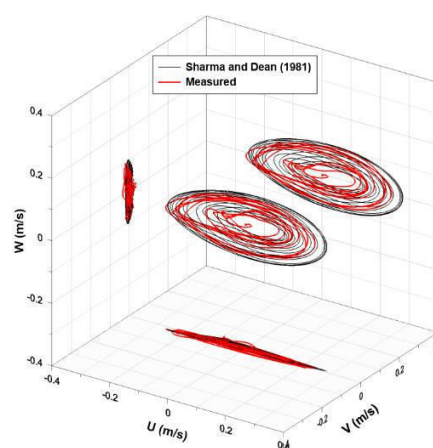


Figure 2.- Comparison between the measured and modeled hodograph of one of the ADVs during test T1.

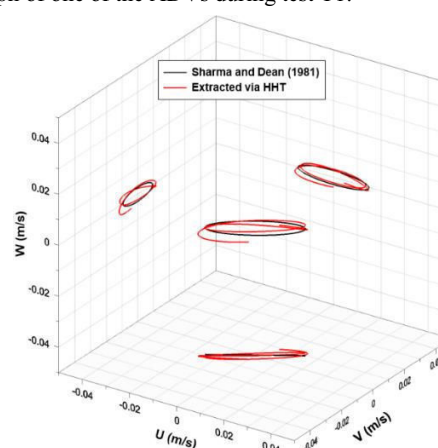


Figure 3.- Extracted second order subtractive wave through the HHT procedure applied to test T1.

## References

- Bertin, X. *et al.* (2018). "Infragravity waves: From driving mechanisms to impacts". *Earth-Science Reviews*, v. 177, p. 774–799.
- Goring, D.G. and Nikora, V.I. (2002). "Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data". *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 128, n. 1, p. 117–126.
- Huang, N.E. and Wu, Z. (2008). "A review on Hilbert-Huang transform: Method and its applications to geophysical studies". *Reviews of Geophysics*, v. 46, n. 2.
- Lykke Andersen, T.; Eldrup, M.R. and Frigaard, P. (2017). "Estimation of incident and reflected components in highly nonlinear regular waves". *Coastal Engineering*, v. 119, p. 51–64.
- Neves, C.F. *et al.* (2012). "The use of adv in wave flumes: getting more information about waves". *Coastal Engineering Proceedings*, v. 1, n. 33, p. 1–15.
- Sharma, J.N. and Dean, R.G. (1981). "Second-Order Directional Seas and Associated Wave Forces". *Society of Petroleum Engineers Journal*, v. 21, n. 01, p. 129–140, 1981.
- Thompson, R.O.R.Y. (1983). "Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies". *Journal of Physical Oceanography*, v. 13, n. 6, p. 1077–1083.

## ESTUDIO DE LA HIDRODINÁMICA EN ZONA DE ROMPIENTE DE PLAYAS APLICANDO TÉCNICAS DE IMÁGENES

G. Echavarría, R. Mosquera y F. Pedocchi

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Uruguay  
[gechavarría@fing.edu.uy](mailto:gechavarría@fing.edu.uy); [rmosquer@fing.edu.uy](mailto:rmosquer@fing.edu.uy); [kiko@fing.edu.uy](mailto:kiko@fing.edu.uy)

### Introducción

Desde hace varios años se trabaja a nivel internacional en el desarrollo de sistemas que permitan la obtención de información de la hidrodinámica y morfodinámica de playas mediante métodos no intrusivos, en particular mediante sistemas de video, con el objetivo de facilitar la medición en zonas de difícil acceso, reducir los costos de estas medidas y/o facilitar la obtención de series de datos de larga duración y alta frecuencia de muestreo. A modo de ejemplo son mencionados los trabajos sobre detección de línea de costa en True Vert, Bordeaux (Almar et al., 2011) o medición de corrientes litorales en Duck, Carolina del Norte (Chickadel et al., 2003).

Estos métodos permiten tener una mayor resolución espacial, sacrificando precisión en la medición de las distintas variables. Por otra parte, es más seguro a la hora de medir los distintos parámetros en zonas de difícil acceso y de gran riesgo. Una vez implementados y calibrados los sistemas basados en el uso de cámaras de video resultan notoriamente más económicos, de fácil uso y mantenimiento que los sistemas intrusivos de medición in-situ, como lo pueden ser un ADV o un ADCP, entre otros.

Este trabajo muestra avances en la medición de corrientes litorales mediante técnicas de seguimiento de trazadores utilizando una serie de pequeños intervalos de tiempo de una tira de píxeles en la dirección paralela a la costa (Chickadel, 2003) a la que llamaremos "timestack" procesadas mediante transformadas de Fourier para la determinación de la corriente litoral. Más recientemente en el tiempo se han implementado además otros tipos de procesamiento de las timestack como ser, transformadas de Radon (Almar, 2016) y detección de direcciones en los gradientes de color (Tsukabi, 2017).

### Objetivos

El objetivo general es mejorar la descripción y cuantificación de la hidrodinámica y transporte de sedimentos en la zona litoral de la costa. Los objetivos específicos son: Implementar y aplicar técnicas de velocimetría para la zona litoral; estudiar particularidades de aplicación de la técnica al caso en que existen patrones no asociados al flujo de masa como pueden ser las ondas estacionarias en cursos de agua y oleaje progresivo en la costa; avanzar en la determinación de la corriente litoral a partir del oleaje incidente

El presente trabajo hace foco principalmente en el primer punto, describiéndose la metodología a emplear, un caso de aplicación en la Playa Carrasco en Montevideo y un posterior análisis de resultados.

### Metodología

De manera de poder determinar o ajustar un valor de la corriente litoral se busca hacer un ajuste teórico respecto a la velocidad superficial observable. Como fue mencionado en la Introducción, esta velocidad superficial es obtenida mediante técnicas de seguimiento de trazadores utilizando el análisis de timestack.

Los timestacks son una representación de un gráfico "posición vs. tiempo" de los trazadores que pueden ser observados en la

superficie. Es remarcada la importancia de los timestacks, dado que serán utilizados para predecir de manera automática la velocidad superficial de los trazadores y formas superficiales, además de ser una muy buena técnica para el fácil filtrado de fenómenos que no presentan un interés inmediato.

En la lista a continuación son mencionados los pasos que se toman, desde que es adquirido el video hasta que se obtiene un resultado de velocidad:

#### 1. Obtención de video y corrección de distorsión.

Esta etapa es muy importante ya que para la obtención de un buen resultado final es fundamental contar con videos de buena calidad, la principal materia prima. Existen diversas técnicas o prácticas, como puede ser la utilización de VANT (Vehículos Aéreos no Tripulados), sistemas de cámaras tanto fijos como móviles o simplemente la obtención de un video a mano alzada. Es posible que en casos como la toma del video a mano alzada o con un dron en condiciones de viento fuerte, sea necesario realizar una estabilización del video previa a su procesamiento.

Por otra parte, es conocida la distorsión que presentan los lentes de las cámaras, efecto que es muy fácil de notar en cámaras con lentes fish-eye como los que vienen con cámaras Go-Pro. Por lo que siempre es recomendable y necesario, una previa corrección de este fenómeno en los videos obtenidos y no inducir más errores a la técnica.

#### 2. Orto-rectificación.

Debido a que generalmente en la obtención del video, las imágenes obtenidas no son cenitales, es necesaria la realización de una Orto-rectificación, de manera de re-proyectar la imagen en un plano más conveniente. Para explicarlo de manera breve, el proceso de este paso es relacionar distancias o posiciones en píxeles, con sus correspondientes posiciones/distancias en el mundo real.

#### 3. Armado de time-stack.

Obtenida la relación entre las medidas físicas y las "distancias" entre píxeles, el siguiente paso es el armado del timestack. Como fue mencionado anteriormente, el timestack es un gráfico de posición/tiempo, que representa la evolución en intensidad de una tira de píxeles en el tiempo. De manera de hacer la explicación más representativa, en la Figura 1 es mostrada la línea de píxeles seleccionados para realizar un timestack.

Habiendo seleccionado la línea de interés y una frecuencia de muestreo acorde al problema, el paso siguiente es la concatenación de la línea de interés seleccionada a lo largo de los frames del video. Al ser seleccionada la frecuencia de muestreo (teniendo como límite superior la capacidad máxima de muestreo de la cámara) es obtenida la separación temporal, siendo esta igual a la inversa frecuencia de muestreo elegida por el usuario. Como resultado de esta acumulación de "tiras de píxeles" y conocida la separación temporal entre cada una de ellas a lo largo de un video o una fracción del mismo, es obtenido un gráfico de timestack como en la Figura 2.



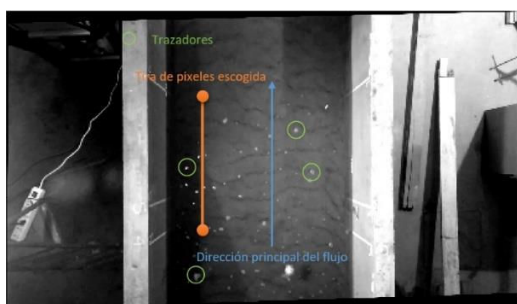


Figura 1.- Ejemplo de Figura

Habiéndose realizado la orto-rectificación y una correcta selección de frecuencia de muestreo, es posible darles un sentido físico a los píxeles en sus dos dimensiones. Por un lado, obtenemos una relación entre la dimensión vertical de los píxeles y su dimensión física mediante la orto-rectificación. Por otro lado, al momento en que se elige la frecuencia de muestreo, es conocido el intervalo de tiempo entre tiras de píxeles, pudiéndose relacionar de manera directa el tamaño de la dimensión horizontal de los píxeles con una escala temporal. De esta manera estamos en condiciones de "medir" patrones en magnitudes que tienen un sentido físico.

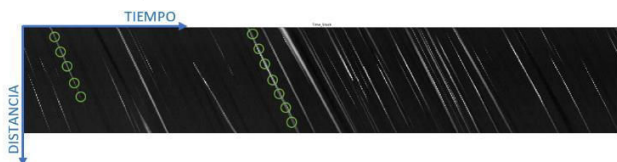


Figura 3.- Ejemplo de timestack obtenido de un video en canal sedimentológico del IMFIA.

Los últimos dos pasos que corresponden al filtrado de la información y análisis de los timestacks respectivamente, serán explicados mediante un caso práctico que se desarrolló en la Playa de Carrasco.

### Aplicación

Han sido realizadas diversas salidas de campo para probar la técnica, en particular en este trabajo se presenta una salida hecha el 30 de noviembre del año 2018 a la Playa Carrasco en Montevideo. A continuación, es dada una pequeña descripción de los materiales utilizados. Para obtener los videos se utilizó un Dron Mavic Pro (Figura 3), un GPS diferencial y para corroborar las mediciones que se obtienen mediante la técnica son utilizados unos elementos que le llamaremos drifters, que consisten en una boya flotante a los que se le adhiere un teléfono móvil (Figura 3) registrando su posición cada 4 segundos.

Al ser el timestack un gráfico posición/tiempo, la pendiente de la trayectoria de los trazadores representa la velocidad de los mismos, afectados por los factores de escala que le terminan dando un sentido físico a la velocidad.

El filtrado de la información consiste en restringir el universo observable de velocidades a aquellas que tengan un sentido físico.

A modo de ejemplo, el interés de este trabajo es medir la corriente litoral y desestimar la velocidad del oleaje incidente, por lo que, al elegir una tira de píxeles perpendicular a la dirección principal de incidencia del oleaje, esta marca una línea vertical en el timestack lo que se traduce en una velocidad extremadamente alta, siendo esta descartada.

Luego, el timestack es dividido en porciones de igual largo y ancho. A cada "trozo" de timestack se le aplica la transformada de Radon de manera de encontrar automáticamente las pendientes principales de las trayectorias.



Figura 3.- Fotos tomadas en salida de campo de dron Mavic Pro y de unos de los drifters utilizados.

En la Figura 4 es mostrado: el timestack utilizado; donde fue seleccionada la línea de píxeles para la obtención del timestack; un gráfico que muestra la auto detección de la velocidad predominante obtenido como resultado de aplicar la transformada de Radon; por último, un histograma de las velocidades obtenidas.

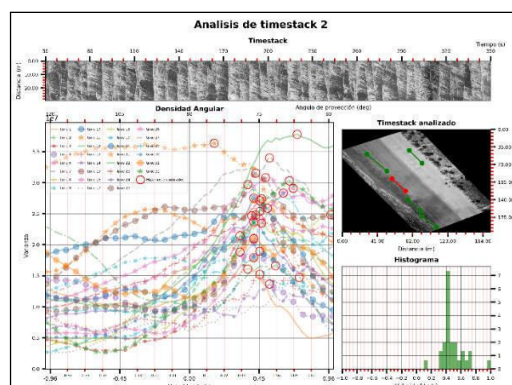


Figura 4.- Salida grafica de análisis de timestack en salida de campo en Playa Carrasco

### Resultados y Conclusiones

Como resultado principal en el caso de aplicación, se obtuvo una muy buena relación entre la velocidad obtenida con la metodología propuesta (0,42 m/s) y la que arrojaron los drifters (0,47 m/s).

Por otra parte, es destacable el paso que se ha dado en el desarrollo de esta metodología, no solo para medir corrientes litorales, sino que es aplicable a otras variables como pueden ser: celeridad del oleaje; determinación del periodo; ángulos de incidencia; entre otros. Y no solamente para la costa, sino que es igual de válida para determinar velocidades superficiales en ríos y/o arroyos, pudiéndose utilizar las técnicas de filtrado para desestimar por ejemplo los efectos de ondas estacionarias que afectan fuertemente a técnicas más conocidas como los son el PIV/PTV.

### Referencias

Almar et al., 2016. On the use of the Radon transform to estimate longshore currents from video imagery. Coastal Engineering 114 (2016) 301–308

C. C. Chickadel, R. A. Holman, and M. H. Freilich, 2003. An optical technique for the measurement of longshore currents. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. C11, 3364, doi:10.1029/2003JC001774, 2003

Tsubaki, R. (2017). On the texture angle detection used in space-time image velocimetry (STIV). Water Resources Research, 53, 10,908–10,914. <https://doi.org/10.1002/2017WR021913>

## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD DE MEDICIÓN EN PLUVIÓMETROS DE ALTA FRECUENCIA

Juan F. Weber<sup>1</sup>, Gabriel Bogino Castillo<sup>1</sup>, Alexis Padrón Gentile<sup>1</sup>, Erica Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina. Tel./Fax: +54.0351.598-6000.  
e-mail: jweber@frc.utn.edu.ar

<sup>2</sup>Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHI) - Humberto Primo 607, Ciudad de Córdoba, Córdoba - Argentina. Tel./Fax: +54 0351 5547970.

### Introducción

En el marco de cuantificar los recursos hídricos de la provincia de Córdoba de manera tal de lograr una correcta planificación de los mismos, se trabaja en la extensión de la red hidrometeorológica de la Provincia. La red existente cuenta con distintos tipos de pluviómetros de alta frecuencia, por tal fue necesario conocer la precisión de estos y saber si son adecuados para cuantificar los eventos pluviométricos de la región.

### Objetivos

El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de medición de tres pluviógrafos a cangilones o pluviómetros de alta frecuencia (PAF). En este trabajo se presentan los resultados del análisis experimental de la exactitud, precisión y sensibilidad de estos tres PAF, denominados (por sus marcas comerciales) Davis, Tecmes Alto y Tecmes Bajo, junto con un pluviómetro universal tipo "B", sometidos a precipitaciones simuladas bajo un simulador de lluvia portátil (denominado Tipo B) disponible en este Laboratorio.

### Materiales y métodos

#### Arreglo experimental

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un simulador de lluvia portátil, denominado tipo B (Figura 1) que consta de una red realizada con conectores tipo "T", unidos por trozos de manguera. Los formadores de gotas son agujas hipodérmicas que se introducen en los conectores. La malla formadora de gotas puede colocarse a diferentes alturas, permitiendo variar la carga, obteniendo diferentes intensidades de lluvia simulada (Weber y Reyna, 2016).

El arreglo experimental (Figura 1), instalado en el Laboratorio, consta de la propia estructura del Simulador (A), que soporta el tanque elevado (B), el cual suministra a la parrilla de formadores (C) de una carga hidráulica  $h$ , de quien depende la intensidad de lluvia. El tanque elevado B es alimentado por una bomba (I) que aspira de un tanque inferior (G) y eleva a través de una tubería de alimentación (K), previo paso por un filtro de 20  $\mu\text{m}$ , al tanque elevado B. El caudal suministrado por la bomba I es regulado mediante una válvula esférica J. El tanque B tiene un desborde, que descarga a través de la tubería H, y que permite mantener durante un experimento la carga  $h$  constante.

Debajo de la parrilla de formadores C, y montada sobre la estructura soporte A, se ubica la bandeja interceptora D, la cual recoge la precipitación y descarga el escurrimiento generado a un vaso graduado E. Asumiendo estacionariedad de la precipitación (y por tanto del caudal) es posible determinar estas variables midiendo el tiempo de llenado de un volumen conocido.

Al extraer la bandeja interceptora D, la precipitación cae sobre el pluviómetro a estudiar (F). Debido a la regularidad de la distribución espacial de los formadores, el posicionamiento de la boca del pluviómetro condicionaría el número de gotas captadas,

para evitar este efecto, se introdujo durante la realización del ensayo, un movimiento oscilatorio suave y controlado de la estructura del simulador (aislando al tanque B en una estructura independiente), garantizando así la aleatoriedad en la distribución espacial de la precipitación generada.

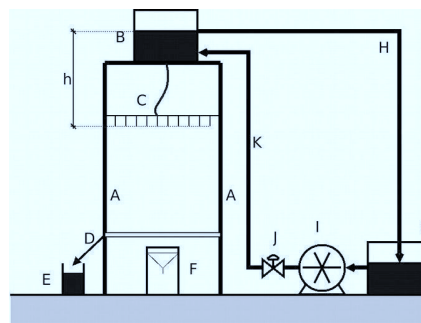


Figura 1.- Arreglo experimental

#### Equipos ensayados

La APRHi proveyó los equipos a ensayar, que consistieron en (Figura 2):

- Tres pluviómetros de alta frecuencia (PAF), o pluviógrafos a cangilones, todos ellos con una constante de 0,2 mm (lámina acumulada por cada basculación del cangilón). Dos de la marca TECMES, denominados TECMES Alto (de 20 cm de diámetro) y TECMES Bajo (de 15,5 cm de diámetro). Y uno de la marca Davis, modelo Rain Collector II.

La adquisición de la información digital, se efectuó con una Placa de Desarrollo Arduino Adaptada, especialmente desarrollada para su uso con los PAF provistos. Tanto para el Tipo B como para la medición de la intensidad con la bandeja interceptora, los registros fueron tomados manualmente mediante el uso de un cronómetro.



Figura 2.- Pluviómetros ensayados (de izquierda a derecha): TECMES Alto, TECMES Bajo, Davis, y Tipo B

#### Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se dividió en dos etapas, la primera enfocada a la caracterización de la exactitud de los pluviómetros ensayados, y la segunda orientada a la precisión y sensibilidad de los mismos. En todos los casos se utilizaron como formadores de gotas agujas hipodérmicas de 0,5 mm de diámetro.

En la primera etapa, se fijaron 10 cargas hidráulicas  $h$  para el análisis, variables entre 20 y 150 cm, que dieron lugar a



intensidades variables entre 22 y 113 mm/h. Para cada una de las intensidades indicadas, se ensayaron los tres PAF y el pluviómetro tipo B, durante 10 minutos; registrando la lámina acumulada en el tipo B, y el número de pulsos en los PAF. A partir de esta información se obtuvieron las láminas registradas por cada equipo, las que se dividieron por el intervalo de tiempo (10 minutos) para obtener la intensidad media registrada.

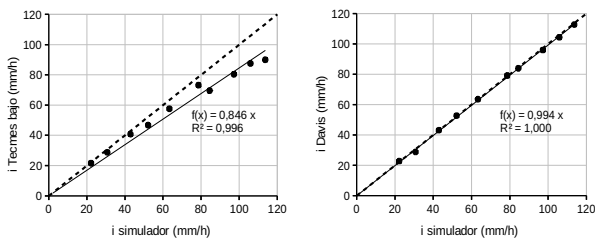
En la segunda etapa, se consideraron tres intensidades, denominadas baja, media y alta (22, 63 y 113 mm/h respectivamente), bajo las cuales se ensayaron cada uno de los cuatro pluviómetros en 10 periodos de 5 minutos de duración, obteniéndose las correspondientes intensidades.

Finalmente, los ensayos de sensibilidad consistieron en el registro de los tiempos de ocurrencia de cada basculación del cangilón (únicamente para PAF) y analizar la variabilidad de los intervalos de tiempo, ante una precipitación de intensidad constante. Se asume que cuanto mayor es la variabilidad de estos intervalos, tanto mayor es la sensibilidad del aparato. La intensidad seleccionada fue la más baja (22,2 mm/h) de forma de poder apreciar la eventual variabilidad en esos intervalos de tiempo.

## Resultados

En relación a la exactitud de los aparatos ensayados, pudo apreciarse que la variabilidad entre las intensidades registradas aumenta a medida que aumenta la magnitud de la intensidad: se observó que a partir del ensayo 4 (52 mm/h) los PAF TECMES tienden a subestimar sistemáticamente la intensidad registrada, en comparación con el Davis y el pluviómetro tipo B, con diferencias significativas para las más altas intensidades.

Esto último puede verse reflejado en la Figura 3, donde se comparan, a título de ejemplo, las intensidades registradas por los PAF TECMES Bajo y Davis con la determinada en el Simulador de Lluvia. La línea discontinua representa la recta identidad (correspondencia perfecta).

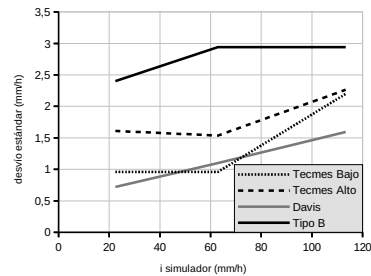


**Figura 3.-** Relación entre intensidades del simulador, del PAF TECMES Bajo (izquierda) y PAF Davis (derecha) junto a la recta de mejor ajuste

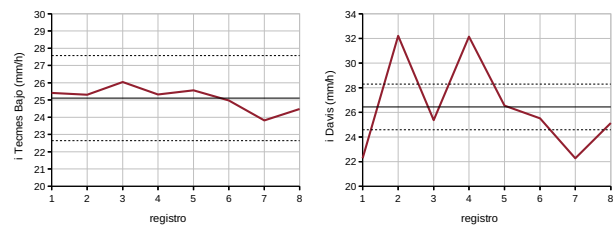
En relación a la precisión, en la Figura 4 se presentan los desvíos estándar de las series medidas para cada pluviómetro en función de la intensidad de lluvia. Puede observarse que en todos los casos el desvío estándar crece con la intensidad de lluvia; siendo en general el PAF Davis el de menor dispersión, siguiéndole el TECMES Bajo, luego el TECMES Alto y por último, con la mayor dispersión en las mediciones, el Tipo B.

Finalmente, en relación con la sensibilidad, en la Figura 5 se presentan, a título de ejemplo, las intensidades instantáneas en ocho intervalos de tiempo, junto con la intensidad media y su intervalo de confianza del 99 %. Puede observarse que para el PAF TECMES los puntos experimentales caen dentro del intervalo de confianza, por lo que no es posible asegurar que tengan la suficiente sensibilidad como para captar la variabilidad de la precipitación simulada; mientras que en el caso del PAF Davis

existen varios puntos que claramente caen fuera del intervalo de confianza, con lo cual dicha variabilidad responde a mecanismos que van más allá del error experimental: reflejan la variabilidad aleatoria de la lluvia generada.



**Figura 4.-** Desvíos estándar de las series medidas con cada pluviómetro en función de la intensidad de lluvia



**Figura 5.-** Intensidades instantáneas obtenidas en ocho registros en el ensayo de sensibilidad por los PAF TECMES Bajo (izq.) y Davis (der.), junto con la intensidad media y su intervalo de confianza al 99%

## Conclusiones

Ha sido posible implementar un procedimiento que permitió caracterizar a tres Pluviómetros de Alta Frecuencia (PAF) junto con un pluviómetro estándar (Tipo B) en sus aspectos básicos de calidad de medición: exactitud, precisión y sensibilidad, mediante el uso de un microsímulator de lluvia de baja presión.

Tanto el PAF Davis como el Tipo B presentan una exactitud considerable frente a los PAF TECMES Bajo y Alto. El PAF Davis muestra la mayor precisión en las observaciones, seguido por los PAF TECMES; el Tipo B muestra la menor precisión. Finalmente, el PAF Davis muestra la mayor sensibilidad, seguidos por los PAF TECMES Alto y Bajo. En la Tabla 1 se presenta un ranking de los PAF ensayados en función de los aspectos considerados, junto con un índice cualitativo que intenta englobar los tres aspectos.

**Tabla 1.-** Posición (ranking) obtenida por cada PAF en los tres aspectos considerados, junto con la media como indicador global de calidad

Aspecto	Davis	Tecmes Alto	Tecmes Bajo
Exactitud	1	2	3
Precisión	1	3	2
Sensibilidad	1	2	3
<b>media</b>	<b>1</b>	<b>2,33</b>	<b>2,67</b>

Se concluye entonces, en el aspecto de la medición, que el PAF Davis es el instrumento de mayor calidad, seguido por el TECMES Alto y por el TECMES Bajo.

## Referencias Bibliográficas

Weber, J. F., Reyna, S. M. (2016). "Desempeño de un nuevo microsímulator de lluvia para estudios hidrológicos a campo o en laboratorio". VI Congreso Internacional Sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. 9,10 y 11 de noviembre de 2016. Universidad Blas Pascal, Ciudad de Córdoba - Argentina.

# DISEÑO DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE BALANCES MACROSCÓPICOS DE MATERIA

Noelia Alasino<sup>1,2</sup>, Estela E. Reyna<sup>1</sup>, Nicolás Gañán<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química Industrial y Aplicada, FCEfYN-UNC

<sup>2</sup> Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada (IPQA), UNC-CONICET  
 Av. Velez Sarsfield 1611, X5016GCA, Córdoba, Argentina. Teléfonos: +54 351 433-3078, +54 351 5353800 Int. 29783 – 29784 – 30411.  
 E-mail : [nalasino@unc.edu.ar](mailto:nalasino@unc.edu.ar), [estela.reyna@unc.edu.ar](mailto:estela.reyna@unc.edu.ar), [nicolas.ganan@unc.edu.ar](mailto:nicolas.ganan@unc.edu.ar)

## Introducción

En el presente trabajo se presenta una propuesta didáctica para la enseñanza de balances macroscópicos de materia en la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (F.C.E.F. y N.) de la Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.). La experiencia pedagógica incluye el modelado matemático del comportamiento hidráulico y la descripción de la respuesta concentración versus tiempo del sistema propuesto; por medio de la medición de concentración con el uso de sensores, recopilación y análisis de datos por medio de software, y el procesamiento posterior de los datos con utilitarios matemáticos adecuados.

La experiencia de laboratorio consiste en la dilución de soluciones salinas (agua y NaCl) dispuestas en dos o más tanques agitados en serie. Para ello, se construye un sistema de kitsatos agitados en serie, como se muestra en la Figura 1, cada uno de ellos con una solución de sal de una concentración inicial dada. Se introducen sensores de conductividad en cada uno de los tanques y se comienzan a almacenar los datos de concentración de sal versus tiempo por medio de software apropiado. Se comienza la experiencia al agregar de manera continua agua con un caudal de entrada constante al primer tanque, provocando a la vez que el efluente de éste pase por rebalse al segundo tanque de la serie, y así sucesivamente si hubiera mas tanques.

Una vez recopilados datos suficientes, se procede a la comprobación del cumplimiento de las ecuaciones resultantes del tratamiento teórico del problema, mediante el ajuste de los datos obtenidos experimentalmente. Mediante balances de masa del sistema en flujo se encuentran las ecuaciones que vinculan el caudal y la composición de las corrientes de entrada y salida con las variaciones de concentración en el interior de cada uno de los tanques agitados de la serie.

## Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Aplicar y comprender los balances de materia en reactores tipo tanque agitado de volumen constante.
- Encontrar las ecuaciones que vinculan el caudal y la composición de las corrientes de entrada y salida con las variaciones de composición en el interior de dos tanques agitados en serie.
- Encontrar los perfiles de concentración en cada uno de los tanques aplicando condiciones iniciales.
- Ajustar mediante un utilitario matemático las constantes de las ecuaciones obtenidas con los datos experimentales de concentración vs. tiempo recopilados.
- Comprobar el cumplimiento de las ecuaciones resultantes del tratamiento teórico del problema.

## Materiales y Métodos

**Materiales:** soluciones de NaCl, conductímetros y programa DataStudio, agitadores magnéticos, 2 o más kitsatos de igual volumen y tubos de conexión.

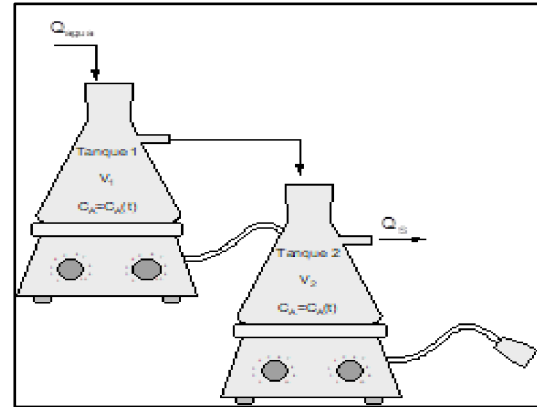


Figura 1.- Sistema de Kitsatos

**Metodología.** Antes de comenzar la experiencia: 1- se miden los volúmenes de los kitsatos, todos deben tener el mismo volumen  $V$ ; 2- se construye una curva de calibración conductividad-concentración, a partir de soluciones de concentraciones conocidas; 3- se ajusta el grifo y se calcula el caudal de entrada de agua  $Q_e$  que se empleará para la corrida, mediante probeta y cronómetro, o por pesada; 4- se construye un sistema de kitsatos agitados en serie, como se muestra en la Figura 1, de manera que el rebalse del primer kitsato pase al segundo y así sucesivamente; 5- se llena cada kitsato con una solución de sal de una concentración inicial dada, 6- se ponen en marcha los agitadores magnéticos; 7- se introducen sensores de conductividad en cada uno de los kitsatos y se comienzan a almacenar los datos de conductividad en cada kitsato, para luego calcular la concentración de sal, versus tiempo, por medio de software apropiado, en este caso se emplean sensores PASCO y el Programa DataStudio; 8- se comienza la experiencia al agregar de manera continua la corriente de agua con caudal constante al primer tanque y se registra ese instante como el  $t = 0$  de la corrida.

Considerando el sistema presente en la Figura 1, se plantea el siguiente balance de masa total para cada kitsato:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho dV + \int_{SC} \rho \underline{v} \cdot \underline{n} dA = 0 \quad [1]$$

donde  $\rho$  es la densidad global de la mezcla,  $V$  el volumen de control,  $v$  la velocidad en el área de control y  $n$  el vector normal saliente a la superficie de control de área  $A$ . Considerando volumen y densidad constante, ya que el sistema funciona por rebalse y la densidad global no cambia significativamente con la concentración de sal, se llega a la expresión:

$$Q_e = Q_s = Q \quad [2]$$

donde  $Q_e$  es el caudal de entrada,  $Q_s$  el caudal de salida y  $Q$  es el caudal nombrado en forma general del sistema.

Para cada uno de los kitsatos se plantean además los balances de masa correspondientes para el componente sal:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} (\rho_{A,i}) dV + \int_{SC} \rho_{A,i} \underline{v} \cdot \underline{n} dA = 0 \quad [3]$$

donde  $\rho_{A,i}$  es la concentración de sal en el kitsato  $i$ .

Para el tanque 1, se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{d[\rho_{A,1}(t)]}{dt} V + \frac{dV}{dt} [\rho_{A,1}(t)] - \langle \rho_{A,1} \rangle_e Q + \langle \rho_{A,1} \rangle_s Q = 0 \quad [4]$$

donde  $\rho_{A,1}(t)$  es la concentración de sal dentro del kitasato 1, siendo una función del tiempo,  $(\rho_{A,1})_s$  es la concentración de sal en la corriente saliente y  $(\rho_{A,1})_e$  es la concentración de sal en la corriente de entrada al primer kitasato. Considerando que hay mezcla completa, es decir que la concentración de sal a la salida es la misma que en el interior del tanque  $(\rho_{A,1})_s = \rho_{A,1}(t)$  y sabiendo que la corriente de entrada al primer kitasato es agua de grifo,  $(\rho_{A,1})_e = 0$ . Se integra la ecuación resultante, se aplica la condición de concentración de sal inicial y se llega a la expresión para el perfil de concentración correspondiente al kitasato 1:

$$\rho_{A,1}(t) = \rho_{A,1}^{\circ} e^{-\left(\frac{Q}{V}\right) t} \quad [5]$$

donde  $\rho_{A,1}^{\circ}$  es la concentración de sal inicial en el kitasato 1 y  $t$  el tiempo desde que se comenzó la experiencia.

Para el tanque 2, se aplica la ecuación de balance para el componente sal, con consideraciones análogas a las del tanque 1, y teniendo en cuenta que la concentración en la corriente de ingreso al kitasato 2 es igual a la concentración de salida del kitasato 1, que es una función del tiempo, arribando a la expresión para el perfil de concentración correspondiente al kitasato 2:

$$\rho_{A,2}(t) = e^{-\left(\frac{Q}{V}\right) t} \left[ \rho_{A,2}^{\circ} + \frac{Q}{V} \rho_{A,1}^{\circ} t \right] \quad [6]$$

donde  $\rho_{A,2}^{\circ}$  es la concentración de sal inicial en el kitasato 2.

De manera análoga se pueden resolver los balances para más kitasatos en serie, ya sea analíticamente o por medio de un utilitario matemático o programa de simulación.

## Resultados

Las experiencias se llevaron a cabo empleando dos kitasatos en serie de 0,55 l y caudales de agua variables entre 0,054 y 0,0135 l/min, para poder realizar cada corrida en no más de 30 minutos. Se emplean concentraciones iniciales para los kitasatos de entre 5 y 20 g/l, llenando en todos los casos al primer kitasato con la solución más concentrada y coloreándolas acorde a la concentración con colorantes alimenticios para ir teniendo una experiencia visual de las concentraciones y diluciones que se producen. El primero de los kitasatos experimenta dilución durante toda la corrida, pero el segundo se concentra durante un período hasta que las concentraciones de ambos kitasatos coinciden. Con los datos obtenidos los alumnos construyen posteriormente una tabla y representan gráficamente la concentración de cada kitasato en función del tiempo, para cada caudal. Encuentran los parámetros  $(Q/V)$  y  $\rho_{A,1}^{\circ}$  aplicando el logaritmo a la ecuación [5] y ajustando los datos experimentales por regresión lineal. También encuentran los parámetros  $(Q/V)$ ,  $\rho_{A,1}^{\circ}$  y  $\rho_{A,2}^{\circ}$  por ajuste no lineal de los datos experimentales a las ecuaciones teóricas [5] y [6] del balance de materia por minimización de la suma de los errores al cuadrado, empleando la herramienta Solver de MS Excel. Comparan los parámetros calculados por los diferentes métodos y los medidos en el laboratorio.

La Figura 2 muestra los datos experimentales recopilados con el software DataStudio de una corrida con  $Q_e = 0,00182$  l/seg,  $\rho_{A,1}^{\circ} = 16$  g/l y  $\rho_{A,2}^{\circ} = 8$  g/l. Se observa que la conductividad (concentración de sal) en el primer tanque (datos en rojo) decrece, mientras que en el segundo tanque (datos en azul) aumenta inicialmente (porque recibe del tanque 1 una solución más concentrada) y posteriormente disminuye también.

La Tabla 1 muestra la comparación de los valores de los parámetros calculados experimentalmente y con los ajustes propuestos en el práctico de laboratorio.

## Conclusiones

Mediante esta experiencia de laboratorio, cuya complejidad puede ajustarse por el agregado de tanques sucesivos, los estudiantes entran en contacto a nivel práctico con sistemas de flujo continuo, aplicando el concepto de volumen de control y de balance de masa en flujo. Asimismo, como cada tanque es esencialmente un sistema no estacionario (desde el punto de vista de la concentración de sal), se familiarizan con la variación temporal de respuestas. El tratamiento teórico de tales temas es de fundamental importancia para el diseño y manejo de equipos de uso común en la industria química, como los reactores de tanque agitado, mezcladores, tanques de dilución, etc., así como en el tratamiento de efluentes líquidos y el análisis de la contaminación de corrientes acuosas.

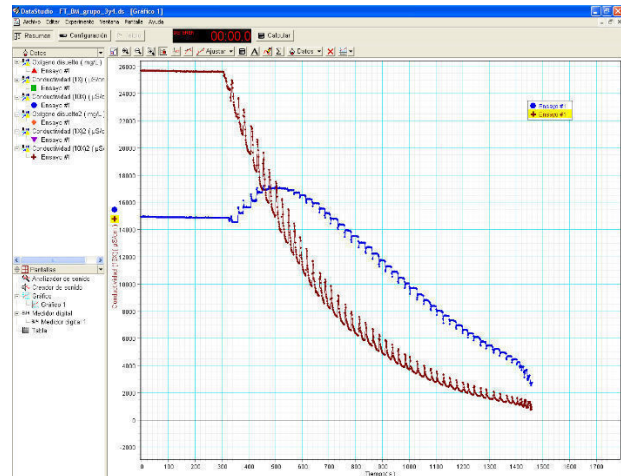


Figura 2.- Datos experimentales recopilados con DataStudio.

Tabla 1.- Comparación de datos obtenidos

Parámetro	Medido	Ajuste Logarítmico	Ajuste Solver
$Q/V$ [1/seg]	0,0033	0,0028	0,00275
$\rho_{A,1}^{\circ}$ [g/l]	16	16,17	16,25
$\rho_{A,2}^{\circ}$ [g/l]	8	-	9,09

Este práctico de laboratorio se realiza por los alumnos de la cátedra de Fenómenos de Transporte de la UNC siguiendo el instructivo de procedimientos desde el año 2013. Desde ese año a la fecha, se hicieron mejoras frente a la respuesta de los estudiantes. Desde la cátedra se pretende mejorar la metodología de la enseñanza y recursos de aprendizaje para los alumnos hacia una metodología de enseñanza constructivista. Si bien este trabajo desde el punto de vista didáctico cumple ampliamente con lo esperado en cuanto a motivación y enseñanza, se está trabajando en la elaboración de videos introductorios para mejorar el rendimiento de los estudiantes en el momento de realizar la práctica del laboratorio. Esto ya se ha realizado con otros laboratorios con muy buena respuesta y esperamos poder realizarlo con éste para el año 2019.

## Referencias

Ibarz, A., Barbosa, C., Garza, S., Gimeno, V. (2000). Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.

## CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO QUE TIENE SOBRE LA ESTRUCTURA DEL FLUJO LA PRESENCIA DE HIDRÓFITAS

Scacchi, G.<sup>(1)</sup>, Radesca, A.<sup>(1)</sup>, Reynares, M.<sup>(1)</sup>, Ríos M.V.<sup>(1)</sup>. y Marchetti, Z.<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral

<sup>(2)</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

[gracielasacchi@gmail.com](mailto:gracielasacchi@gmail.com), [alexis.andres.radesca@hotmail.com](mailto:alexis.andres.radesca@hotmail.com), [reynares@fich.unl.edu.ar](mailto:reynares@fich.unl.edu.ar), [marinavictoriar@gmail.com](mailto:marinavictoriar@gmail.com), [zuleicayael@hotmail.com](mailto:zuleicayael@hotmail.com)

### Introducción

Los cursos secundarios del sistema fluvial del Paraná usualmente presentan márgenes colonizadas por vegetación acuática arraigada que ocupan importantes sectores del escurrimiento (Marchetti y Ramonell 2014). Esta ocupación se debe a la presencia casi dominante de *Louisiella elephantipes* (canutillo), una especie acuático-palustre que forma una densa red de tallos sumergidos dotados de láminas y raíces, que obstruyen parcialmente el tirante del escurrimiento y condicionan la configuración del flujo en las inmediaciones de dichos arreglos naturales.

Este trabajo se enmarca en una investigación de mayor alcance, que tiene por objeto evaluar el efecto que la presencia de este tipo de vegetación tiene sobre la dinámica del flujo que interactúa con la misma. En esta primera instancia del estudio se ha puesto particular interés en la optimización de la técnica experimental que permita obtener información al respecto, a partir de experimentos de laboratorio. Ello refiere tanto a la materialización del ensamble, como a la metodología de medición y análisis de las velocidades. A continuación, se presentan los dispositivos experimentales utilizados, la metodología seguida y los principales resultados encontrados.

### Metodología y Técnicas Experimentales

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Se trabajó en un canal de 16 m de largo, con sección transversal rectangular de 0.4 m de ancho y 0.6 m de alto, (Fig. 1). En el interior del canal se instalaron ensambles de canutillos de 2 m de longitud cada uno (Fig. 1).



Figura 1.- Vista canal de ensayos y disposición del ensamble

Los ensambles se conformaron a partir de una malla metálica en cuyo interior se dispusieron plantas recogidas en cursos secundarios de la región (Fig. 1). De esta forma se trató de representar la densidad y distribución de raíces sumergidas, la rugosidad y flexibilidad de los tallos y entrenudos. Se ensayaron tres ensambles, todos con un ancho coincidente con el del canal, pero con alturas variables, de modo de lograr condiciones diferentes de obstrucción del tirante por parte de la vegetación. Cabe aclarar que, dada las características del desarrollo de la vegetación en condiciones naturales, la interferencia al escurrimiento se da en la parte superior del tirante, quedando libre el sector inferior en contacto con el

lecho. La tabla 1 resume los ensayos realizados y consigna el porcentaje de tirante obstruido en cada uno de ellos ( $h_{obst}$ ).

Tabla 1.- Resumen de ensayos realizados

Ensayo	$h_{obst}$ (%)
E1	0
E2	40
E3	60
E4	90

Todos los experimentos se realizaron con las mismas condiciones hidráulicas, dadas por un caudal de 16 l/s y un tirante del flujo no perturbado de 0.4 m. Mediante un velocímetro acústico Doppler se midieron perfiles de velocidades en las verticales que se muestran en figura 2, todas ubicadas en el centro del canal. La configuración del instrumento adoptada resultó de un análisis de sensibilidad para optimizar la calidad de la información registrada, esto es: frecuencia de muestreo: 50 Hz, rango de velocidades: 30 cm/s, altura de volumen de medición: 7 mm. El tiempo de medición de cada dato puntual de velocidad fue de 8 minutos, el cual surgió a partir de un análisis de incertidumbre en la determinación de los parámetros de la turbulencia (Scacchi et al., 2017). La cantidad de puntos medidos por ensayo fue aproximadamente de 119.

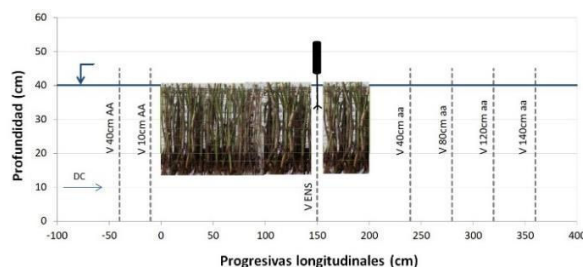


Figura 2.- Posicionamiento de las verticales de medición de velocidades

### Principales Resultados Encontrados

Entre los principales resultados encontrados se presentan los correspondientes a las velocidades longitudinales, cuyo comportamiento mostró un patrón semejante en las 3 obstrucciones de flujo consideradas. A modo de ejemplo se presenta la figura 3, correspondiente al ensayo E3, en donde se muestra la distribución vertical de esta variable para 3 de las verticales medidas. Se observa como la parte del escurrimiento que tiene lugar por entre las plantas reduce su velocidad respecto de la existente aguas arriba de las mismas, con una distribución aproximadamente homogénea en dicho espesor, mientras que el sector que escurre por debajo se acelera notablemente, con magnitudes que alcanzan un valor pico casi un 80 % superior a la velocidad media del flujo de aproximación. Este comportamiento se distingue aún aguas abajo del ensamble, tal como lo muestran los datos correspondientes a la vertical "V 40 aa" (Fig.2). Del análisis conjunto de los datos de velocidades correspondientes a los tres ensambles representados se observa como la velocidad longitudinal se incrementa en el sector ocupado por las plantas, en la medida que la obstrucción del tirante fue mayor, al igual que el valor pico que tiene lugar por debajo del



ensamble, el que se localiza más cerca del fondo cuando aumenta  $h_{obst}$ , tal como lo demuestra la figura 4.

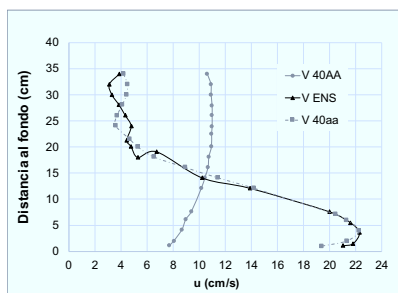


Figura 3.-Distribución vertical de velocidades longitudinales. Ensayo E3

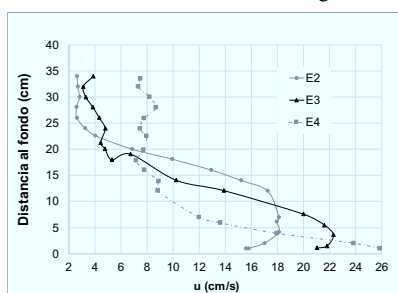


Figura 4.-Comparación de la distribución vertical de velocidades longitudinales en la vertical "V ENS" (fig. 2). Ensayos E1, E2 y E3

En la figura 5 se muestra la transformación que sufre la distribución vertical de energía asociada a las fluctuaciones de velocidad,  $k$ , desde que el flujo atraviesa el ensamble hasta su salida. Resulta evidente como, para la configuración experimental aquí analizada, la presencia de las plantas incrementa la energía del flujo en la mayor parte del tirante, respecto de la existente previo a la localización de los canutillos. Los mayores niveles de  $k$  se dan por debajo del ensamble, posiblemente asociado con la interacción entre los dos flujos de velocidades muy diferentes que demuestran las figuras 3 y 4, comportamiento que también se propaga hacia aguas abajo, con valores de energía asociado a las fluctuaciones de velocidad aún mayores.

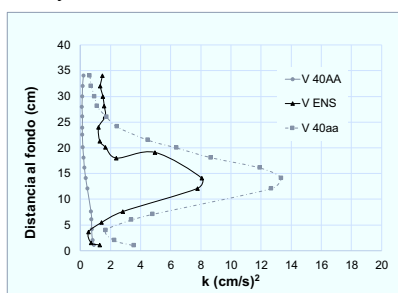


Figura 5.-Distribución vertical de energía asociada a las fluctuaciones de velocidad. Ensayo E3

Cuando se analizan los datos provenientes de las tres configuraciones de ensambles de plantas ensayados se observa que la energía asociada a las fluctuaciones de velocidad resultó mayor cuanto mayor fue la obstrucción al tirante, con valores picos de  $k$  que aumentan significativamente con el aumento de  $h_{obst}$ , y se aproximaron más al lecho del canal (Fig. 6).

Otro de los aspectos que surge a partir del análisis de la información obtenida es la distancia considerable que se requiere para que, aguas

abajo del ensamble, se restablezcan las condiciones del flujo no perturbado. Esta situación es posible observarla en la figura 7, en la que puede verse la evolución del perfil vertical de velocidades con la distancia al ensamble, correspondiente al ensayo E2. Aún en la vertical más distante medida, el perfil de velocidades difiere sustancialmente con el obtenido en el ensayo E1.

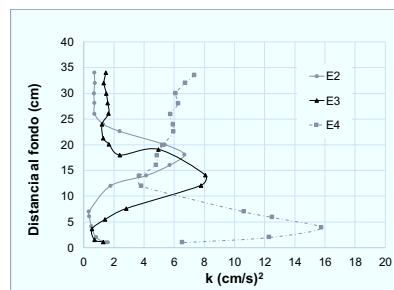


Figura 6.-Comparación de la distribución vertical de energía  $k$  en la vertical "V ENS" (fig. 2). Ensayos E1, E2 y E3

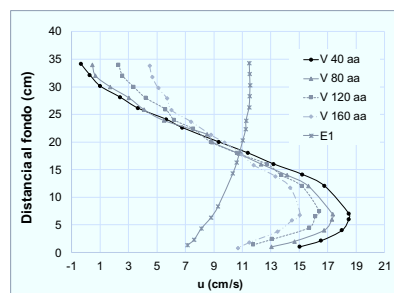


Figura 7.- Perfiles de velocidades aguas abajo del ensamble, ensayo E2

El análisis de los datos de velocidad relevados en toda la secuencia experimental ha permitido, también, identificar tendencias en el comportamiento de otros parámetros del flujo alterado por la presencia de los canutillos, tales como velocidades verticales, intensidades de la turbulencia y tensiones de Reynolds, las cuales no es posible incluir en el presente trabajo por cuestiones de espacio.

## Conclusiones

Este trabajo permitió optimizar técnicas experimentales para el estudio, en canales de laboratorio, de la alteración que introduce en el escurrimiento la presencia de vegetación acuática arraigada. Se destaca la representación de ensambles similares a su condición natural. Las técnicas de medición y análisis de velocidades con ADV se ajustaron a las condiciones particulares que impone el ambiente disturbado por la presencia de vegetación. Los resultados encontrados se consideran una aproximación al problema; en lo sucesivo se prevé ensayar en canales con obstrucciones parciales en el ancho de la sección, el caso más habitual en los cauces secundarios del Paraná.

## Referencias Bibliográficas

- Marchetti, Z.Y y Ramonell C.G. (2014). Valoración preliminar de la retención de sedimentos por hidrófitas en cauces secundarios del río Paraná Medio. *Aqua-LAC* 6 (1): 8-16.
- Scacchi, G. B., García C. M. y Amsler, M.L. (2017). "Estimación del Tiempo Óptimo de Medición de Velocidades del Flujo a Partir de la Incertidumbre Esperada en la Determinación de Parámetros Turbulentos". Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. La Plata. Buenos Aires. Argentina.

## ANÁLISIS DE PRESIONES EN EL CAUCE DE RESTITUCIÓN EN EL MODELO FÍSICO DEL DIQUE LOS ALAZANES –PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA-

Muchiut, Jonathan<sup>1</sup>; Tarrab, Leticia<sup>1</sup>; Eder, Matías<sup>1</sup>; Ragessi, Matías<sup>1</sup>; Patalano, Antoine<sup>1</sup>; García, Marcelo<sup>1</sup>; Rodríguez, Andrés<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
E-mail: jonathan\_muchiut@hotmail.com

### Introducción

La diferencia entre los niveles de agua entre las secciones aguas arriba y aguas abajo de una presa hace del diseño de sus órganos de descarga un problema que requiere especial atención en cuanto a la disipación de la energía del flujo a la hora de restituir el caudal evacuado a su curso original. Junto a esta disipación se producen variaciones bruscas de velocidad y presión que pueden generar acciones destructivas en los cauces naturales utilizados como cuencos amortiguadores.

El dique Los Alazanes, ubicado en la provincia de Córdoba, ha sufrido durante el año 2015 el desprendimiento masivo del pie izquierdo de su vertedero lateral. La reparación contempla el uso de un azud en el cauce aguas abajo para generar un espejo de agua que amortigüe el impacto del flujo saliente del vertedero, por lo que en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba se construyó un modelo físico con el objetivo de caracterizar las presiones en el cuenco disipador.

Mediante análisis dimensional, la relación entre las variables intervinientes en el fenómeno se traduce en el coeficiente de presión fluctuante  $C_{p'}$ , que indica la cantidad de energía cinética incidente que se transforma en fluctuación macroturbulenta. Su uso ha sido ampliamente usado para la caracterización del flujo, fenómenos de cavitación, inicio de movimiento y erosión en resaltes hidráulicos que tienen lugar aguas abajo de vertederos o compuertas de fondo (Lopardo, 1987; Castillo, 2006; Lopardo y Romagnoli, 2009; Khosrojerdi y Galle-Dari, 2011; Carrillo, 2014).

### Materiales y Métodos

#### Modelo físico Los Alazanes

Es un modelo físico que responde a la similitud de Froude con escala geométrica no distorsionada 1:35. Construido de H<sup>o</sup> en su totalidad, a excepción del vertedero, que está formado por láminas de poliestireno de alto impacto y revestido de arenas de  $d_{50} = 0.2\text{mm}$ , cuenta con 9 tomas de presión en el cuenco amortiguador, enumeradas según la Figura 1 junto a las dos posibles posiciones que puede adoptar el azud.

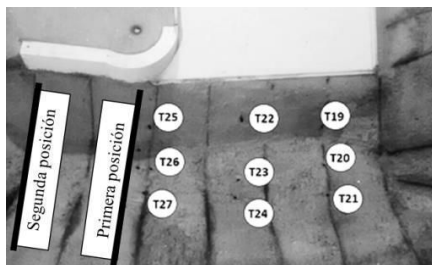


Figura 1.- Detalle de las tomas de presión y de las dos posibles posiciones del azud en el cuenco amortiguador del modelo físico.

### Ensayos

Se ha trabajado con un caudal constante de 12.5 l/s y se presentan un conjunto de 5 configuraciones diferentes en cuanto a las condiciones de borde en el cuenco amortiguador: a) sin azud, b) con azud en primera posición, c) con azud en segunda posición, d) con azud sobreelevado en primera posición –retratada en la Figura 2–, e) con azud sobreelevado en segunda posición.



Figura 2.- Fotografía tomada durante el ensayo bajo la condición d).

#### Medición de Presiones

Las 9 tomas de presión se conectan a los sensores mediante un conducto de bronce de 2.00 m de longitud y 6.5 mm de diámetro interno, supuestos rígidos frente a la onda de presión a la que son sometidos (Lopardo y Henning, 1984). El diámetro de cada toma, sin embargo, es materializado con un tubo plástico de 1.5 mm de radio interno. El otro extremo del conducto remata en una válvula plástica para facilitar la tarea de purgado y conexión de los sensores.

Los sensores de presión usados pertenecen a la marca PASCO, constituidos por un transductor de 1000 Hz de frecuencia máxima de trabajo junto a un circuito electrónico de acondicionamiento de la señal eléctrica y de compensación por temperatura, y un microcontrolador de 50 MHz que cuenta con un ADC –Analog to Digital Converter– de 10 bits de resolución y frecuencia máxima de muestreo de 400 kS/s. El rango de medición del sensor es de 20 kPa a 400 kPa, alcanzando mediante el promediado una resolución teórica máxima de 0.01 cm de columna de agua.

Las mediciones se realizaron a 1000 Hz durante 300 s. Las series fueron modificadas según las funciones de calibración que a cada sensor le corresponde, promediadas a 100 Hz, luego filtradas a partir del análisis del espectro de energía de presiones y reconstruidas en última instancia.

#### Espectro de energía de las presiones

El espectro de energía de las presiones, a diferencia del de las velocidades, cuenta con un rango inercial cuyo exponente teórico es  $-7/3$  (George y Beuther, 1980). Los espectros generados mediante la Transformada Rápida de Fourier de las series de 100 Hz y que presentan ruido vibracional fueron reconstruidos asociándole una curva con el exponente y varianza obtenida de una banda tomada como *banda modelo ideal* al comienzo del

rango inercial del espectro original, y cuyos valores presentan una distribución lognormal. El resultado es transformado en serie mediante la Inversa de la Transformada Rápida de Fourier, y es la que se usa para la determinación del coeficiente de presión.

### Coeficiente de presión

Dada una serie de presiones instantáneas  $P_i$  y presión media  $\bar{P}$ , se define la presión fluctuante como  $P' = P_i - \bar{P}$ . La naturaleza aleatoria de la variable hace conveniente trabajar con el error medio cuadrático de las presiones fluctuantes  $\text{RMS}_{P'}$ , que es igual a  $\sqrt{\sum(P')^2/N}$ , por lo que el coeficiente de presión asociado resulta:

$$C_{P'} = \frac{\text{RMS}_{P'}}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad [1]$$

Donde  $\rho$  es la densidad del agua y  $U$  una velocidad característica del sistema.

### Resultados

En la Figura 3 se presentan, a modo de ejemplo, los espectros de energía de la serie de la toma central 23 para un cuenco sin azud, donde el original posee ruido debido a vibraciones a los 10 Hz y ha sido filtrado y reconstruido con la pendiente media que presenta una banda elegida al comienzo del rango inercial, por un lado, y con la pendiente teórica de  $-7/3$ , por el otro, a partir de 1 Hz. La varianza y distribución probabilística utilizada es la propia de la banda elegida ya mencionada, que ha sido seleccionada, en este caso, entre los 0.9 y 1.5 Hz.

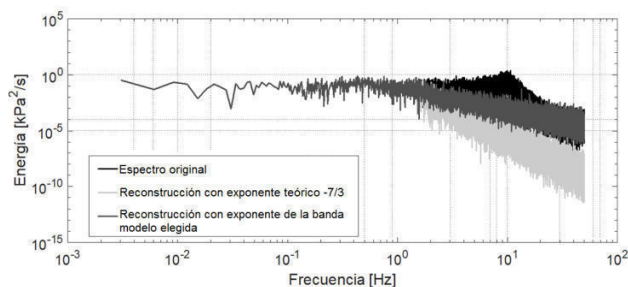


Figura 3.- Espectros de energía original y reconstruidos.

Las series resultantes de estos espectros reconstruidos presentan una relación de varianza con respecto a la serie original del 10% y del 12%. Debido a esta similitud, se opta por utilizar la pendiente teórica de  $-7/3$  para obtener la serie final con la que se calculan los coeficientes de presión.

Repitiendo esta metodología, en la Figura 4 pueden observarse los valores que adopta el coeficiente de presión para las tomas centrales 20, 23 y 26, distanciadas 30 cm entre sí hacia aguas abajo –de izquierda a derecha–, para cada configuración adoptada. La velocidad  $U$  con la que se adimensionaliza el RMS de las presiones fluctuantes es la velocidad sobre la cresta del vertedero, igual a 0.43 m/s.

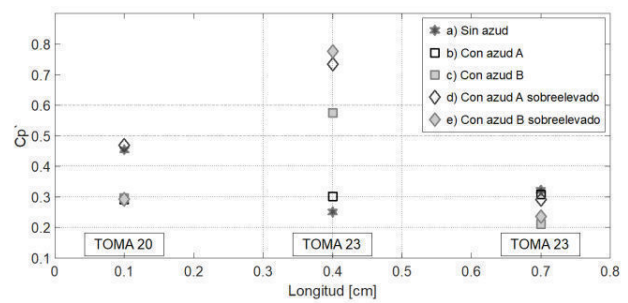


Figura 4.- Coeficientes de presión en las tomas centrales 20, 23 y 26, de izquierda a derecha hacia aguas abajo.

### Conclusiones

La reconstrucción de los espectros en base a la teoría expuesta por George y Beuther (1980) y corroborada experimentalmente resulta en una herramienta valiosa frente a los generalmente aplicados *filtros pasabanda*, ya que permite la reconstrucción de la serie sin perder la variación que el rango inercial ocasiona.

El levantamiento de un tirante mediante un azud no asegura reducciones en las fluctuaciones de presión –y, por tanto, de los coeficientes de presión asociados– esperadas. Si bien el volumen de agua en el que la energía es capaz de disiparse es mayor, se produce un efecto de ahogamiento del vórtice de eje helicoidal en el canal de restitución que reduce el volumen efectivo en el cual disipa realmente, generándose zonas de vorticidad opuesta. Esta inconsistencia es apreciable sólo en la toma 23, mientras que en la toma 20 del extremo aguas arriba y 26 del extremo aguas abajo de aquella se presenta una leve reducción del coeficiente.

### Referencias

- Carrillo, J.M. (2014) “Metodología numérica y experimental para el diseño de los cuencos de disipación en el sobrevertido de presas de fábrica”. PhD Thesis. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Castillo, L. (2006) “Aerated jets and pressure fluctuation in plunge pools”. *Proc. Int. Conf. The 7th International Conference on Hydroscience and Engineering (ICHE-2006)*, Philadelphia, 1-23, M. Piasecki and College of Engineering, Drexel University, USA.
- George, W. K. y Beuther, P. D. (1980) “Pressure Spectra in Turbulent Free Shear Flows”, State Univ. of New York, Buffalo, Estados Unidos.
- Kazemi F, Khodashenas SR, Sarkardeh H (2016). “Experimental study of pressure fluctuation in stilling basins”. *Int J Civil Eng 14(1)*:13-21. <https://doi.org/10.1007/s40999-016-0008-3>.
- Khosrojerdi, A. y Galle-Dari, N. (2011) “Application of pressure fluctuations on Stilling Basin”. *Indian Journal: Wasserkraft mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie= mehr Zukunft*, pág 251-258.
- Lopardo, R.A. y Henning, R.E. (1984) “Temas prácticos de la medición y análisis de presiones instantáneas en laboratorio”. *Anales del XI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, I.A.H.R.*, Buenos Aires, Vol. 1, pág. 375-386.
- Lopardo, R.A. and Romagnoli, M. (2009). “Pressure and velocity fluctuations in stilling basins”. *Advances in Water Resources & Hydraulic Engineering. Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS*. C. Zhang and H. Tang, Eds., vol. 6, pp. 978–973, Springer, 2009.
- Toso, J.W. y Bowers, C.E. (1988). “Extreme pressure in hydraulic jump stilling Basin”. *Proc. ASCE. J. Hydraulic Eng.* 114 (8), 829–843.

## ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE PROCESOS HIDRODINÁMICOS EN UNA CURVA ABRUPTA DEL RÍO SALADO, SANTIAGO DEL ESTERO

Luis A. Olmos<sup>a</sup>, Leticia Tarrab<sup>b</sup>, Carlos M. Garcia<sup>b,c</sup> y José M. Díaz Lozada<sup>b</sup>

a- Instituto de Recursos Hídricos (IRHi). Univ. Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

b- CETA. Lab. de Hidráulica de la Fac. Cs. Exactas, Físicas y Naturales de la Univ. Nac. de Córdoba, Argentina.

c- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

E-mail: lolmos@unse.edu.ar, ltarrab@gmail.com, cgarcia2njc@gmail.com, jmdiazlozada@gmail.com

### Introducción

La configuración en planta de cauces meandriforme es una de las más comunes en sistemas aluviales y la misma presenta una elevada dinámica morfológica producto de complejas interacciones del flujo y transporte de sedimento (Howard, 1992; Sun et al., 1996), impactando en el medio ambiente del propio cauce y en su entorno como ser: la infraestructura y el desarrollo socio-económico de los asentamientos poblacionales cercanos. El flujo en una curva, ya sea en ríos naturales como en canales de laboratorio es netamente tridimensional y genera procesos hidrodinámicos típicos, que se dan también en otras configuraciones como bifurcaciones o convergencias y cerca de estructuras hidráulicas tales como pilas y estribos de puentes. La separación de flujo y el flujo helicoidal son los fenómenos del flujo más importantes se presentan y tienen un efecto morfológico importante. Estos fenómenos son influenciados por la inclinación de la superficie del agua transversal, la cual a su vez está condicionada por la profundidad y la rugosidad del flujo. Los efectos asociados a la separación del flujo son la recirculación del flujo, la contracción del flujo principal, una capa de corte, la vorticidad inducida por la capa de corte, la interacción entre los fenómenos hidráulicos y la interacción de separación-sedimento. Estos procesos presentan un comportamiento cuasi periódico, observándose en las señales de velocidad del flujo oscilaciones de baja frecuencia con escalas de tiempo dos órdenes de magnitud mayor que la escala de tiempo de la turbulencia generada por la fricción del fondo.

Dentro de este contexto lo que se pretende a partir de las mediciones realizadas con un Perfilador de Corriente Acústico Doppler, (ADCP por sus siglas en inglés) modelo RiverSurveyor S5 fabricado por Sontek/YSI, en una curva del río Salado analizar cualitativamente y cuantitativamente algunos procesos hidrodinámicos típicos mencionados como: flujo secundario, recirculaciones, separación del flujo, fluctuaciones, entre otros. Esta curva está ubicada en el tramo inferior de dicho río, en su paso por la localidad de Suncho Corral, Santiago del Estero con un  $R/B \cong 3$ , lo que implica que está en el límite de la definición de una curva abrupta.

Las mediciones fueron realizadas en un tramo de aproximadamente de 435 metros, dentro de la cual está la curva en cuestión, con mediciones móviles y estacionarias para un caudal del orden de los 45 m<sup>3</sup>/s y un ancho medio de la superficie libre del orden de los 25 metros y una profundidad máxima del orden de los 4,10 metros en la curva. Es importante resaltar que en los últimos meses del año 2016 se colocaron unos jacks o espigones tipo pata de gallo para proteger y restituir la margen externa afectada por la erosión y que pondría en peligro el trazado nuevo de la R.N.N°89.

### Materiales y Métodos

La campaña de medición se realizó el 4/4/17 en un tramo comprendido entre el Puente Viejo y el Puente Nuevo de la Ruta Nacional N° 89 cuando atraviesa la ciudad de Suncho Corral en la provincia de Santiago del Estero (Figura 1) para una condición de caudal cercano a su módulo anual. El tramo curvo en estudio presenta un radio  $R$  de curvatura de 70 metros aproximadamente

en la zona central de la curva. En la Tabla 1 se indican los parámetros hidráulicos que caracterizan el flujo en las mediciones llevadas a cabo en los 2 puentes.

Se realizaron mediciones de caudal y velocidades en diferentes secciones transversales y se realizó una medición estacionaria de velocidad con el ADCP durante 518 segundos respectivamente en una vertical ubicada en el punto P aguas abajo de la sección 5.

Tabla 1. Parámetros hidráulicos medidos en las campañas

Sección	Fecha	Q (m <sup>3</sup> /s)	B (m)	H (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Vm (m/s)	Fr
Puente Viejo	04/04/2017	45,199	24,12	2,97	59,41	0,76	0,15
Puente Nuevo	04/04/2017	47,889	19,42	2,67	37,98	1,26	0,29

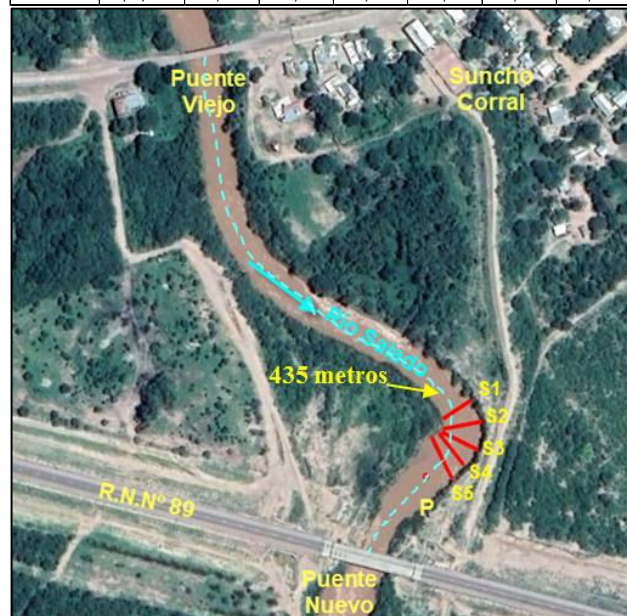


Figura 1.- Ubicación de las secciones transversales

### Resultados

En general en este tipo de curvas se genera una particular configuración del flujo, donde se desarrolla una celda helicoidal central de circulación secundaria, la transferencia de cantidad de movimiento en la transversal, y por ende la generación de un zigzagueo permanente de los centros de máximas velocidades.

En las Figuras 2 a 6 se presenta el patrón de la estructura del flujo (i.e. corrientes primarias y secundarias). Por las características del tramo abordado del río (curva abrupta) se persigue la identificación de estructuras coherentes helicoidales mediante el método de Rozovskii (1957).

Los resultados obtenidos muestran que sobre la zona central hay una tendencia a la formación de una celda helicoidal que gira en el sentido horario y en la parte externa una celda de menor desarrollo en el sentido contrario pero de magnitudes del mismo orden. En el caso de la celda central hay flujo hacia la margen externa superficial y otro flujo por el fondo hacia la margen interna.

En cuanto a la formación de las estructuras se puede observar que las secciones 1 y 4 son más notables que las demás secciones. Esto se debe a la presencia de los jacks que generan una pérdida de la



señal dopler y una turbulencia por los mismos que impide las formación de las celdas en las secciones 2,3 y 5. Se puede decir que la zona de división de las celdas se da entre los 0,29 y 0,33 del ancho de la transecta medida desde la margen izquierda.

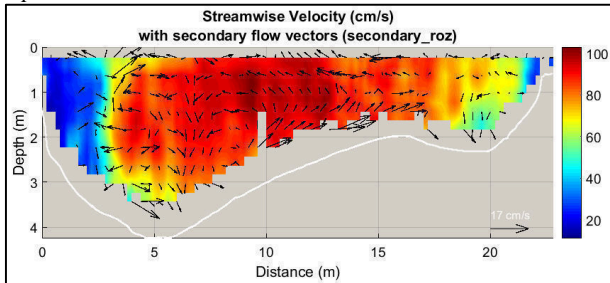


Figura 2.- Distribución de las velocidades longitudinales con vectores de flujo secundario según Rozovkii en sección 1

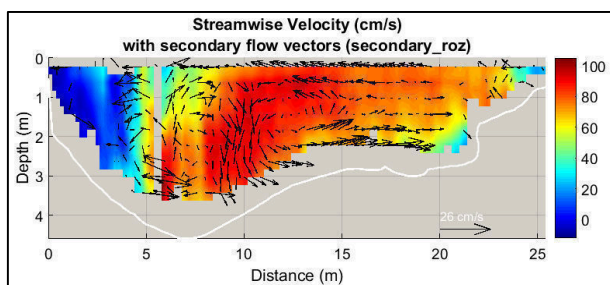


Figura 3.- Distribución de las velocidades longitudinales con vectores de flujo secundario según Rozovkii en sección 2

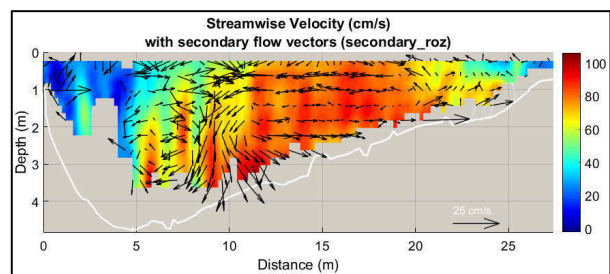


Figura 4.- Distribución de las velocidades longitudinales con vectores de flujo secundario según Rozovkii en sección 3

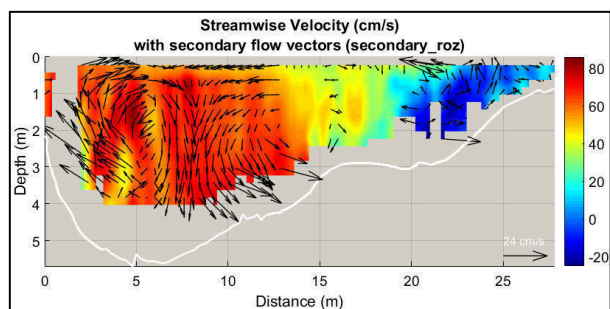


Figura 5.- Distribución de las velocidades longitudinales con vectores de flujo secundario según Rozovkii en sección 4

Se puede observar además zona de separación del flujo en las secciones 4 y 5 con valores de velocidades negativas de -21 y -33 cm/seg.

Las celdas de mayores velocidades longitudinales se mueven desde la parte central hacia la margen externa de la curva en el sentido del flujo desde la sección 1 a 5.

La Figura 7 muestra el espectro de energía calculado a partir de la señal de la magnitud de la velocidad medida con ADCP en el

punto P en la campaña durante 518 segundos. Se observa un pico de energía máximo dominante con un período característico de la fluctuación de 37 segundos (0.027 Hz)

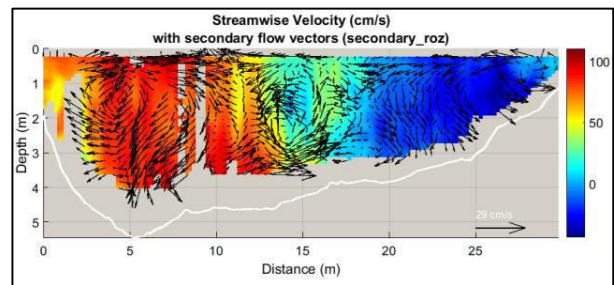


Figura 6.- Distribución de las velocidades longitudinales con vectores de flujo secundario según Rozovkii en sección 5

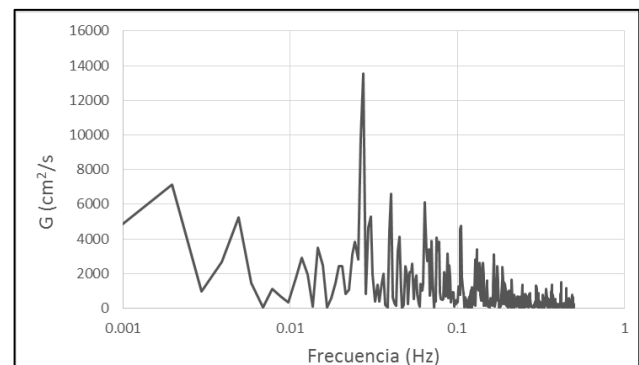


Figura 7.- Distribución de las velocidades medias en la vertical en la sección ST3 en el caso C2.

## Conclusiones

Las mediciones realizadas en un tramo curvo del Río Salado mediante el uso de las técnicas experimentales ADCP permitieron caracterizar procesos hidrodinámicos como el flujo secundario, la traslación de la zona de velocidades máximas desde la parte media de la sección hacia la parte externa de la sección yendo desde la sección 1 a la 5 en la curva medida, la zona de la separación del flujo con la respectiva recirculación sobre la margen interna a la salida de la curva y el campo de velocidades promediadas en la vertical.

El análisis de la señal estacionaria del flujo medida indica un comportamiento del campo de flujo cuasi-periódico e impermanente debido a la presencia de fluctuaciones de baja frecuencia, generadas por efectos de la geometría curva del río a raíz de los desprendimientos de vórtices.

## Referencias

- Ardesch, R. (2014). *Flow Separation in Sharp-bend-flow* (M.Sc. Thesis) Universiteit Utrecht (69 pp.).
- Blanckaert, K., (2010). Topographic steering, flow recirculation, velocity redistribution and bed topography in sharp meander bends. *Water Resour. Res.* 46, W09506. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008303>.
- Blanckaert, K, Kleinhans, MG, McLelland, SJ, Uijttewaai, WSJ, Murphy, BJ, Kruijs, A van de, Parsons, DR, Chen, Q (2013). Flow separation at the inner (convex) and outer (concave) banks of constant-width and widening open-channel bends. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(7), 696-716.
- Matsson, O.J.E., Alfredsson, P. H. (1992) "Experiments on instabilities in curved channel flow". *Phys. Fluids* A4, 1666-1676.
- Tarrab, L; Patalano, A, Diaz Lozada, J; Herrero, H, Olmos, L.; Lopez Ferrer, Y; Garcia, C, M; Rodriguez, A. (2017) "Análisis experimental de la separación del flujo en canales curvos", *V Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica*, Buenos Aires, Argentina.

# CARACTERIZACIÓN DE TENSIONES EFECTIVAS EN FLUJOS TURBULENTOS MEDIANTE SEGUIMIENTO DE PARTICULAS, EN MODELOS FÍSICOS A FONDO MÓVIL

Eder, Matías; Muchiut Jonathan; Tarrab, Leticia; Ragessi I. Matias; Román Martino; Hillman, Gerardo y Rodríguez, Andrés

Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina  
[matiaseder2@gmail.com.ar](mailto:matiaseder2@gmail.com.ar)

## Introducción

El fuerza tangencial producida por un flujo en un lecho fluvial cumple un rol fundamental los fenómenos de transporte de sedimentos. Dicho esfuerzo por unidad de área recibe el nombre de "tensión de corte" y su determinación es esencial en los estudios de transporte de fondo.

En este trabajo se presenta la aplicación de una técnica experimental que permite estimar tensiones de corte efectivas que actúan en un cauce fluvial a partir del seguimiento de partículas utilizadas como trazadores con imágenes de alta resolución y la aplicación de la segunda ley de Newton.

## Materiales y Metodología

### Tensiones de corte en el lecho

Para validar la técnica propuesta en este trabajo se comparan las tensiones de corte obtenidas a partir de las aceleraciones de las partículas con estimaciones de la tensión de corte realizadas a partir de formulaciones teóricas.

- Tensión de corte media:

La tensión de corte media producida por un flujo uniforme sobre el fondo de un cauce se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$\tau = \rho g R S \quad [1]$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $R$  el radio hidráulico y  $S$  la pendiente del pelo de agua.

Por otro lado, se puede obtener la tensión de corte a partir de la velocidad de corte  $u_*$  como:

$$\tau = \rho u_*^2 \quad [2]$$

La velocidad de corte se determina a partir del perfil longitudinal de velocidades. El perfil de velocidades en la capa logarítmica se describe utilizando la ecuación de von Karman-Prandtl (o ecuación de pared) y se puede expresar en términos de la altura de rugosidad ( $z_0$ ) mediante la siguiente expresión:

$$u_z = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad [3]$$

En este trabajo se determinó el valor de  $u_*$  a partir del perfil de velocidades medido en el modelo físico.

Para obtener la velocidad de corte se grafican las velocidades en función del logaritmo de las profundidades  $\ln(z)$ , a partir de las recomendaciones de Bergeron y Abrahams (1992), y se obtiene una curva de regresión lineal ( $y=bx+a$ ). Finalmente se obtiene la velocidad y la tensión de corte con las siguientes expresiones:

$$u_* = b \kappa \quad [4]$$

$$\tau = \rho u_*^2 = \rho (b \kappa)^2 = 160b^2 \quad [5]$$

- Tensión de corte efectiva:

Para obtener los valores de la tensión de corte efectiva que actúa sobre las partículas, se propone calcular su valor a partir de las aceleraciones y masas de las mismas.

El primer paso consiste en determinar la fuerza que produce la aceleración de las partículas a partir de la 2ª ley de Newton:

$$F_i = m \times a_i \quad [6]$$

En el segundo paso se obtiene el valor de la tensión de corte dividiendo la fuerza obtenida con [6] por el área de la partícula proyectada en el plano horizontal:

$$\tau = F_i / \text{Area} \quad [7]$$

### Seguimiento de partículas por Imágenes

Para realizar el seguimiento de partículas mediante imágenes y determinar en cada paso de tiempo sus coordenadas (X; Y) se utilizó el programa ImageJ, desarrollado por el *National Institutes of Health*.

Como trazadores se utilizaron partículas de densidad  $\rho_s$ :  $2650 \frac{kg}{m^3}$ , con diámetros entre 4 a 6 mm. Por otro lado, se determinó experimentalmente para cada partícula su velocidad de caída ( $w_s \sim 23.8 \frac{cm}{s}$ ) y su respectivo peso.

En la Figura 1 se presenta una secuencia de 4 imágenes junto a la ubicación (X: Y) de una partícula. A partir de estas coordenadas y del intervalo de tiempo entre imágenes ( $\Delta T = 0.17 \text{ seg}$ ), se determinó la velocidad y la aceleración de las partículas en cada instante con las siguientes expresiones:

$$\Delta X_i = (X_i - X_{i-1}) ; \Delta Y_i = (Y_i - Y_{i-1}) \quad [8]$$

$$D_i = \sqrt{(\Delta X_i)^2 + (\Delta Y_i)^2} \quad [9]$$

$$V_i = D_i / (T_i - T_{i-1}) \quad [10]$$

$$\Delta V_i = (V_i - V_{i-1}) \quad [11]$$

$$a_i = \Delta V_i / (T_i - T_{i-1}) \quad [12]$$

### Modelo físico

Para evaluar esta técnica se realizó un ensayo experimental en un modelo físico a fondo móvil construido en el canal de vidrio del Laboratorio de Hidráulica de la UNC. Consiste en un modelo bidimensional (H-V), con similitud de Froude y escala de longitudes no distorsionada  $E_L = 1:40$ .

### Ensayo experimental

Se incrementó el caudal de ingreso al canal hasta llegar a una condición de transporte generalizado sobre el lecho móvil. Esta condición se dio para un caudal de 9.8 L/s y un tirante de 5.5cm.

Posteriormente, se incorporó al flujo partículas utilizadas como trazadores, con diámetro y peso conocido, y se tomaron videos en forma cenital con una cámara GoPRO a 2.7k de resolución y

60 fps. Por otro lado, se tomaron mediciones de presión total ( $P_{total} = P_{estatica} + P_{dinamica}$ ) a profundidades de 0.2; 1; 2; 3 y 4 cm del fondo.

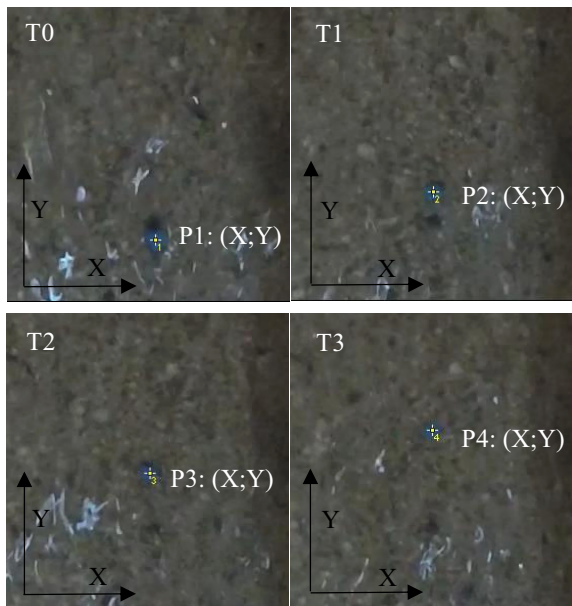


Figura 1.- Secuencia de imágenes con la ubicación de una partícula.

### Perfil de velocidades

El perfil medio de velocidades se obtuvo a partir de las mediciones de presión realizadas a diferentes profundidades. Se utilizó para ello un sensor marca PASCO, modelo PS-3203, el cual cuenta con un transductor de hasta 1000 Hz de frecuencia y una resolución de hasta de 0.01 cm de columna de agua. El sensor se conectó a una toma de presión de cobre de 1.5mm de diámetro interno, 1mm de espesor y 35cm de largo.

Las mediciones se realizaron colocando la toma en forma perpendicular al flujo, (ver Figura 2), con lo cual se captan la suma de la presión estática y la presión dinámica ( $P_{total}$ ).

Para obtener la velocidad en cada punto de medición se calculó la presión dinámica ( $P_{dinamica}$ ) restando a la presión medida su correspondiente presión estática.

Finalmente, conociendo la presión dinámica se calcula la velocidad media en cada punto con la siguiente expresión:

$$V = \sqrt{\frac{2P_{dinamica}}{\rho}} \quad [13]$$

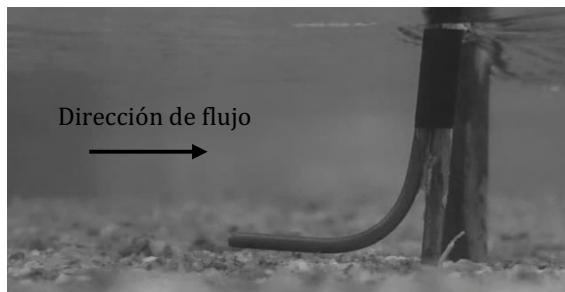


Figura 2.- Vista lateral de la toma de presión.

### Resultados

A continuación, se comparan los valores de tensión de corte

obtenida con las diferentes técnicas descriptas anteriormente.

En la Figura 3 (a) se presenta el gráfico  $\ln(z)$  vs Velocidad con su respectiva recta de ajuste y en la Figura 3 (b) una comparación de los puntos medidos con el perfil longitudinal ajustado. Se observa que el perfil longitudinal tiene una altura de aproximadamente 2.5 cm, lo cual equivale al 45% de la profundidad del flujo.

Aplicando las ecuaciones [4] se obtiene una velocidad de corte de  $u_* = 0.061$  (m/s)

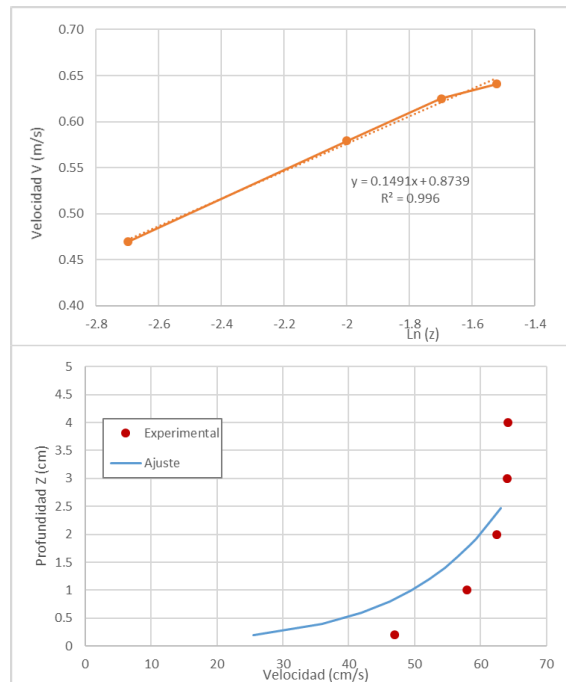


Figura 3.- (a) perfil de velocidades  $\ln(z)$  vs Velocidad y (b) perfil de velocidad ajustado y mediciones experimentales.

### Tensiones de corte

En la Tabla 1 se presentan los valores de tensión de corte media obtenida con la ecuación [1], ecuación [5] y el valor máximo ( $\tau_{max}$ ) y medio ( $\tau_{medio}$ ) obtenido con la técnica de seguimiento de partículas analizando el desplazamiento de 8 partículas diferentes.

Se observa que la técnica propuesta permite obtener valores de tensión de corte efectivas similares a las obtenidas con formulaciones existentes.

Tabla 1.- Tensión de corte obtenida por diferentes métodos.

	Tensión de corte media [Pa]	Tensión de corte máx. [Pa]
Ecuación [1]	1.6	-
Ecuación [5]	3.6	-
Seguimiento de partículas	2.0	3.8

### Referencias Bibliográficas

Bergeron, N. E. y Abrahams, A. D. (1992) Estimating shear velocity and roughness length from velocity profiles, Water Resources Research, 28 (8), 2155-2158.

## DESARROLLO DE UNA RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

Garat, Fermín I.<sup>1</sup>, Fernández, Germán<sup>1</sup>; Garcia, Alejandro G.<sup>1</sup>; Espil Nosa, Francisco<sup>1</sup>;  
Bianchi, Guillermo J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Becarios y Alumnos de las carreras de Ingeniería Hidráulica y Civil FI-UNLP

<sup>2</sup> UIDET Hidrología – Departamento de Hidráulica, FI-UNLP

[ferminigarat@gmail.com](mailto:ferminigarat@gmail.com), [fernandezgrm@gmail.com](mailto:fernandezgrm@gmail.com), [aleg.garcia@gmail.com](mailto:aleg.garcia@gmail.com), [franciscoespil13@gmail.com](mailto:franciscoespil13@gmail.com),  
[bianchiguillermo1@gmail.com](mailto:bianchiguillermo1@gmail.com)

### Introducción

Las inquietudes e ideas de alumnos de Ingeniería Hidráulica y Civil (Facultad de Ingeniería, UNLP) en torno a la disponibilidad y acceso a la información hidrológica, constituyó el punto de partida para reflexionar sobre la problemática de las redes de medición, su manejo y operatividad.

Con la finalidad de fortalecer el conocimiento y seguimiento de los fenómenos hidrometeorológicos, teniendo en cuenta que el estudio de sus variables resulta esencial en todo proceso de toma de decisiones vinculada a contingencias de origen hídrico y que estas influyen en la vida pública en general, alumnos y docentes de la UIDET Hidrología conformaron en 2016 un grupo de trabajo (InfoMET) con capacidad para adquirir, centralizar y manejar datos para el estudio de tales eventos (Ref. 1, 2017).

El alcance de la actividad científica está acotado, a los efectos de su aplicación, a la región de La Plata y sus alrededores (Ref. 2, 2013). La escala del trabajo hace referencia a las cuencas de los principales arroyos de la región; como son el Arroyo del Gato, Martín-Carnaval, Rodríguez y Maldonado; sobre una superficie aproximada de 2500 km<sup>2</sup> (Figura 1).

La presente contribución aborda, a modo de ejemplo experimental, un diagnóstico preliminar sobre la problemática de las redes de medición, su manejo y operatividad.

### Destinatarios

El proyecto tiene como destinatarios directos al conjunto de usuarios y operadores de datos hidrometeorológicos, aunque su interacción en el espacio web posibilita su extensión a toda la comunidad que demanda información confiable sobre eventos severos. En una escala más acotada, se suman las actividades curriculares y extracurriculares de la carrera de Ingeniería Hidráulica con creciente demanda de datos hidrológicos para el desarrollo de los trabajos aplicados contenidos en las PPS y Trabajo Final. El manejo y desarrollo de la base de datos tiene como protagonistas a los alumnos de carrera y los docentes de la Facultad.

### Objetivos

- Evaluación e integración de estaciones existentes de la región.
- Implementación de estaciones de control, con instrumental normalizado y tecnológicamente adecuado para medir los parámetros meteorológicos e hidrológicos.
- Enfatizar investigaciones aplicables a la validación de datos en sitios urbanos.
- Establecer una red confiable de estaciones meteorológicas.
- Implementar un banco de datos, que tenga como principales usuarios los alumnos de carrera y los docentes, y que acerque al alumno a las prácticas hidrológicas.
- Desarrollo de pautas organizativas que permitan sostener en el tiempo el funcionamiento de una oficina de información hidrometeorológica y ambiental, con instrumental que brinde datos confiables a futuros estudios y proyectos.

- Contribuir al conocimiento de la ciencia hidrológica y su cuantificación, promoviendo la normalización de las observaciones hidrometeorológicas y la difusión pública.

### Marco conceptual

El desarrollo de una red de estaciones hidrometeorológicas permite evitar deficiencias en la gestión de los recursos hídricos y posibilita una valoración del mismo, permitiendo mejorar su uso y responder a futuras necesidades (OMM, 2011).

En el caso que se presenta, la red básica depende en gran medida de las estaciones de usuarios aficionados y/o instituciones que llevan a cabo algún tipo de práctica específica. Si bien son de carácter informal, es muy importante que los registros obtenidos de todas ellas sean de calidad. Por un lado, aun cuando la instalación sea adecuada, sus registros serán de escasa utilidad si su manejo es incorrecto, los periodos de registro son intermitentes o contienen datos faltantes. Por otro lado, sucede que se utilizan para observaciones irregulares o específicas o las estaciones son abandonadas.

Todas estas cuestiones conducen a una red con una densidad efectiva menor, de inadecuada consistencia para aplicaciones responsables.

Se requiere entonces, un diagnóstico preliminar sobre la problemática de las redes de medición, su manejo y operatividad. Se analiza el potencial de las estaciones existentes identificando los sectores de escasa información, sectores con excesiva superposición de información; datos no integrados en una base única; dificultades con el acceso a los datos y especialmente su grado de homogeneidad y consistencia.

### Desarrollo

Se analizaron registros de 27 estaciones de la región, tanto formales como informales, enfocándonos principalmente en su ubicación espacial-geográfica, sensibilidad e inestabilidad de las diferentes variables meteorológicas, intervalos de tiempos de medición y períodos de análisis.

Para verificar la información y dar validez a los datos de estas estaciones informales se correlacionan los registros con las estaciones de referencia para la región, La Plata Aero y Ezeiza Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y la estación del Observatorio de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), las cuales se encuentran homologadas según disposiciones de la OMM. A su vez, desde 2017, el grupo InfoMET instaló sus propias estaciones de control, con instrumental normalizado y tecnológicamente adecuado, dentro de la Facultad de Ingeniería.

A partir del análisis de los datos de las estaciones, en algunos casos, se observaron discontinuidades en los registros y también desfases temporales en el seteo de los aparatos. La existencia de faltantes puede darse para todas las variables o alguna en particular, lo que indica errores en el funcionamiento de los sensores.

Se efectuó un análisis comparativo de las variables a fin de detectar anomalías en las bases de datos de los sistemas de medición informales, las cuales en su mayoría carecen de persistencia, ya sea



por razones de funcionamiento, mantenimiento o intereses particulares. A continuación, se procedió a calificar las estaciones de acuerdo un indicador de calidad, con base en sus registros (Ref. 4, 2019).

La existencia de varias estaciones en la región trae aparejado la problemática de decidir cuál de estas estaciones utilizar para recabar la información; por lo tanto, es necesario determinar, para cada estación de la red, la variabilidad temporal y espacial de las distancias que generan las áreas en las cuales su información es representativa. El criterio más simple y preciso para la clasificación de las zonas estaría basado en la variación superficial y estacional de las precipitaciones de lluvia.

A partir de esta compilación se analizaron los eventos de lluvia acontecidos durante 2017 y 2018, obteniendo una acabada descripción de las características de las tormentas, especialmente su distribución temporal y espacial.

El estudio experimental realizado para determinar la densidad de estaciones necesarias para representar adecuadamente los eventos meteorológicos, se basó en el método del coeficiente de correlación-distancia.

## Resultados y discusión

Para obtener esta curva de correlación, se obtuvieron todos los eventos de precipitación de los dos años en cuestión y se seleccionaron los más significativos, es decir, los que superan los 10 mm. acumulados diarios y se relacionaron las estaciones de mayor fiabilidad con la totalidad de estas, se calculó para cada pareja, el coeficiente de correlación (en valores de  $R^2$ ), y en función de este coeficiente y la distancia que separa una estación con otra se obtuvo la ley de ajuste indicada en la Figura 2.

El criterio de establecer un límite mínimo para el coeficiente  $R^2$  (un valor adecuado es 0,9) permite estimar la distancia  $D_{0,9}$ , obteniéndose para este caso en estudio un valor aproximado entre los 8 y los 10 kilómetros. Este es el valor del distanciamiento entre estaciones requerido para juzgar la representatividad espacial de cada estación. En conclusión, se deduce que es necesario unas 15 estaciones meteorológicas en la región, es decir, una cada 75 km<sup>2</sup>. Este método permite identificar además, aquellas zonas de la cuenca sin cobertura de estaciones. En nuestro caso, se detectó la necesidad de complementar la red existente con dos estaciones en las nacientes de las cuencas de la región (aprox. a la altura de la R.P. N° 36). Se trata de un resultado preliminar dado que, como muestra la Figura 2 la dispersión en la nube de puntos habla de altas correlaciones en la línea NO-SE y bajas en la línea SE-NE, que en principio obedecería a la dirección de avance de las tormentas.

Evaluaciones por otras metodologías convencionales, arrojan valores del orden de 35 estaciones meteorológicas (una cada 30 km<sup>2</sup>). Por último de acuerdo con las recomendaciones establecidas por la OMM (Ref. 3, 2011), se estima para esta zona una densidad de 10 a 20 km<sup>2</sup> por estación. Lo que equivale a unas 100-50 estaciones para abarcar la totalidad de la región.

## Conclusiones

Se han obtenidos importantes conclusiones sobre la calidad de los datos de cada una de las estaciones. Las comparativas de las variables temporales ha permitido la detección de anomalías en los sistemas de medición informales. (Ref. 4, 2019).

A partir del seguimiento del funcionamiento de las EMAs se pudo comprobar que las mismas no cuentan con un registro continuo de medición y presentan mayor cantidad de errores, supuestamente relacionado con la diversidad de usuarios, marcas y formas de operación, lo que dificulta la concepción de un registro de calidad y la aplicación de los métodos.

La metodología utilizada permitió visualizar la distribución espacial de las estaciones en la región, donde se observó que la separación y distribución de las estaciones resulta inadecuada, debido a la concentración existente en los sectores urbanos. Las cuencas de la región no cuentan con una distribución de estaciones meteorológicas que permita realizar una descripción detallada de los eventos meteorológicos.

Se aplicaron diferentes metodologías que evalúan la representatividad espacial, sugiriendo valores de densidad del orden de 10 a 40 estaciones.

## Figuras

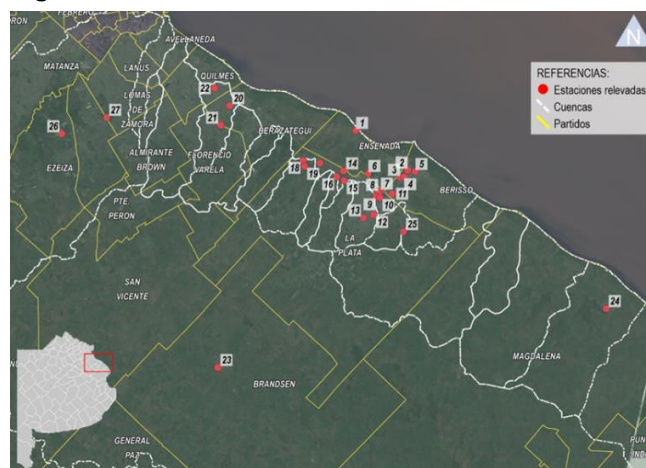


Figura 1 – Área de estudio / ubicación de las estaciones

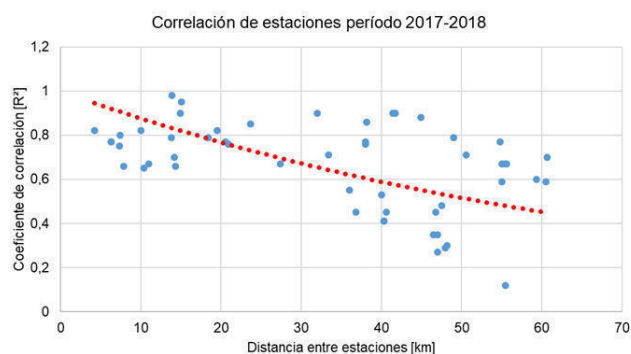


Figura 2 – Correlación de estaciones en valores de  $R^2$

## Referencias Bibliográficas

- [1] Fernández, G. et al. (2017), "Propuesta para la implementación de un programa de extensión aplicado al monitoreo hidrológico", 5tas Jornadas ITE, UIDET Hidrología FI-UNLP.
- [2] Departamento de Hidráulica, (2013). "Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada." Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Bianchi G., colaboración estudios hidrológicos.
- [3] Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2011). "Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I Hidrología – De la medición a la información hidrológica". OMM-N° 168, 6ta. Ed. Ginebra.
- [4] Fernández, G. et al. (2019), "Avances en el programa de monitoreo hidrometeorológico: evaluación de la representatividad espacial de las estaciones", 5tas Jornadas ITE, UIDET Hidrología FI-UNLP, inédito

# INFLUENCIA DE FLUCTUACIONES PERIÓDICAS DE BAJA FRECUENCIA DEL FLUJO EN MEDICIONES MEDIANTE PERFILADORES DE CORRIENTE ACÚSTICOS DOPPLER (ADCP)

Leticia Tarrab<sup>1</sup>, Iván Matías Ragessi<sup>1</sup>, Carlos Marcelo García<sup>1,2</sup> y Andrés Rodríguez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Hidráulica y Centro de Estudios y Tecnología del Agua (LH-CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina  
leticia.tarrab@unc.edu.ar

## Introducción

La interacción fluido-estructura es altamente susceptible a perturbaciones que generan inestabilidades, las cuales se manifiestan a través de la presencia de estructuras turbulentas bidimensionales y tridimensionales, como por ejemplo estelas, capas de corte, separaciones y fluctuaciones del flujo.

En el caso particular de canales curvos, se observa una separación del flujo en la margen interna o convexa formándose de esta manera una capa de corte interna caracterizada por remolinos (ó vórtices) que ocurren en la zona de fuertes gradientes de velocidades (Blanckaert et al., 2015). Esta capa de corte presenta inestabilidades que se manifiestan como fluctuaciones de baja frecuencia en las velocidades del flujo a la salida de la curva. Por otra parte, estas oscilaciones del flujo aumentan de manera considerable la incertidumbre en la determinación de caudales medidos in situ, en sistemas fluviales y canales, con instrumentos (perfiladores de corriente acústicos Doppler) instalados en plataformas móviles y por lo tanto no son factibles de aplicar las estrategias de muestreo utilizadas en la actualidad, las cuales fueron desarrolladas asumiendo procesos estacionarios (Tarrab, 2013)

Este trabajo presenta un análisis de incertidumbres en la medición de caudal desde plataformas móviles debido a fluctuaciones periódicas de baja frecuencia del flujo generadas en un canal de ancho 6.5 m con una curva a 180°. Los errores en la determinación del caudal se analizaron simulando el uso de perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP) en el muestreo de campos de velocidades del flujo de un modelo numérico tridimensional del tramo final de la cámara del contacto y canal de aforo validado de la Estación Depuradora (Edar) Bajo Grande, de la ciudad de Córdoba, Argentina.

## Análisis Dimensional

Se realizó un análisis dimensional a los fines de identificar los grupos adimensionales más relevantes que pueden afectar a la incertidumbre en la medición de caudal en estas condiciones. El parámetro adimensional seleccionado para cuantificar la incertidumbre en las mediciones de caudal con ADCP debido a las fluctuaciones de caudal, es el error relativo máximo esperado ( $RME[Q]$ ). La evolución de este parámetro adimensional se puede estimar usando la información relacionada con las condiciones de flujo existentes durante la medición y la configuración de muestreo seleccionada. Las condiciones de flujo turbulento existentes durante las mediciones se pueden caracterizar por la profundidad del flujo ( $H$ ), el ancho del río ( $B$ ), la velocidad media del flujo ( $V_w$ ), la viscosidad cinemática del agua ( $\nu$ ) y la velocidad de corte ( $u^*$ ). Las fluctuaciones de flujo existentes durante las mediciones se pueden caracterizar por el periodo de las fluctuaciones ( $T_p$ ) y por la diferencia máxima relativa en la velocidad del flujo (comparada con la velocidad media en la sección transversal)  $RMF[V]$ . La configuración de muestreo para una medición de caudal mediante ADCP pueden ser representada por el número total de transectas

muestreadas ( $N_T$ ), la velocidad del bote ( $V_b$ ), y la frecuencia de muestreo del instrumento ( $f$ ) el modo seleccionado de medición del ADCP el cual define el nivel de ruido representado por la desviación estándar de la velocidad horizontal ( $\sigma_v$ ).

$$RME[Q] = (H, B, V_w, \nu, N_T, V_b, f, T_p, RMF[V], u^*, \sigma_v) \quad [1]$$

La aplicación del teorema Pi de permitió obtener los siguientes números  $\Pi$  adimensionales, utilizando  $V_w$  y  $H$  como variables representativas (magnitudes físicas fundamentales):

$$\pi_1 = N_T; \pi_2 = B/H; \pi_3 = RMF[V]; \pi_4 = \frac{V_w H}{\nu} = Re; \\ \pi_5 = \frac{T_p}{T_t}; \pi_6 = \frac{V_b}{V_w}; \pi_7 = \frac{T_t}{\Delta t}; \pi_8 = \frac{\sigma_v}{V_w}; \pi_9 = \frac{V_w}{u^*} \quad [2]$$

donde  $Re$  es el número de Reynolds, donde  $T_t = H/V_w$  es la escala de tiempo de la estructura turbulenta del flujo de tamaño  $H$ , y  $\Delta t = 1/f$  es el intervalo tiempo en el muestreo de los perfiles de velocidad. Se seleccionaron los grupos adimensionales más importantes identificados mediante el análisis dimensional, y se asumieron las siguientes hipótesis: a)  $Re \gg 1$  (turbulencia está totalmente desarrollada), b) la relación  $V_w/u^*$ , presenta valores aproximadamente constantes y el ruido ( $\sigma_v/u^*$ ) no es relevante para el análisis, obteniéndose los siguientes grupos adimensionales que permiten caracterizar el proceso:

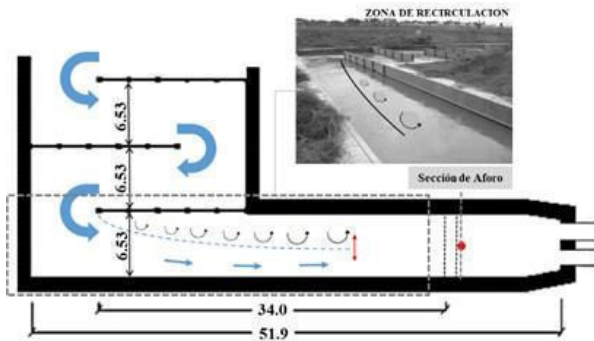
$$\pi_{10} = RME[Q]/RMF[V] \text{ y } \pi_{11} = T_p T_t / T \Delta t \quad [3]$$

## Materiales y Métodos

Se implementó un modelo basado en la Simulación de Grandes Vórtices (LES, por sus siglas en inglés) mediante el código libre y abierto OpenFoam®. La implementación del modelo numérico fue del tipo tridimensional. El dominio del modelo se compone de volúmenes de 3 x 3 x 2 cm y representa el tramo final de la cámara del contacto y canal de aforo de la Edar Bajo Grande (Figura 1). La validación del modelo fue realizada con datos medidos con ADCP y LSPIV en tres campañas de medición (Ragessi, 2017). En este caso se utilizó el esquema temporal PIMPLE (pimpleFoam en OpenFoam®) que fusiona los esquemas PISO y SIMPLE para flujos no estacionarios, para densidad y viscosidad constantes y el modelo se utilizó el modelo Smagorinsky-Lilly para incorporar el aporte de las escalas turbulentas más pequeñas. El modelo numérico tiene como condición de entrada una distribución de velocidades a la entrada con una perturbación que representan una intensidad de la turbulencia del 5%.

Se muestrearon campos de flujo obtenidos de la simulación numérica simulando el registro de datos de un ADCP adoptando diferente estrategias espaciales y temporales de muestreo y, además, se extrajo una señal de velocidad en un punto a fines de caracterizar la escala temporal de las fluctuaciones del flujo mediante un análisis espectral.

Se obtuvieron datos de velocidades longitudinales en diferentes perfiles verticales con una frecuencia fija de 1 Hz para todos los casos. El caudal se calculó para cada transecta mediante la integración de los perfiles de velocidad a través de la sección transversal. Se simularon diferentes estrategias de muestreo variando la velocidad del bote, simulando 8 valores diferentes de velocidades del bote ( $V_b$ ) en el rango de 0.03 m/s – 0.9 m/s y en este caso se mantuvo el número de transectas fijo en  $N_T = 1$ .



**Figura 1.-** Esquema y dimensiones (en metros) del canal de aforo a la salida de la Edar "Bajo Grande". Imagen de la zona de separación

Considerando que  $RME[Q]$  es una variable aleatoria, para cada estrategia de muestreo, se utilizaron 20 conjuntos de datos (muestreados comenzando en diferentes tiempos iniciales del período de simulación) para estimar un valor medio y los intervalos de confianza. Cada uno de los 20 conjuntos de datos consiste en 12 transectas de los cuales es posible obtener para cada configuración de muestreo un valor de  $RME[Q]$ . El error relativo máximo absoluto,  $RME[Q]$  se calculó para cada conjunto de datos de la siguiente manera:

$$RME[Q] = \frac{|Q - Q_R|_{\max}}{Q_R} \quad [4]$$

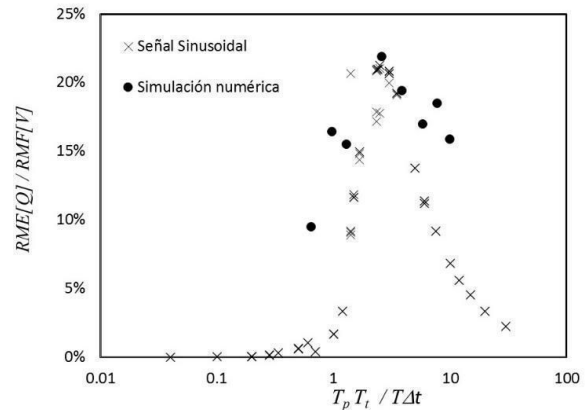
donde  $Q$  es el caudal medido en cada transecta;  $|Q - Q_R|_{\max}$  es la máxima diferencia absoluta en el caudal dentro del conjunto de datos (las 12 transectas),  $Q_R$  es el caudal promedio de 12 transectas en cada conjunto de datos.

Los resultados fueron comparados con valores calculados en un análisis de una simulación simplificada del flujo en un canal en presencia de fluctuaciones de caudal asumiendo que la distribución de velocidades en planta en la sección transversal responde a una señal sinusoidal sintética, la cual describe una suave oscilación temporal repetitiva o periódica del campo de velocidades del flujo (García et al., 2013).

## Resultados

La Figura 2 muestra la evolución de la relación  $\Pi_{10} = RME[Q]/RMF[V]$  en función de  $\Pi_{11} = T_p T_t / T \Delta t$  para las diferentes configuraciones de muestreo. El valor de  $T_p$  en este caso fue calculado en base al análisis espectral de una señal en un punto de la transecta e igual a 33 s. Se observa que los valores obtenidos a partir de las simulaciones del flujo en el canal curvo se aproximan a los estimados con el modelo simplificado de la señal sinusoidal sintética, apreciándose que los mismos son mayores debido a que presentan contribución de otras incertidumbres como es el caso de las debido a las fluctuaciones turbulentas. En el caso de  $\Pi_{11} \approx 2.6$  (valores críticos) el valor de  $RME[Q]/RMF[V]$  presenta un valor máximo. En el caso de una frecuencia de muestreo fija de 1 Hz

(como fueron los casos analizados y comunes en el empleo de los ADCP) y que las condiciones de flujo no varíen ( $T_t$  y  $RMF[V]$ ), el valores bajos de en  $RME[Q]$  pueden obtenerse con un tiempo de exposición muy alto (reduciendo la velocidad de la embarcación), o disminuyendo el tiempo de exposición a un valor  $T \ll T_p$ .



**Figura 2.-** Evolución del número adimensional  $RME[Q]/RMF[V]$  en función del número adimensional  $T_p T_t / T \Delta t$

## Conclusiones

Se presentó una técnica de análisis sistemático de incertidumbre asociada a las estrategias espaciales y temporales de medición de caudal realizadas con ADCP desde plataformas móviles. El estudio se basa en el análisis de datos de alta resolución espacial y temporal obtenidos con una simulación numérica (LES) de un flujo en un canal curvo. La simulación fue validada con datos de campo mostrando un buen desempeño. El comportamiento cuasi-periódico de la zona de separación del flujo debido a la presencia de fluctuaciones generadas por efectos de la geometría del canal, genera incertidumbres en la determinación de caudal desde plataformas móviles. Este comportamiento es similar al observado en una simulación simplificada del proceso utilizando una señal sinusoidal sintética, en la cual se observa que la presencia de las fluctuaciones de baja frecuencia del flujo incrementa las incertidumbres en las mediciones de caudal desde plataformas móviles hasta un valor crítico, por lo que los protocolos recomendados en la actualidad para la medición de caudal con ADCP no resulta en mediciones precisas para estos casos.

## Referencias

- Blanckaert, K.** (2015). Flow separation at convex banks in open channels. *J. Fluid Mech.* 2015, 779, 432–467.
- OpenCFD** (2014). “OpenFOAM® C++ Documentation”, tomado de: <http://foam.sourceforge.net/docs/cpp/>.
- García, M. G, Tarrab, L, Herrero, H, Szupiany, R, Oberg, K.** (2013). “Incertidumbres en la Medición de Caudal con ADCP desde Plataformas Móviles debido a Fluctuaciones Periódicas de Baja Frecuencia del Flujo”, *III Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica*, Santa Fe, Argentina, Marzo 2013.
- Tarrab, L, García C. M., Patalano, A; Brevis, W** (2013). “Fluctuaciones de Baja Frecuencia en el Flujo en Curvas”. *Sexto Simposio Regionalesobre Hidráulica de Ríos*. Santa Fe, Argentina, 2013.
- Tarrab, L.** (2013). “*Incertidumbres en Mediciones de Caudal con Perfiladores de Corriente Acústicos Doppler desde Plataformas Móviles*”, Tesis Doctoral, FCEFYN –UNC; Córdoba, Argentina.
- Ragessi I. M.** (2017). “*Caracterización Hidrodinámica Detallada del Flujo en Estructuras Hidráulicas de Plantas de Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales para Evaluar su Funcionamiento*”, Tesis Doctoral, FCEFYN –UNC; Córdoba, Argentina.

## DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS COMO PROCESOS ALEATORIOS

Geraldo Wilson Júnior<sup>1</sup> y Cid da Silva Garcia Monteiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala C-209, Ilha do Fundão. CEP 21945-970, Rio de Janeiro, Brasil. [jrwilson@gmail.com](mailto:jrwilson@gmail.com). Fones: +55 21 99737.8899; +55 21 3938.8741.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Propriedade Industrial, INPI. Rua Mayrink Veiga, 9, Centro. CEP 20090-910, Rio de Janeiro, Brasil. [Csgm25@gmail.com](mailto:Csgm25@gmail.com). Fones: +55 21 98865.5194; +55 21 2273.5933.

### Introducción

Los movimientos de sedimentos en cursos de agua con superficie libre caracterizan procesos aleatorios cuyos eventos elementales son las trayectorias de los granos individuales. La Teoría de los Procesos Aleatorios describe estos movimientos, así como de los contaminantes fijados por los granos más finos, sea en el lecho móvil, sea en suspensión en medio de los torbellinos (**Figura 1**).

El primer trabajo que consideró la naturaleza aleatoria del movimiento sedimentario fue de Einstein (1937). Pero, sólo en los años sesenta, la teoría de probabilidad fue aplicada al estudio del movimiento de sedimentos, gracias al uso de trazadores. En particular, los radioactivos permitieron mediciones Eulerianas y Lagrangianas de las trayectorias de granos aislados y/o grupos de partículas (**Figuras 2 y 3**). Se midió la evolución en el tiempo de las posiciones de sedimentos a lo largo de un canal o río, y los tiempos de paso de los granos a través de secciones transversales.

A partir del trabajo de Wilson-Jr. (1972), los autores utilizan la Teoría de los Procesos Aleatorios para describir con precisión los movimientos de sedimentos en los cursos de agua. La **Figura 4** resume los estudios realizados.

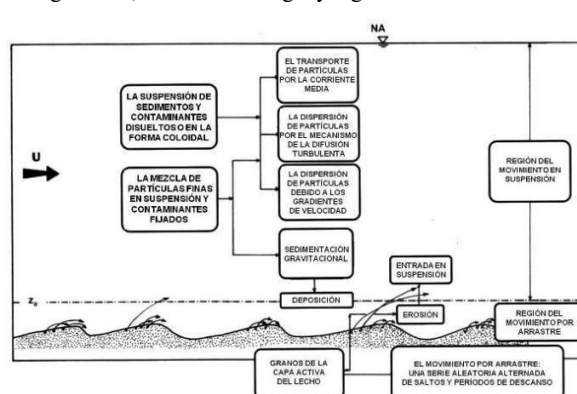
La descripción del **Movimiento por Arrastre** se inició con el estudio del movimiento 1-D longitudinal de granos individuales y grupos de partículas en canales de laboratorio y en cursos de agua naturales. Wilson-Jr. (2012) clasificó los modelos aleatorios de estos movimientos de acuerdo con sus funciones de movilidad  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  que caracterizan las probabilidades de mudanza del estado cinemático de los granos de sedimento, en un instante y posición exactos. Así surgieron los Modelos Poissonianos Homogéneos, los Poissonianos No-Homogéneos y No-Poissonianos, los cuales caracterizan los movimientos en lechos planos fijos, planos móviles y lechos móviles con configuraciones tipo dunas, respectivamente (Wilson-Jr. 1987, 2012, Wilson-Jr. y Monteiro, 2016).

Wilson-Jr. (1987) y Monteiro (2004) mostraron que el Modelo Poissoniano Homogéneo describe con precisión el **Movimiento en Suspensión** longitudinal de contaminantes y/o de sedimentos finos en cursos de agua. Para validar y calibrar los modelos se utilizaron datos obtenidos en un canal prismático rectangular del LCHF y un dispositivo original que permitió el estudio 2-D del movimiento en suspensión y por arrastre con transferencias verticales (**Figura 5**).

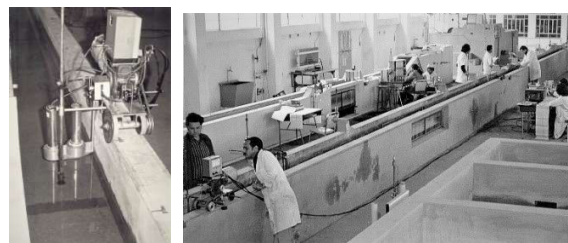
### Objetivos

Los objetivos de esta línea de investigaciones son demostrar que los trazadores y métodos hidrosedimentométricos se complementan y permiten diversos análisis originales, tales como: (i) estudio del movimiento por arrastre de granos aislados; (ii) de los movimientos por arrastre y/o en suspensión de un grupo de partículas; (iii) determinación de la tasa de sedimentación de los sedimentos; (iv) distribuciones sobre el lecho de los granos depositados y sus comportamientos en el tiempo; (v) estudio del comportamiento del lecho móvil como: fuente de sedimentos por arrastre y/o suspensión (erosión); camada de absorción de los sedimentos de la suspensión (deposición); camada de reflexión de los sedimentos de la suspensión; y simultáneamente, camada de absorción y reflexión de

sedimentos, en función de sus diámetros y concentraciones; y (vi) análisis de la distribución vertical de los granos en el lecho móvil. Son tantas las aplicaciones y los resultados disponibles que en este artículo limitaremos presentar las líneas generales de las investigaciones, de la metodología y algunos resultados.



**Figura 1.** Movimiento de sedimentos y contaminantes en cursos de agua con superficie libre (Wilson-Jr. 1987).



**Figuras 2 y 3.** Ensayos con trazadores radiactivos sobre los movimientos de partículas aisladas y grupos de sedimentos. IPH/UFRGS. (Wilson-Jr. 1972, 1987).

### Metodología y Desarrollo Matemático

Los desarrollos teóricos fueron presentados detallada y didácticamente en Wilson-Jr. (1987) y Monteiro (2004), de modo que sirvan de base a todos aquellos que deseen dedicarse al estudio del movimiento de sedimentos como Procesos Aleatorios. Las actualizaciones, en particular sobre el movimiento 2-D en suspensión, se han presentado en artículos más recientes, como por ejemplo en Wilson-Jr. y Monteiro (2016). Los ensayos con partículas aisladas definen las funciones de movilidad de los movimientos espaciales y temporales de los granos de sedimentos. Las experiencias con grupos de partículas reproducen el movimiento natural de los sedimentos en cuerpos de agua. Para la calibración y validación de los modelos aleatorios, se elaboró un *software* denominado **PAICON-2D** (Procesos Aleatorios con Inyecciones Instantáneas y **CONT**inuas) que permite analizar los comportamientos Euleriano y Lagrangeano del movimiento de sedimentos, como se ilustra en la **Figura 6**.



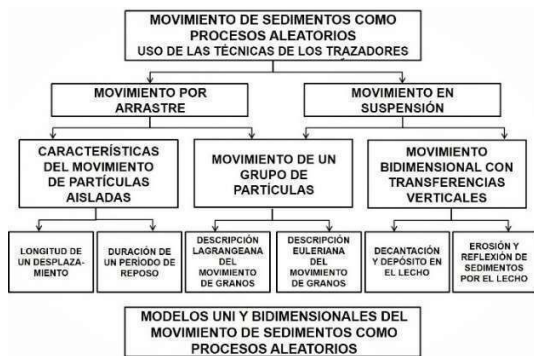


Figura 4. Movimiento de los sedimentos con uso de la Teoría de los Procesos Aleatorios.

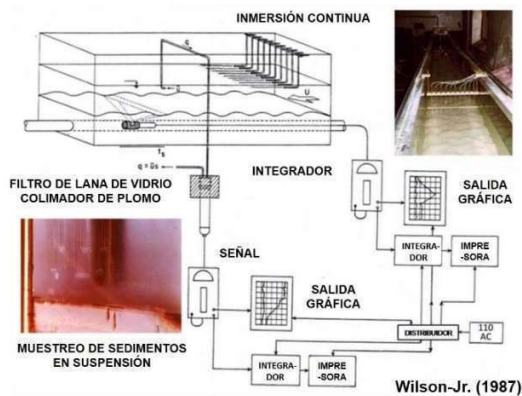


Figura 5. Sistema de inmersión y detección de los movimientos de sedimentos del lecho y en suspensión.  
 LCHF - Laboratorio Central de Hidráulica de Francia.

### Algunos Resultados

En la Figura 6 se presenta una muestra de resultados del Software PAICON-2D para una inyección continua, lateral y uniformemente distribuida en la superficie libre, durante el intervalo  $[0, t_d=120 \text{ s}]$ . La pluma indica el comportamiento 2-D de sedimentos de mismo diámetro. Los gráficos representan: (i) el campo Lagrangeano 2-D de concentración normalizada  $C(x, z, t)$ , en un canal 20,0 m de largo y 2,0 m de profundidad, en el instante  $t = 100,0 \text{ s}$ ; (ii) los perfiles verticales Lagrangeanos 1-D de concentración en las secciones  $x = 3,0, 10,0$  y  $17,0 \text{ m}$  en ese momento, y (iii) las evoluciones Eulerianas de las concentraciones de sedimentos en las profundidades  $z = 0,4$  y  $z = 0,8 \text{ m}$  en esas tres secciones.

El lecho móvil de un río se comporta de varios modos distintos: (i) como una barrera de reflexión de los sedimentos que lo tocan; (ii) como fuente de sedimentos de los movimientos por arrastre y suspensión; (iii) como una barrera de absorción de esos sedimentos que se incorporan al lecho; y (iv) como una barrera, al mismo tiempo de absorción y de reflexión. La Figura 7, obtenida con el software PAICON-2D, ilustra los casos (i), (iii) y (iv). El caso (ii) también puede ser modelado por este mismo programa.

### Conclusiones

Los movimientos sólidos son causas de consecuencias onerosas, debido a los perjuicios que provocan y al costo de los trabajos necesarios para remediarlos. No se debe esperar que estos fenómenos ejerzan sus efectos nocivos para empezar a estudiarlos. Es necesario anticipar las soluciones basadas en la comprensión de las leyes que gobiernan los movimientos de los sedimentos. Esto

exige estudios de Investigación y Desarrollo. Los análisis basados en la Teoría de los Procesos Aleatorios, la realización de mediciones hidráulicas y sedimentológicas en la naturaleza, y los ensayos en laboratorio, son medios que se dispone para mejor comprender los movimientos sólidos en los cursos de agua.

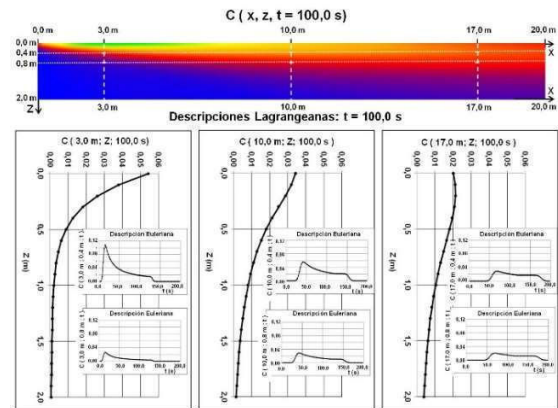


Figura 6. Concentración  $C(x,z,t)$  de sedimentos finos. Inmersión continua en la superficie durante  $t_d = 200 \text{ s}$ . Régimen estacionario durante:  $75s \leq t \leq 120s$ . Granos de diámetros  $D_i = 0,040 \text{ mm}$ .

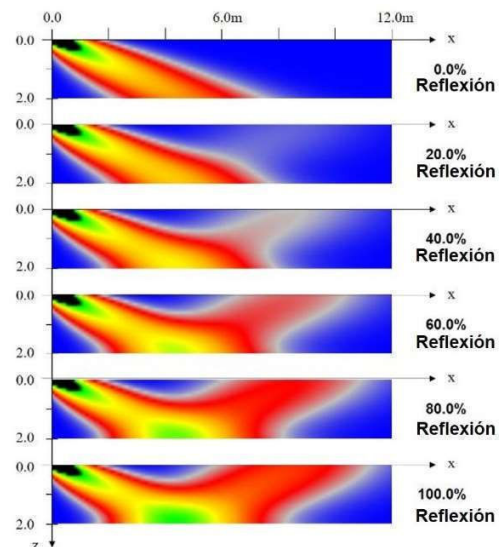


Figura 7. Lecho móvil como barrera de reflexión (y/o absorción) del diámetro del sedimento  $D = 0,125 \text{ mm}$  continuamente inyectado en la superficie libre durante un intervalo  $[0, t_d]$ .

### Referencias Bibliográficas

Einstein, H.A. (1937). "Bed-load transport as a probability problem". D.Sc. Thesis. Fort Collins, Colorado, USA.  
 Monteiro, C.S.G. (2004). "Processos aleatórios com injeções instantânea e contínua aplicados ao movimento de sedimentos e poluentes em escoamentos com superfície livre". M.Sc. Dissertação. UFRJ, Brasil.  
 Wilson-Jr., G. (1972). "Transporte e dispersão de areia em canal de laboratório". 2 vol. M.Sc. Dissertação. UFMG. Belo Horizonte. Brasil.  
 Wilson-Jr., G. (1987). "Etude du transport et de la dispersion des sédiments en tant que Processus Aléatoires". Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques. Université Pierre et Marie Curie. France.  
 Wilson-Jr., G. (2012). "Funciones de intensidad de mudanza del estado cinemático del movimiento de los sedimentos en los cursos de agua". XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José. Costa Rica.  
 Wilson-Jr., G.; Monteiro, C.S.G. (2016). "Homogeneous 2-D Poissonian model applied to the suspended movement of pollutants and non-uniform fine sediments in open-channel flow". River Sedimentation. Stuttgart, GE.

## MEDICIONES Y RELEVAMIENTOS PARA LA MEJORA DE MODELOS NUMÉRICOS Y GENERACIÓN DE VINCULACIÓN TERRITORIAL

Mariano Re, Martín Sabarots y Pablo E. García

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina  
mariano.re.urbieta@gmail.com, msabger@gmail.com, pabloegarcia@gmail.com

### Introducción

Desde el año 2016 el Programa de Hidráulica Computacional (PHC) del Instituto Nacional del Agua (INA) viene llevando a cabo diferentes acciones relacionadas con la instalación de sensores para medir variables hidrometeorológicas y con el relevamiento topobatimétrico de zonas de interés con un doble objetivo: *i)* mejorar la implementación y performance de diferentes modelos numéricos (hidrológicos e hidráulicos) y *ii)* generar vínculos con los diversos actores involucrados en las problemáticas estudiadas para una mejor comprensión de los sistemas y para avanzar en la coproducción del conocimiento. Este abordaje abona la idea de que, dadas las facilidades actuales en el acceso a las tecnologías de observación, no se pueden concebir modelaciones numéricas sin sus respectivos procesos de calibración y validación, y sin su conexión territorial, en aquellos problemas que lo ameriten.

Las acciones realizadas más destacadas se concentran en dos problemáticas asociadas a las líneas de investigación del PHC que se caracterizan por la variedad de actores involucrados. Ellas son:

- 1) Delta Paraná – Estudio hidrodinámico integrador con fines múltiples. Ejecución de relevamientos topobatimétricos y campañas de aforos en cursos del Delta e instalación de 4 sensores de nivel automáticos y 4 reglas hidrométricas.
- 2) Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) – Comprender la dinámica de las inundaciones en cuencas urbanas para contribuir a la implementación de medidas no estructurales. Instalación de 2 sensores de nivel automáticos y 2 pluviógrafos en la cuenca Sarandí-Santo Domingo (Buenos Aires) y materialización reglas hidrométricas informales en las cuencas Sarandí-Santo Domingo y Dupuy.

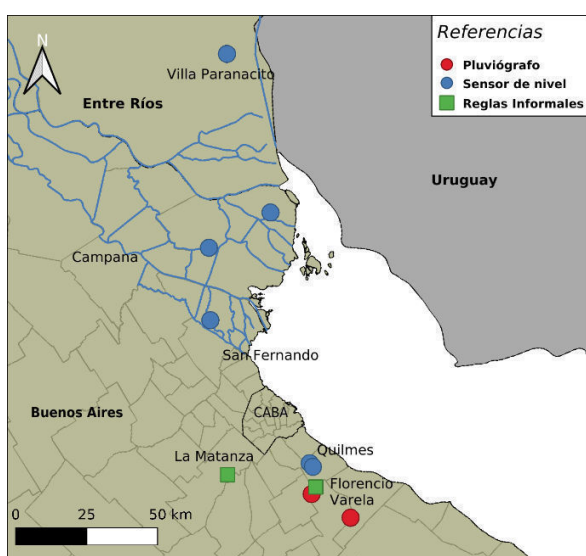


Figura 1.- Reglas hidrométricas, sensores de nivel y pluviómetros instalados.

### Hidrodinámica del Delta Paraná

En este estudio se busca obtener una visión integradora sobre el Delta del río Paraná para el análisis global de la dinámica hídrica y la comprensión integral de las variables hidráulicas. Para esto se utiliza la herramienta de la modelación hidrodinámica, integrando modelaciones parciales previas, y la incorporación de observaciones hidrométricas directas en sitios no explorados anteriormente. La modelación hidrodinámica planteada comprende el sistema que va desde la sección Santa Fe – Paraná hasta el Río de la Plata.

La instalación de reglas hidrométricas y sensores de nivel, al igual que las campañas de relevamientos topobatimétricos, se produjo mediante la vinculación con instituciones de fuerte presencia territorial (INTA EEA Delta), con numerosos referentes locales (productores e isleños inorgánicos) y con actores del sector productivo (asociaciones rurales y empresas forestales).



Figura 2.- Regla hidrométrica en el Río Carapachay (izq) y sensor de nivel en el arroyo Marín (der) en el Delta del Paraná.

### Inundaciones en la RMBA

El abordaje del estudio de las inundaciones en cuencas urbanas en la RMBA se realiza utilizando la herramienta de la modelación numérica implementando modelos hidrológicos e hidráulicos en las distintas cuencas de interés. Particularmente se ha avanzado con dos cuencas con el objetivo de plantear medidas no estructurales para la mitigación del riesgo de inundación. Las cuencas analizadas son las del Arroyo Dupuy (en el partido de La Matanza) y la cuenca de los Arroyos Sarandí - Santo Domingo (que ocupa parte de los partidos de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Presidente Perón, Florencio Varela y Quilmes) (Figura 1).

En la cuenca Sarandí-Santo Domingo se instalaron pluviómetros y sensores de nivel (Figura 3) para calibrar y validar la modelación numérica con series observadas continuas (Ortiz et al., 2018) y poder definir con mayor precisión el forzante de precipitación (Re et al., 2018). Además, en colaboración con organizaciones territoriales, en ambas cuencas, se comenzaron a pintar reglas hidrométricas informales para comenzar a obtener registros ocasionales.

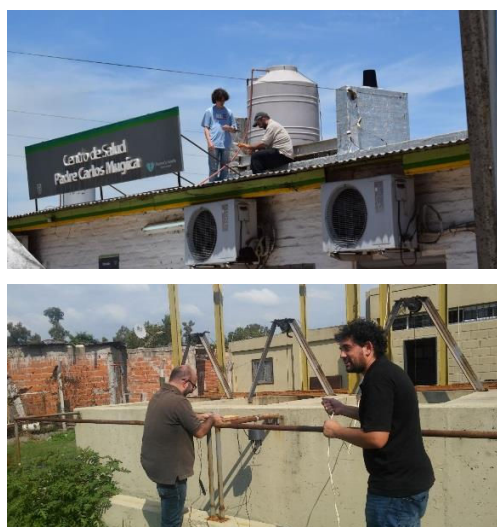


Figura 3.- Instalación de pluviógrafo en Florencio Varela (arriba) y sensor de nivel en arroyo Las Piedras (abajo)

## Discusión y conclusiones

Tauro et al. (2018), en un resumen sobre los desafíos de las mediciones en hidrología, plantean la necesidad de adoptar una perspectiva multidisciplinaria para abordar observaciones, en donde se complementen las tradicionales con acciones innovadoras, y donde los esfuerzos colaborativos ayuden a generar nuevas fuentes de datos con sus respectivos aportes sobre el análisis de los mismos. Este trabajo se alinea con esta idea, abriendo nuevos caminos en la comprensión de problemas complejos.

El modelo hidrodinámico de Delta del Paraná se ha convertido en un modelo de pronóstico que se encuentra en fase pre-operativa y donde los esfuerzos de medición han demostrado ser determinantes en la calidad de la reproducción de la dinámica del sistema.

La modelación hidrológica e hidráulica de cuencas urbanas nunca antes instrumentadas ha dado un salto de calidad con la instalación de puntos de observaciones claves. Esto ha permitido, como en el caso de los arroyos San Francisco y Las Piedras (cuenca Sarandí – Santo Domingo), una representación de buen desarrollo espacial del forzante lluvia y una satisfactoria simulación de eventos de crecidas, tanto desde la temporalidad como desde el alcance máximo (Figura 4).

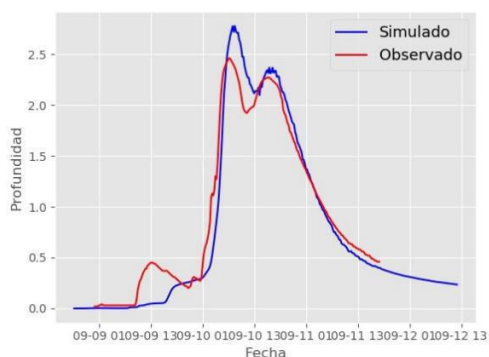


Figura 4.- Comparación de niveles en el arroyo Las Piedras para el evento registrado durante los días 10 y 11 de septiembre del 2017.

La vinculación territorial en ambos problemas ha abierto la puerta a nuevas opciones de observación y comprensión de los mismos.

En el caso del Delta del Paraná ha permitido el acceso a zonas de observación de difícil acceso (facilitando logística), ha logrado evaluar el acceso y comprensión en territorio de la información de pronóstico, y ha aportado variadas interpretaciones acerca de comportamientos locales del sistema. En el caso de las cuencas de RMBA ha facilitado la incorporación de sitios seguros de medición, ha permitido conocer estrategias respecto de la toma de decisiones durante la inundación favoreciendo la generación de nuevas herramientas orientadas a esa fase del problema (Re et al., 2019), y ha generado la obligación de pensar en conjunto entre técnicos y afectados las medidas no estructurales posibles de ser aplicadas para mitigar el riesgo de inundación.

Además, la presencia de instrumentos y de reglas hidrométricas informales en estas zonas ha tenido un efecto sinérgico, en donde el registro variables hidrológicas y la posibilidad de contar con valores de referencia locales, ha alentado la participación de habitantes de zonas críticas favoreciendo la visibilidad del problema y permitiendo la cuantificación de los impactos. En el recorrido de relaciones que se han ido acumulando a lo largo de estas investigaciones se distinguen distintos tipos de actores entre los cuales se destacan organismos ciencia y técnica, municipios, ONGs, empresas, asociaciones vecinales y movimientos sociales. En la Figura 5 se presenta un mapeo de los vínculos desplegados en territorio.



Figura 5.- Red de trabajo territorial

La red de observaciones junto a los vínculos territoriales, integrados en un ejercicio de modelación numérica, ha resultado en una comprensión más amplia de la problemática estudiada, el involucramiento del actor territorial en el problema, y, en una mejora en la comunicación de los resultados obtenidos.

## Referencias

- Ortiz, N., Re, M., Kazimierski, L. y García, P. (2018). Hidrometría para la calibración y validación del modelo hidráulico de la cuenca Sarandí – Santo Domingo. 4º Encuentro de investigadores en formación en recursos hídricos – IFRH 2018. Ezeiza, Argentina.
- Re, M., Kazimierski, L., García, P. y Ortiz, N. (2018). Influencia de la red de observación pluviométrica utilizada en la modelación hidrológica-hidráulica de una cuenca urbana. XIII Congreso Argentino de Meteorología - CONGREMET - Rosario - 16 al 19 de octubre de 2018.
- Re, M., Kazimierski, L., Badano, N. (2019). High-resolution urban flood model for risk mitigation validated with records collected by the affected community. *Journal of Flood Risk Management*. DOI: 10.1111/jfr3.12524
- Tauro, F., Selker, J., van de Giesen, N., Abrate, T., Uijlenhoet, R., Porfiri, M., et al. (2018). Measurements and Observations in the XXI century (MOXXI): innovation and multi-disciplinarity to sense the hydrological cycle, *Hydrological Sciences Journal*, 63:2, 169-196, DOI: 10.1080/02626667.2017.1420191



## CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO URUGUAY A PARTIR DE DATOS DE CAMPO Y MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

A. R. S. Nardin<sup>1</sup>, R. Junes<sup>2</sup>, R. N. Szupiany<sup>3,4</sup> y C. A. Arcelus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Comisión Administradora del Río Uruguay.

<sup>2</sup>Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, FING, UDELAR.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

e-mail: anardin@caru.org.uy

### Introducción

En el marco del desarrollo de la vía navegable del río Uruguay, la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) consideró necesaria la generación de conocimiento en torno al transporte de sedimentos en el río, lo cual a la fecha solo se ha analizado en tramos específicos, sin un enfoque integral en el sistema. En esta dirección, y a partir del año 2018, la CARU comenzó a desarrollar el proyecto denominado “Monitoreo del transporte de sedimentos en el río Uruguay, aguas abajo de la represa de Salto Grande” con el fin de alcanzar resultados para la previsión y evaluación de los dragados de mantenimiento de la vía navegable, que se comenzarán a realizar en el corriente año.

El presente trabajo brinda resultados preliminares de la estimación de la capacidad de transporte de sedimentos transportado por el fondo, y dimensiones de formas de fondo en el canal de navegación del río Uruguay, bajo diferentes escenarios hidrodinámicos, particularmente en su tramo navegable por buques comerciales (km 0 Nueva Palmira al km 206 Paysandú – Figura 1). Los mismos se obtuvieron a través de la recopilación de información de campo preexistente, la modelación hidrodinámica bidimensional y ecuaciones de transporte ya validadas en el río de estudio.

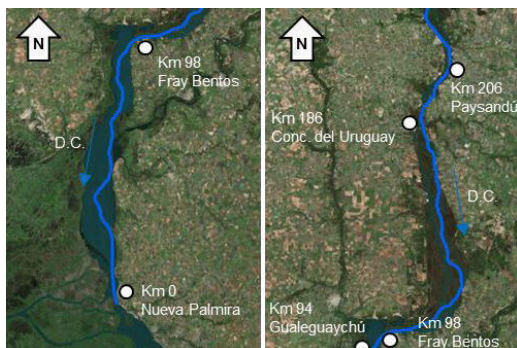


Figura 1.- Canal de navegación en el río Uruguay.

### Metodología

#### Modelo hidrodinámico bidimensional

Se implementó el sistema computacional TELEMAC 2D (Hervouet, 2000) para la simulación hidrodinámica del período 2004-2010. El sistema contó con 173.937 elementos de una malla no estructurada. La calibración e implementación del modelo pueden consultarse en Junes et al. (2018). Para la extracción de información, se intersectaron los elementos con la línea central del canal de navegación, y se obtuvieron todos los valores simulados de velocidad ( $v$ ), tirante ( $h$ ) y pendiente del pelo de agua ( $S$ ), con un paso de tiempo horario, para cada kilómetro del canal.

#### Escenarios hidrodinámicos

Se realizó el procesamiento estadístico muestral de la serie de caudales horarios erogados por la represa de Salto Grande entre 2004 y 2010. De allí se obtuvieron los valores de caudales con el 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 99 % de probabilidad de no ser

superados. Asimismo, se extrajo el valor máximo *maximorum* de la serie. Para cada uno de estos caudales se identificó la fecha de ocurrencia del valor más cercano a cada uno de ellos. Por ejemplo, se identificó la fecha en la cual el caudal erogado por la represa tuviera la menor diferencia con el valor de caudal con 50% de probabilidad de no ser superado. Luego, se definió como el escenario hidrodinámico con determinada probabilidad de no ser superado, al dado por los valores de velocidad, tirante hidráulico y pendiente que se presentaron en esa fecha. Esta presunción reviste más sentido para escenarios de alta probabilidad de no excedencia, ya que para aguas bajas la influencia de la condición de borde aguas abajo es más notoria

#### Muestras de sedimento

Se trabajó con muestras de sedimentos tomadas sobre el canal de navegación, equiespaciadas 1 kilómetro. En caso de haber más de una muestra por kilómetro, se tomó la media como valor representativo para los cálculos. Con esta información se construyó una curva granulométrica representativa para cada discretización del canal.

#### Batimetrías y determinación de formas de fondo

Se tomaron dos batimetrías longitudinales del canal de navegación realizadas en marzo de 2015. Las mismas fueron relevadas con una ecosonda de 200 kHz de frecuencia y un GPS con corrección diferencial *MarineStar*®. Dichos relevamientos fueron procesados por un algoritmo automático de detección de formas de fondo, que se explica con más detalle en Nardin et al. (2019). Este algoritmo produjo como resultado un valor medio de altura y longitud de formas de fondo relevadas, para cada kilómetro del canal de navegación.

#### Capacidad de transporte de sedimentos de fondo

Tras la evaluación de fórmulas de transporte con datos medidos en campo, se aplicaron las ecuaciones [1] y [2], propuestas por van Rijn (1993).

$$q_b = \sqrt{g(s-1)d_{50}^{3/2}} 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \text{ para } T \leq 3 \quad [1]$$

$$q_b = \sqrt{g(s-1)d_{50}^{3/2}} 0.100 \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}} \text{ para } T > 3 \quad [2]$$

En [1] y [2]  $q_b$  es capacidad de transporte de sedimentos transportado por el fondo (kg/s/m),  $g$  la aceleración de la gravedad ( $m^2/s$ ),  $s$  es la gravedad específica del sedimento (cuarzo,  $s=2.65$ ),  $d_{50}$  es el diámetro medio del sedimento de fondo,  $T$  y  $D_*$  son los parámetros de escala y diámetro adimensional de van Rijn, que se calculan a partir de las propiedades del flujo y el sedimentos (ver van Rijn 1993).

#### Predicción de formas de fondo

Se utilizaron las expresiones [3] y [4] propuestas por van Rijn (1984), para la determinación de altura [ $\Delta$ ] y longitud de dunas [ $\lambda$ ]. Estas predicciones se compararon con lo observado a los efectos verificar la validez de las expresiones para el caso de estudio, y de asociar a qué estado hidrológico corresponden las formas de fondo presentes.



$$\frac{\Delta}{h} = 0.11 \left( \frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} (1 - e^{-0.5T})(25 - T) \quad [3]$$

$$\frac{\Delta}{\lambda} = 0.015 \left( \frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} (1 - e^{-0.5T})(25 - T) \quad [4]$$

## Resultados

### Capacidad de transporte de sedimentos de fondo

Se realizaron los cálculos con las expresiones de van Rijn [1] y [2] de la capacidad de transporte sedimentos de fondo para distintos escenarios hidrodinámicos. En la Figura 2 se presentan los escenarios para el caudal máximo, y los valores de probabilidad de no excedencia descriptos en la figura. Allí puede observarse que, en el tramo analizado, el transporte de sedimentos ocurre hacia aguas arriba del kilómetro 100 (cercano a la ciudad de Fray Bentos), en Uruguay, ya que solamente para los escenarios máximos las tensiones de corte de fondo superarían los valores críticos correspondientes a los sedimentos encontrados. Asimismo, se observa que para condiciones hidrodinámicas con una probabilidad de no ser excedidas del 66% (5.600 m<sup>3</sup>/s), el flujo es capaz de transportar los sedimentos presentes en un tramo limitado del río (Km 150 a 180). Además, se verificó que la presencia de pasos de navegación coincide aproximadamente con las caídas abruptas en la capacidad de transporte. Por último, merece la pena mencionar que en el lugar con mayor capacidad de transporte de sedimentos (km 168), se presenta una diferencia de dos órdenes de magnitud entre la capacidad de transporte generada por el caudal máximo registrado y la producida por el caudal con 66% de probabilidad de no ser superado, y de cinco órdenes de magnitud para la capacidad de transporte correspondiente al caudal con probabilidad del 50%.

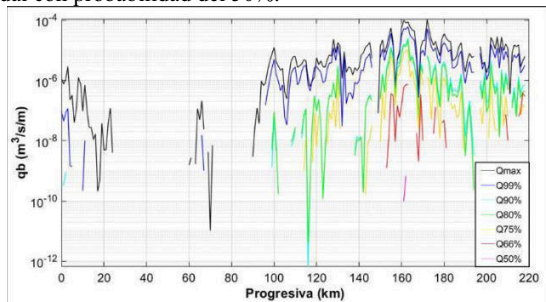


Figura 2.- Capacidad de transporte ( $q_b$ ) para distintos escenarios hidrodinámicos, a lo largo del canal de navegación.

### Predicción de formas de fondo

Para los distintos escenarios hidrodinámicos propuestos se aplicaron las formulaciones publicadas por van Rijn. Se verificó que los escenarios hidrodinámicos de mayor coincidencia entre las alturas de dunas calculadas y observadas correspondieron a caudales entre 80% (7.700 m<sup>3</sup>/s) y 95% (12.400 m<sup>3</sup>/s) de probabilidad de no ser superados (Figura 3).

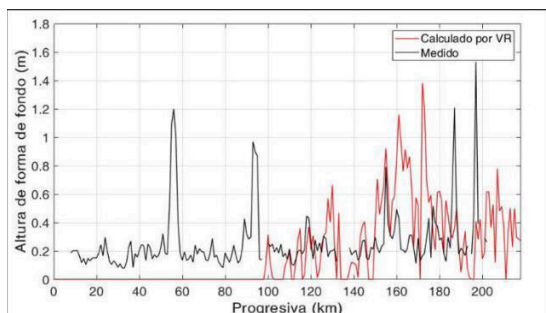


Figura 3.- Alturas de formas de fondo para un escenario hidrodinámico de 90% de probabilidad de no ser superado (9.150 m<sup>3</sup>/s).

Principalmente para los primeros 100 km del tramo analizado, se observaron formas de fondo en lugares donde estas no fueron pronosticadas para ninguna condición, esto se debió a que las tensiones de corte simuladas no superaron los valores críticos para la mayoría de los escenarios hidrodinámicos ensayados. Se constató además que las longitudes de dunas pronosticadas por van Rijn, siempre fueron mayores a las observadas con, al menos, un 100% de error.

## Conclusiones

La combinación de la modelación hidrodinámica con datos sedimentológicos recolectados en campo permitió describir la variación de la capacidad de transporte de sedimentos transportado por el fondo del cauce en el río Uruguay. Desde un punto de vista macro, se destaca la variación espacial en el transporte, con una zona inicial de transporte nulo (km 0 a 100), un aumento hasta el km 168 (pico de transporte) y una disminución y distribución constante hacia aguas arriba. Se destaca además que los caudales entre 5000 y 6000 m<sup>3</sup>/s sería un límite inferior por el cual se produciría transporte de fondo, cuestión que se está analizando con datos de transporte medidos in situ.

Se observa además una coincidencia de baja capacidad de transporte con los pasos de navegación, resaltando la potencialidad de esta metodología para predecir la ubicación de pasos de navegación y la predicción de su comportamiento futuro, su potencial desplazamiento o crecimiento, entre otros fenómenos.

En cuanto a las formas de fondo, se observó la falencia en la predicción general de los valores hacia aguas abajo de Fray Bentos, particularmente debido a que las condiciones hidrodinámicas en esta zona están altamente influenciadas por efecto del río de la Plata. Además, se pudo establecer que la expresión de van Rijn para el cálculo de altura de formas de fondo subestima los valores para condiciones hidrodinámicas medias, siendo efectiva para alturas y velocidades mayores. Esto sugiere que tanto las formas de fondo presentes, como el transporte de sedimentos significativos se corresponden a escenarios hidrodinámicos menos frecuentes que la media. El grupo de investigación se encuentra realizando relevamientos in situ a fin de verificar los resultados preliminares alcanzados.

## Bibliografía

- García M.H. (2008). "Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice". Capítulo 2. American Society of Civil Engineers.
- Junes R., Fossati M., Solari S. (2018). Determinación de los principales patrones de flujo en el río Uruguay y su variación espacio temporal. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina, Septiembre de 2018.
- Hervouet J.M. (2000). TELEMAC modelling system: an overview. *Hydrol. Process.* 14, 2209-2210.
- Nardin A.R.S., Szupiany R.N., Arcelus C.A. (2019). Aplicación de un algoritmo computacional para la determinación automática de dimensiones de formas de fondo en el río Uruguay. VI Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. Paysandú (Uruguay).
- Van Rijn L.C. (1984). "Sediment transport, part I: bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110(19), 1431-1456.
- Van Rijn L.C. (1993). "Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas". Aqua Publications.

## Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Administradora del Río Uruguay por el financiamiento de la Beca CARU del Ing. Rodrigo Junes, y del proyecto "Monitoreo del transporte de sedimentos en el río Uruguay, aguas abajo de la represa de Salto Grande"

## APLICACIÓN DE UN ALGORITMO COMPUTACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE DIMENSIONES DE FORMAS DE FONDO EN EL RÍO URUGUAY

A. R. S. Nardin<sup>1</sup>, R. N. Szupiany<sup>2,3</sup> y C. A. Arcelus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Comisión Administradora del Río Uruguay.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

e-mail: anardin@caru.org.uy

### Introducción

A pesar del grado de avance en el estado del arte en transporte de sedimentos y análisis de formas de fondo, poco se sabe sobre estos temas en el río Uruguay. Particularmente, y en el contexto del desarrollo actual de la vía navegable, esta carencia se hace notoria. A la fecha, y relativo al tamaño de las formas de fondo presentes en el lecho del río, solo existen estudios de ingeniería encargados por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (2004) y la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU, 2010) para el desarrollo de la vía navegable, y como resultado del programa de monitoreo llevado adelante por la CARU (Nardin et al., 2018). En aras de contribuir al conocimiento del río, este grupo emprendió la tarea de caracterizar las formas de fondo del lecho del río Uruguay, en su canal de navegación, a lo largo de los 336 km entre Nueva Palmira y el Puerto de Salto (Uruguay). Dado el volumen de datos batimétricos (perfiles longitudinales) para caracterizar esta variable, surgió la necesidad de contar con una herramienta que permita procesar múltiples relevamientos batimétricos en forma rápida y eficiente en el tramo antes mencionado.

En el presente trabajo se brindan detalles de un algoritmo que permite la detección automática de formas de fondo, como así también la determinación de sus dimensiones características a lo largo del tramo citado del río Uruguay.

### Metodología

#### Área de estudio y relevamiento batimétrico

El alcance de este trabajo comprende el tramo del río Uruguay entre el Km 0 y el Km 336 del canal de navegación (Figura 1). En este sector, el río presenta diferentes características hidráulicas, geomorfológicas y geológicas, que hacen esperable la variación en las formas de fondo a lo largo del área presentada.

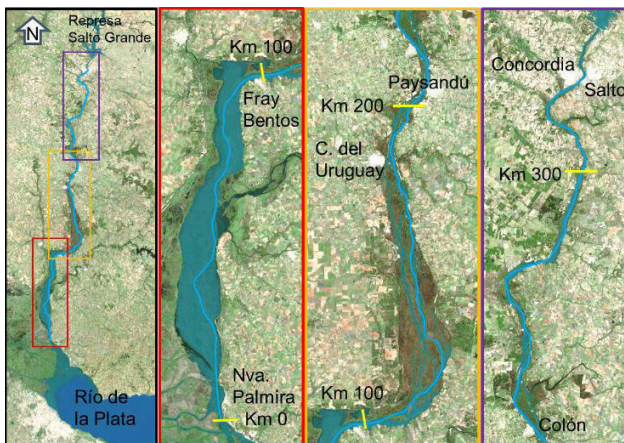


Figura 1.- Canal de navegación en el río Uruguay.

Sobre dicho canal de navegación se cuenta con numerosas mediciones batimétricas longitudinales. A los efectos del presente se utilizaron batimetrías longitudinales relevadas en marzo de 2016, para el tramo entre el Km 0 y el 206, y en marzo de 2018

para el tramo hacia aguas arriba. Cabe señalar que los relevamientos fueron previos al inicio de las tareas de dragado de apertura ejecutadas en el año 2018. Los mencionados relevamientos fueron realizados con una sonda ecógrafa Knudsen 1612, doble frecuencia (33 y 200 kHz) y un GPS Hemisphere Vector v330, con corrección satelital Marinestar®, administrados por el software Hypack®. Con dichos relevamientos se construyó un perfil longitudinal completo del canal de navegación, y sobre dicho perfil se realizaron las operaciones que se detallan en este trabajo.

#### Algoritmo de detección automática

Se desarrolló un algoritmo basado en el trabajo de van der Mark y Blom (2007). De manera simplificada, puede decirse que el algoritmo consiste de dos filtros: el primero tiene por finalidad eliminar la tendencia global del fondo, es decir, si las formas de fondo están montadas sobre barras o sobre geoformas de mayor escala a las producidas por el flujo, el segundo filtro consiste en la eliminación de ruido en la medición. Este último es el más delicado, ya que puede determinar la posición de las crestas o valles, o incluso, hacer imperceptible la presencia de formas superimpuestas (e.g. rizos sobre dunas). Con la señal filtrada se realiza una detección automática de máximos y mínimos locales, distinguiéndolos entre sí. Luego, la longitud de las formas de fondo será la distancia promedio entre dos mínimos locales sucesivos y dos máximos locales sucesivos, y la altura de la duna, la diferencia entre la altura de la cresta y la altura media de los valles. Asimismo, el algoritmo calcula las pendientes de la cara aguas abajo de la forma de fondo, considerando la porción central de los datos entre una cresta y el valle que le sigue hacia aguas abajo.

De esta manera, se obtiene un set de datos de alturas, longitudes y pendientes, para cada forma de fondo, en el tramo en el cual fuera aplicado el algoritmo. Seguido de ello pueden calcularse los estadísticos descriptivos de la serie, que serán válidos para el tramo analizado (máximos, mínimos, medios, desvíos, etc.).

#### Medición manual

A los efectos comparativos, se midió cada 2500 metros, la forma de fondo presente en la progresiva seleccionada. De esta manera, se obtuvieron 134 valores de altura y longitud de forma de fondo. Asimismo, en esta tarea se identificó si la forma de fondo medida correspondía a un rizo, una duna, una duna con rizos superimpuestos o una forma no especificada (que podría indicar la presencia de un afloramiento rocoso, por ejemplo).

### Resultados

Se aplicó el algoritmo mencionado al perfil batimétrico seleccionado. De dicha aplicación se extrajeron las dimensiones características que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resultados algoritmo automático de detección de formas de fondo.

Nro. dunas	Altura (m)				Longitud (m)			
	Med.	Desv.	Máx.	Mín.	Med.	Desv.	Máx.	Mín.
8619	0.50	0.35	3.59	0.15	20.38	15.71	171	2.25

Sobre la base del procesamiento manual, se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla 2.

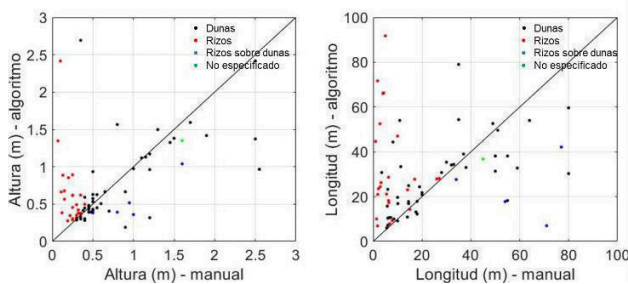
**Tabla 2.-** Resultados de la medición manual de formas de fondo.

Nro. dunas	Altura (m)				Longitud (m)			
	Med.	Desv.	Máx.	Min.	Med.	Desv.	Máx.	Min.
106	0.63	0.64	3.90	0.05	34.08	76.98	606	0.5

De las tablas 1 y 2, puede observarse que el algoritmo tiene un efecto homogeneizador, ya que busca en un rango determinado las formas de fondo. Por este motivo, los resultados presentan un desvío menor, así como también máximos y mínimos menos apartados entre sí.

*Resultados para distintos tipos de formas de fondo*

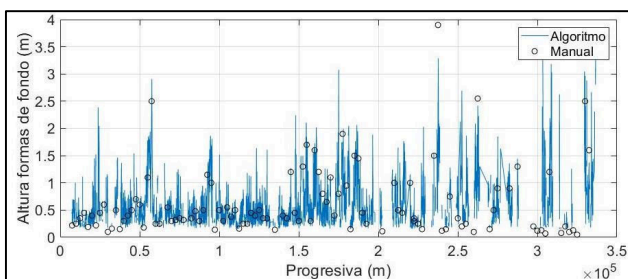
En la Figura 2 se observa la correspondencia entre las dimensiones medidas manualmente y las obtenidas por el algoritmo, para cada tipo de forma de fondo identificada de manera manual. Se observa allí que el comportamiento del algoritmo es bueno para la aplicación en dunas, y presenta una mayor dispersión para las otras formas. La principal explicación de este fenómeno radica en la aplicación del primer filtro grueso, que determina cuáles son las formas de fondo de interés, que para este caso fueron las dunas.



**Figura 2.-** Comparación de dimensiones características de formas de fondo entre la medición manual y la aplicación del algoritmo. Panel izquierdo: alturas, panel derecho: longitudes.

*Perfil longitudinal*

En la Figura 3 se presenta el perfil longitudinal de formas de fondo obtenido tanto manualmente, como por la aplicación del algoritmo.



**Figura 3.-** Perfil longitudinal de altura de formas de fondo obtenidas mediante aplicación del algoritmo y por medición manual.

En dicha figura se observa, además de los resultados del título anterior, la presencia de un sector con mediciones del algoritmo muy por encima de lo medido manualmente, desde la progresiva 290.000 m en adelante. Esto se debe a la presencia de afloramientos rocosos en la zona, que el algoritmo detecta como formas de fondo, pero que manualmente se puede distinguir que no lo son, ayudados

con el conocimiento del sustrato en la zona.

**Conclusiones**

A partir de la aplicación de un algoritmo automático de formas de fondo, se pudo obtener una distribución longitudinal de alturas y longitudes de formas de fondo. Esta información tiene la potencialidad para ser utilizada en el abordaje de estudios asociados a la rugosidad aluvial y al transporte de material de fondo.

Para finalizar, se señala que la aplicación del algoritmo se considera exitosa para el caso de dunas, ya que se obtuvieron resultados válidos, para todo el tramo de río, en un tiempo sustancialmente menor al que insumiría realizar esta tarea manualmente. No obstante ello, cabe destacar que para otras formas de fondo, se debe realizar una implementación del algoritmo, con diferentes filtros, a los efectos de poder obtener con su aplicación el rango de formas de fondo de interés.

**Bibliografía**

**Comisión Administradora del Río Uruguay** (2013). Proyecto De Dragado Y Balizamiento Del Río Uruguay Desde El Km 0 Al Km 187,1, Incluyendo El Canal De Acceso Al Puerto De Concepción Del Uruguay Y Los Canales Entre El Km 187,1 Y El Km 206,8 Puerto De Paysandú.

**Comisión Técnica Mixta de Salto Grande** (2004). Estudios Complementarios de Navegación – Diseño de una Hidrovia Fluvial Desde Punta Gorda (Km 0) Hasta Paso De Los Libres (Km 573) - Desarrollo Regional y Mejora de la Navegabilidad del Río Uruguay.

**Nardin A.R.S., López Weibel C., Szupiany R.N., Arcelus C.A.** (2018). Determinación de dimensiones características, desplazamientos y evolución temporal de dunas en el río Uruguay. *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Buenos Aires, Argentina, Septiembre de 2018.

**van der Mark, C. F., and A. Blom** (2007). “A new and widely applicable tool for determining the geometric properties of bedforms”. CE&M Research Report 2007R-003/WEM-002 ISSN 1568-4652, University of Twente, Enschede, Netherlands.

**Agradecimientos**

Se agradece a la Comisión Administradora del Río Uruguay por el financiamiento del proyecto “Monitoreo del transporte de sedimentos en el río Uruguay, aguas abajo de la represa de Salto Grande”



## ENFOQUE EXPERIMENTAL SOBRE EYECCIONES DE FLUJO EN EL LECHO EN LA RESUSPENSIÓN DE SEDIMENTOS COHESIVOS CON DIFERENTES DENSIDADES EN LECHOS DE GRAVAS

Bustamante N<sup>1</sup>. y Niño Y<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Fluidodinámica, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile, PH (56) 945114011; email: nataliabustamante@ug.uchile.cl

<sup>2</sup> Profesor titular, División de Recursos y Medio Ambiente Hidrico, Departamento de Ingeniería Civil, Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile, PH (562) 29784400; email: ynino@ing.uchile.cl

### Introducción

La geomorfología fluvial de los cauces chilenos tiende a ser de alta pendiente, con granulometrías extendidas, gravas y arenas (Niño, 2002), por consiguiente domina el transporte de fondo sobre el transporte en suspensión. Sin embargo, la actividad volcánica y minera pueden aportar de forma puntual sedimentos finos cohesivos, como pumicita, relave y concentrado de cobre, los cuales pueden ser transportados en suspensión.

Los sedimentos finos pueden transportarse en suspensión si los remolinos turbulentos tienen una velocidad vertical hacia arriba dominante (Bagnold, 1966). Einstein y Li en 1956 fueron los primeros en estudiar las estructuras coherentes cerca de la pared, incluyendo las eyecciones del fluido cerca del lecho (Robinson, 1991). Los incrementos en el tamaño de la rugosidad inducen incrementos en la intensidad vertical de la turbulencia, además las eyecciones fuertes proporcionan la suficiente anisotropía para resuspender el sedimento y promover así la reincorporación del sedimento al transporte en suspensión (Jackson, 1976). Nakagawa et al. (1991) mostraron que las eyecciones en lechos rugosos tienden a disminuir cerca del lecho, sugiriendo además que corrientes secundarias pueden modificar los patrones de eyección.

Bustamante et al. (2017) y Bustamante & Niño (2018) investigaron la dinámica del vertimiento puntual de una mezcla hiperconcentrada de agua y concentrado de cobre en un canal abierto, identificando mecanismos como: suspensión, depositación e infiltración del concentrado de cobre en el lecho. Vale la pena resaltar que la resuspensión del concentrado de cobre decrece en el tiempo. Sin embargo, esto motivó a la pregunta, ¿Es válida esta dinámica para diferentes mezclas hiperconcentradas de agua y sedimentos finos cohesivos? Por esta razón se propuso evaluar el vertimiento puntual de dos mezclas hiperconcentradas de agua con pumicita ( $\rho = 0.7 \text{ g/cm}^3$ ) y concentrado de cobre ( $\rho = 4.2 \text{ g/cm}^3$ ), en canales abiertos con lechos de gravas.

### Materiales y Métodos

#### • Instalación experimental

El montaje experimental es el mismo utilizado por Bustamante & Niño (2018), el cual consta de un estanque de 0.58 m de longitud, 0.03 m de ancho, pendiente variable, además permite medir percolaciones en el subsuelo de hasta 0.48 m y cuantificar de forma independiente el flujo superficial y el flujo subsuperficial (ver Figura 1). Los caudales utilizados en esta investigación están entre 0.01 l/s y 0.1 l/s.

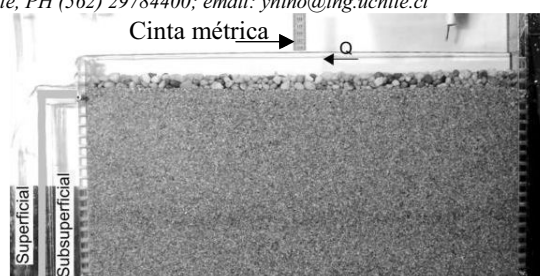


Figura 1.- Montaje experimental y configuración del lecho utilizado para la medición de percolaciones en el subsuelo hasta 0.04 m, flujo subsuperficial y flujo superficial.

La instrumentación del estanque consta con una válvula de entrada y dos válvulas de salida, una para el flujo superficial y otra para el subsuperficial. Además, se cuenta con una cámara Nikon D3200, de 1280 x 720 píxeles, para el análisis de transporte del material fino. Los caudales son aforados volumétricamente para cada experimento. Mediante el procesamiento de imágenes y considerando la cinta métrica gris (ver Figura 1), se midió la lámina de agua y la profundidad de percolación. El análisis granulométrico del material fino, concentrado de cobre y pumicita, se realizó en el Laboratorio de Sedimentología de la Universidad de Chile con el equipo Malvern Mastersizer 2000.

La configuración del experimento es pequeña con el objetivo de evitar el vertimiento de material contaminante al sistema de alcantarillado.

#### • Configuración del sedimento

Con el objetivo de evaluar la percolación estática se configuraron dos capas de sedimento, con gravas gruesas en la capa superficial y arenas o gravas finas en la capa subsuperficial. La capa superficial tiene una profundidad aproximada de 20 mm y un diámetro medio de  $D_g = 10 \text{ mm}$ . El material de la capa subsuperficial tiene una profundidad aproximada de 390 mm, el diámetro medio varía entre 0.7 y 5.7 mm, es decir, desde arena fina hasta grava fina (Figura 2).

Como materiales contaminantes tenemos la pumicita y concentrado de cobre, ambos materiales finos y cohesivos. La pumicita tiene un diámetro medio de 0.11 mm y una densidad de  $0.7 \text{ gr/cm}^3$  y el concentrado de cobre un diámetro de 40  $\mu\text{m}$  y una densidad de  $4.2 \text{ gr/cm}^3$ . Adicionalmente, el vertimiento del material fino se trabaja con una concentración en peso del 57% para la pumicita y del 70% para el concentrado de cobre y son vertidos mediante un embudo con un diámetro de salida de 10 mm durante 6 s, aproximadamente.



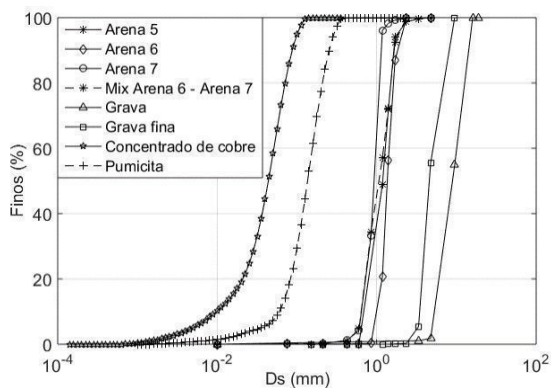


Figura 2.- Curvas granulométricas de la capa superficial, la capa subsuperficial y materiales finos contaminantes.

### Resultados

Al verter la mezcla de agua con pumicita se encontró similitud con la dinámica reportada para el concentrado de cobre, es decir, suspensión, deposición, infiltración. Sin embargo, no hay una disminución en la resuspensión del material fino en el tiempo. Se hallaron estructuras tipo chorro vertical las cuales eyectan de forma puntual el sedimento fino depositado en los intersticios del lecho de gravas (ver Figura 3).

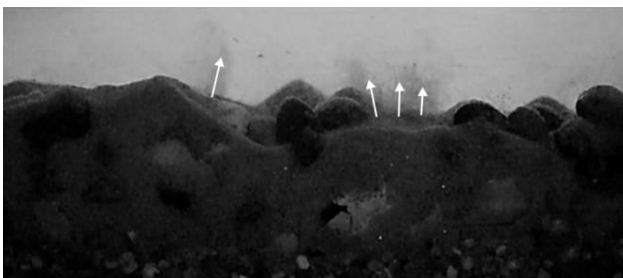


Figura 3.- Eyecciones de flujo y sedimento.

Las eyecciones resuspenden el sedimento fino desde los intersticios de las gravas hacia el flujo superficial, sin embargo, no hay una reincorporación al transporte en suspensión o al transporte de fondo. Es decir, el sedimento eyectado es depositado en la vecindad del punto de eyección y formándose cráteres como formas de fondo. Adicionalmente no se evidencia un avance longitudinal del sedimento de fondo en el tiempo. La Figura 4 es una vista en planta del lecho donde se observan los puntos de eyección y los cráteres asociados a los puntos de eyección de sedimento.

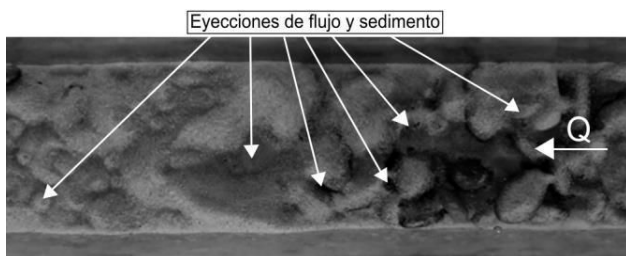


Figura 4.- Vista en planta de las eyecciones de flujo y formas de fondo.

Se encontró también una dependencia entre la granulometría de la capa subsuperficial y la formación de los cráteres asociados a los puntos de eyección, dado que, a menor tamaño del sedimento,

menor porosidad del sustrato por lo tanto menor percolación. Por ende, los intersticios de la capa superficial de gravas es la principal zona de almacenamiento de material fino, generando así mayor disponibilidad de material para ser eyectado. La Figura 5a presenta arenas gruesas en la capa subsuperficial, la capa superficial de gravas presenta una colmatación con sedimento fino y hay afloramiento sobre la capa de gravas de chorros de eyección. La Figura 5b tiene gravas finas en la capa subsuperficial, el sedimento fino retenido en la capa superficial de gravas es menor, y, en este caso, chorros de eyección no afloran sobre la capa superficial de gravas. En la Figura 5c, se tiene arenas gruesas en el sustrato y concentrado de cobre como material contaminante, obteniéndose colmatación de la capa de gravas con el concentrado de cobre, sin embargo, en este caso al tener el concentrado de cobre una densidad alta, las eyecciones que afloraban en la capa superficial de gravas fueron decrecientes en el tiempo, generando así que las tasas de resuspensión de concentrado de cobre disminuyeran en el tiempo.

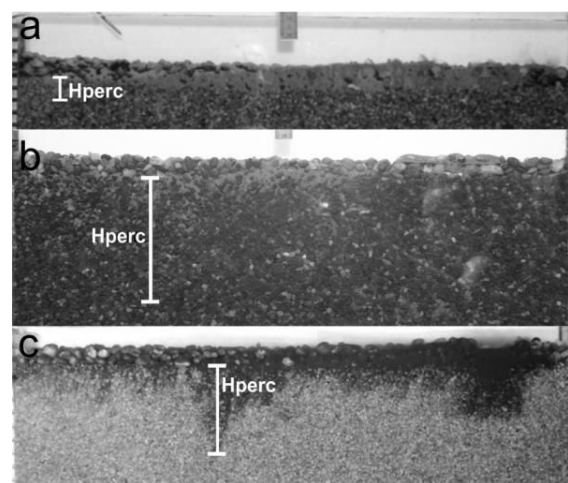


Figura 5.- Zonas de almacenamiento e infiltración para pumicita y concentrado de cobre.

### Conclusiones y Recomendaciones

Las eyecciones del sedimento fino en el lecho, son producto de la saturación de la capa superficial de grava y los primeros centímetros de la capa subsuperficial del lecho con el sedimento fino. El sedimento fino entre los intersticios de las gravas disminuye la permeabilidad y la porosidad inicial, modificando la rugosidad y los parámetros hidráulicos del flujo subsuperficial, generando afloramientos de chorros de agua subsuperficial y que acarrear sedimento fino, que afloran hacia el agua superficial. Se encontró además que, la presencia de las eyecciones varía con la granulometría de la capa subsuperficial y la densidad del material fino. Es decir, granulometrías finas y baja permeabilidad en la capa subsuperficial promueve la presencia de chorros de sedimento desde el lecho y altas densidades de sedimentos, por ejemplo el concentrado de cobre, inducen a la reducción de las tasas de resuspensión del sedimento fino.

Por otra parte, se está implementando la técnica Particle Image Velocimetry con el objetivo de caracterizar el campo de velocidades y las estructuras de eyección de sedimentos.

### Referencias Bibliográficas

Bagnold, R. A. (1966). An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. *USGS Professional Paper*, 42. <https://doi.org/10.1017/S0016756800049074>

# MODELACIÓN FÍSICA DEL NUEVO PUEBTE SOBRE EL RÍO SUQUÍA CON ACCESO A LA COSTANERA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA

Pagot, Mariana; Tarrab, Leticia; Eder, Matías; Hillman, Gerardo; Muratore, Héctor; Patalano, Antoine; Montanari, Cristian; Masso, Leandro; Román Martino, Rodríguez, Andrés y Matías Raggessi

Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina  
mariana.pagot@unc.edu.ar

## Introducción

Este documento, presenta algunos aspectos de la hidrodinámica del flujo en la zona de empalme del modelo físico tridimensional (3D) del nuevo puente sobre el Río Suquia en la ciudad de Córdoba realizado.

El dominio de análisis es un tramo de Río Suquia, con un recorrido de 1 km por la ciudad de Córdoba, que comprende desde el Puente Avellaneda y el Puente Centenario, incluyendo la confluencia con el arroyo La Cañada (Figura 1). El puente en estudio está ubicado inmediatamente aguas arriba de la confluencia entre el Río Suquia y el Arroyo La Cañada, en proximidad del Puente Antártida.

Se utilizó el modelo físico construido en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, sobre el cual se emplazó la estructura del nuevo puente.

El modelo físico hidráulico, donde se realizaron los ensayos, es de tipo tridimensional con semejanza de Froude ejecutado en escala no distorsionada de longitudes 1:40, permitiendo analizar el tramo del Río Suquia, comprendido entre los puentes Centenario y Avellaneda. Este tramo presenta un desarrollo longitudinal de aproximadamente 1000 m, con un ancho efectivo variable de 70 a 280 m en prototipo, incluyendo la desembocadura del Arroyo La Cañada y el parque Las Heras.

[http://www.inv.lab\\_hidraulica.efn.uncor.edu/?p=99](http://www.inv.lab_hidraulica.efn.uncor.edu/?p=99)

El proyecto original de este puente se desarrolla en una longitud de 150 m para el sector vehicular, cuenta con ocho pilas y tres ménsulas. En la zona de emplazamiento de este puente en estudio se produce una expansión del cauce, al incorporarse el puente se observa que las ménsulas ubicadas sobre la margen izquierda del Río Suquia reducen la sección útil generando un efecto similar al de una contracción del flujo.

## Aspectos teóricos

Las transiciones en flujo supercrítico pueden presentar formaciones de ondas cruzadas o resaltos oblicuos. Cuando un flujo supercrítico pasa a través de una contracción con muros convergentes simétricos, como los que se presentan en el tramo de emplazamiento del puente en análisis, pueden aparecer ondas cruzadas, las cuales se prolongan aguas abajo desde el punto donde se presenta el estrechamiento (Figura 2). Por otro lado, cuando el número de Froude es cercano a 1 se produce un flujo ondulado en la superficie del agua e inestable con profundidades y velocidades variables en el área donde se desarrolla el fenómeno (Chow, 1994). Este fenómeno puede ocasionar daños en los contornos del canal.

## Ensayos realizados y resultados

Se realizaron ensayos en condición “sin puente” y “con puente” considerando escenarios de caudales de 345 m<sup>3</sup>/s, 360 m<sup>3</sup>/s y 700 m<sup>3</sup>/s escurriendo por el Río Suquia y 172 m<sup>3</sup>/s y 300 m<sup>3</sup>/s por el

A° La Cañada. En la zona de emplazamiento del nuevo puente se observa que las ménsulas ubicadas sobre la margen izquierda del Río Suquia reducen la sección útil generando un efecto similar al de una contracción del flujo en una longitud de aproximadamente 100 m a partir de la cual se vuelve a expandir la sección transversal (Figura 3). Para comparar los resultados obtenidos en los ensayos realizados se midieron las velocidades superficiales del flujo con la técnica LSPIV (Patalano, 2017), el ancho de cada sección analizada y los niveles de agua.

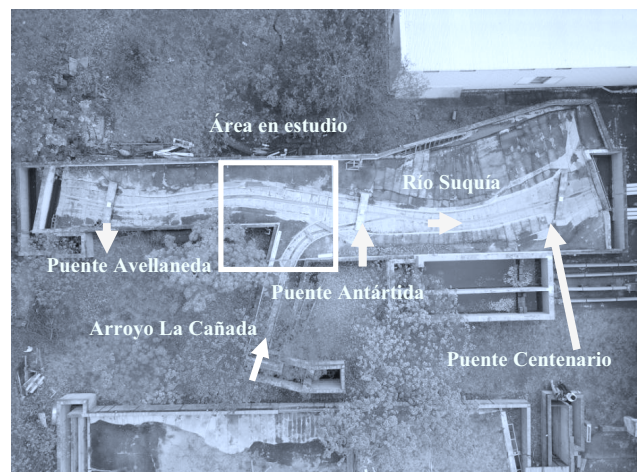


Figura 1.- Modelo físico  $E_L=1:40$  de un tramo del Río Suquia y confluencia del Arroyo La Cañada construido en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEFN-UNC.

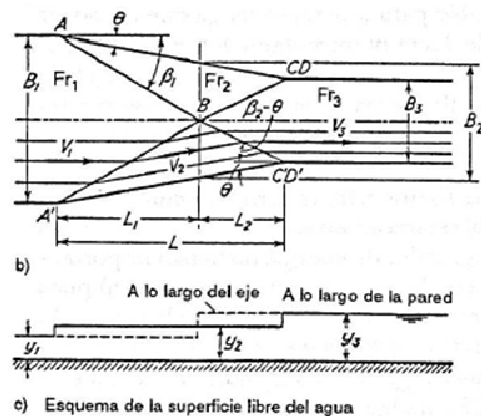


Figura 2.- Ondas cruzadas. Fuente: Chow, 1994.

## Resultados

Por lo expuesto, es evidente que la hidrodinámica del flujo en la zona de estudio es compleja y presenta una combinación de



efectos hidráulicos producidos por la expansión natural del cauce, la contracción producida por el puente y el cambio de régimen de supercrítico a subcrítico aguas arriba del puente para las condiciones ensayadas. Para las condiciones de ensayo con caudal de 345 m<sup>3</sup>/s por el Río Suquía y por el Arroyo La Cañada de 172 m<sup>3</sup>/s, el flujo presenta un comportamiento –cuasi- crítico con números de Froude cercanos a 1 en el inicio del puente. La contracción que generan las ménsulas del puente produce un resalto ondulante débil con un número de Froude cercano a 1 y ondas cruzadas en la zona de emplazamiento del puente (Figura 4).



Figura 3.- Modelo físico  $E_L=1:40$  del nuevo puente sobre el Río Suquía.

El puente produce una contracción del flujo que en este escenario traslada hacia aguas abajo el resalto que se producía respecto de la condición sin puente para condiciones similares de caudales ensayados. Con lo cual, las profundidades en la zona del puente son menores y las velocidades mayores, en las condiciones con puente, respecto de la condición sin puente.



Figura 4.- Ondas cruzadas en modelo físico del nuevo puente.

## Conclusiones

Para los caudales analizados, en la zona de emplazamiento del puente, sin el puente modelado, el flujo es supercrítico en la sección de inicio. Luego se produce un resalto a partir del cual el flujo comienza a ser subcrítico. A partir del resalto, los tirantes aumentan en el cauce debido a que se produce una expansión en la sección transversal con un flujo subcrítico. Las velocidades disminuyen debido al cambio de régimen.

Para el caudal aquí presentado, con el puente modelado, se observó una combinación de efectos hidráulicos producidos por la expansión natural del cauce, la contracción producida por el puente y el cambio de régimen de supercrítico a subcrítico aguas arriba del puente para las condiciones ensayadas. El emplazamiento del puente en el área definida produce una contracción gradual por las ménsulas lo que da lugar a ondas cruzadas, resaltos oblicuos y flujo ondulante en la superficie debido a la condición de número de Froude cercano a 1.

Para esta condición se midieron velocidades con Flowtraker en las longitudes L1 y L2 de la onda cruzada registrando V3: 0.53 m/s y V1:0.45 m/s, con un tirante máximo de 10 cm en el canal principal del Río Suquía. El mapeo de velocidades registrado con la técnica LSPIV se presenta en la Figura 5, observando el patrón de las ondas cruzadas en la zona de inicio del puente modelado.

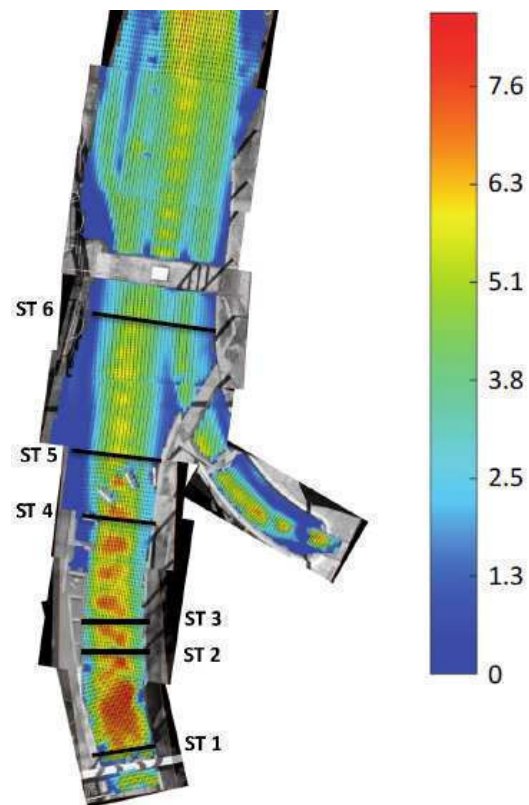


Figura 5.- Mapeo de velocidades con técnica LSPIV en modelo físico del nuevo puente sobre el Río Suquía. (Unidades en m/s)

## Referencias bibliográficas

Chow, Ven Te. (1994) *Hidráulica de Canales abiertos*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.

Laboratorio de Hidráulica – Universidad Nacional de Córdoba (2011) *Modelación física tridimensional Río Suquía. Tramo: Puentes Avellaneda y Centenario*. Informe técnico para la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba. Pág. 111.

Patalano, Antoine (2017) *Desarrollo e implementación en gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre*. Tesis doctorado, Universidad Nacional de Córdoba.

## Agradecimiento

Este documento se realizó en el marco del trabajo contratado por la Consorcio de Cooperación Estructuras- Marinelli – Paschini durante el año 2018. Los autores agradecen, a las empresas mencionadas, por el apoyo brindado.

## ACOUSTIC SEDIMENT ESTIMATION TOOLBOX (ASET): UN SOFTWARE PARA CALIBRAR Y ESTIMAR EL TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN CON ADCP

1<sup>er</sup>. Dominguez Ruben, L.<sup>1</sup>, 2<sup>do</sup>. Szupiany, R.<sup>1</sup>, 3<sup>er</sup>. Latosinski, F.<sup>1</sup>, 4<sup>to</sup>. Lopez Weibel, C.<sup>1</sup>, 5<sup>ta</sup>. Wood, M.<sup>2</sup> y 6<sup>to</sup>. Boldt, J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CONICET-Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, CC 217, 3000 Santa Fe, Argentina. TE: 0342-4575245 int. 153, [ldominguez@fich.unl.edu.ar](mailto:ldominguez@fich.unl.edu.ar)

<sup>2</sup>U.S. Geological Survey, 230 Collins Rd, Boise, ID 83702, USA.

<sup>3</sup>U.S. Geological Survey, 9818 Bluegrass Parkway, Louisville, KY 40299-1906, USA.

### Introducción

La cuantificación del transporte de sedimentos en suspensión sobre cauces fluviales es de gran importancia en diversas disciplinas relacionadas al aprovechamiento de los recursos hídricos como también en áreas de ingeniería fluvial, tales como el diseño de estructuras hidráulicas, mantenimiento de vías navegables, puertos fluviales, entre otras. Los métodos clásicos (muestreadores) utilizados hasta el momento para la determinación del campo de concentraciones y transporte de sedimentos se caracterizan por poseer una resolución espacial y temporal limitada. A su vez, ofrecen una serie de desventajas, tales como elevados tiempos de ejecución y procesamiento en campo y laboratorio, riesgos asociados a maniobras náuticas involucradas (en especial en cauces con elevado tráfico fluvial) y los consecuentes costos elevados para la ejecución de los trabajos de campo.

El surgimiento de la tecnología acústica y el marcado aumento de su utilización de modo indirecto para la estimación de concentraciones de sedimento en suspensión de fondo, han llevado a posicionar a los perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP) como la tecnología emergente con mayores ventajas para el monitoreo hidrosedimentológico. A pesar de la importante cantidad de estudios que relacionan la intensidad de la señal de retorno de los ADCPs y las concentraciones de los distintos tipos de material en suspensión, no existen hasta el momento herramientas que permitan su aplicación, considerando los requerimientos ingenieriles como también para fines de investigación.

En este trabajo se presenta y aplica el código computacional ASET. Dicho código es una herramienta desarrollada en MATLAB® y permite la calibración entre la señal acústica y sedimento suspendido (Modulo de Calibración), basado en la metodología propuesta por Szupiany et al. (2018). Lograda la calibración en el sistema fluvial, ASET estima el transporte total de sedimento en suspensión de fondo (Modulo de Calculo), separando en fracción fina (<63µm) y fracción gruesa (>63µm) a través del uso de mediciones dinámicas con ADCP. Además ASET cuenta con un Modulo Estadístico que mediante la aplicación del metodo de Monte Carlo logra evaluar la incertidumbre introducidas por las variables físicas presentes en el cálculo. Todos estos modulos son aplicados y evaluados en el presente trabajo, utilizando para ello el río Colastiné, cauce secundario del sistema del río Paraná, Argentina.

### Materiales y Metodos

Para la aplicación del código ASET se escogio una sección del río Colastiné sobre un tramo recto cercano a la ciudad de Santa Fe (Figura 1). En esta sección se tomaron muestras de sedimento en suspensión con un muestreador puntual US P-61, siguiendo para ello el método EDI (WMO, 1994) de aforo sólido. Este método divide la sección transversal en 5 verticales asociadas a iguales

incrementos de caudal y en cada una de las cuales se tomaron 5 muestras de sedimento en suspensión a distintas profundidades relativas (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 0.9). En simultaneo a la recolección de muestras sólidas, se tomaron datos con el equipo ADCP Teledyne RD Instrument 1200kHz Río Grande acoplado a un GPS de precisión. Las muestras de sedimento fueron procesadas en laboratorio por medio de filtrado con tamiz 230 (63 µm) y posterior evaporación para la determinación de la concentración y diámetro de ambas fracciones. Cabe destacar que se llevaron a cabo mediciones dinámicas con el ADCP de manera de contrastar el calculo de transporte mediante el software ASET y el metodo tradicional.

El código ASET se encuentra desarrollado en MATLAB® bajo la version de MCR9.05. Para mayor información de tutoriales, citas, versiones y descargas visite el siguiente enlace <https://asetoolbox.blogspot.com/>.



Figura 1.- Regio de estudio, río Colastiné cauce secundario del Sistema Paraná.

### Aplicación y Resultados

Con el objetivo de evaluar los diferentes módulos con los que cuenta ASET, se presenta la aplicación y resultados de cada uno de ellos. El Modulo de Calibración permite la lectura de los archivos PD0 (intensidad de señal, variables electricas) junto a los datos sedimentologicos de la muestras capturadas (diámetro y concentraciones de ambas fracciones y profundidad de muestreo). La calibración acústica permite relacionar la intensidad de la señal capturada y corregida, relacionandola a los parametros físicos de las muestras de sedimento en suspensión extraidas (Szupiany et al., 2018). La Figura 2 contrasta la señal corregida ( $S_T$ ) con la concentración de sedimento de fracción gruesa ( $M_{s2}$ ). Segun lo indica por la bibliografía esta relación debe lograr una pendiente cercana a 0.1 Szupiany et al, (2018) para considerar una correcta correlación. Respecto al numero mínimo de muestras necesarias para realizar la calibración ASET limita a un valor de 6.

Una vez lograda la calibración acústica del sistema fluvial es posible el cálculo del transporte de sedimento en suspensión. Para ello ASET utiliza la ecuación acústica (Szupiany et al., 2018). La Tabla 1 muestra los resultados logrados a partir del uso del Módulo de Calculo el cual permite el cálculo de transporte de sedimento en



suspensión discretizando en regiones medidas y no medidas. Esto último se debe a las limitaciones de los equipos ADCP los cuales no capturan datos en la región cercana a la superficie y cerca del fondo debido al fenómeno de “sidelobe”.

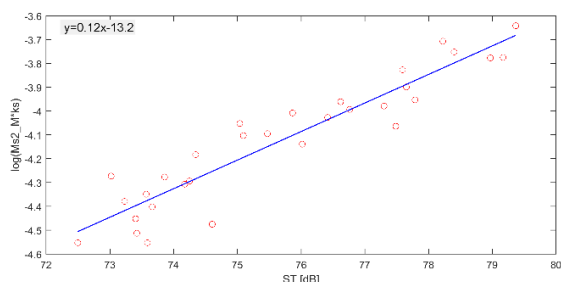


Figure 2.- Resultados de la calibración acústica.

Para las regiones no medidas, el Módulo de Cálculo cuenta con la opción de aplicar diferentes métodos de extrapolación ya sea para la variable velocidad (3pt lineal-LE, Ley de la Pared-LW, Ley del Defecto-DL) o sedimento suspendido (3pt lineal-LE, Distribución de Rouse-RoD). La Tabla 1 muestra un resumen del cálculo para la sección de estudio. El caudal total al momento de las mediciones fue de 2500 m<sup>3</sup>/s. El transporte de sedimento de fondo en suspensión ( $G_{ss}$ ) estimado fue de 32 kg/s, de los cuales 2 kg/s corresponden a la zona superficial no medida, 23 kg/s a la zona medida y 7 kg/s a la zona no medida cerca del fondo. Ambos métodos de extrapolación ofrecen discrepancias menores al 30%, siendo este un valor aceptable para la serie de limitaciones de los métodos tradicionales. La Figura 3 muestra el mapa de colores resultantes de  $M_2$  estimados por ASET. Se destaca de esta figura la elevada resolución espacial resultante de la aplicación de ASET.

Tabla 1.- Resultados de la estimación de transporte en suspensión para sección de calibración.

Sección	Trad.		ASET				Discrepancia	
	$G_{ss_{meas}}$ (kg/s)	$G_{ss_m}$ (kg/s)	RoD- LW	LE	RoD- LW	L E	RoD- LW	(%)
Colastiné	44	23	2	4	7	6	-27	-25

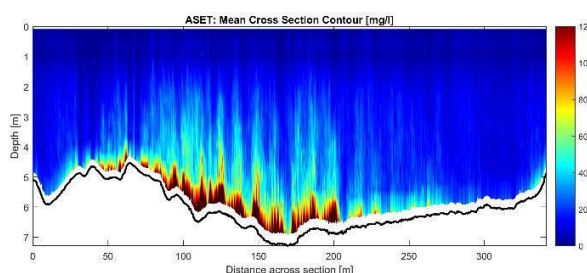


Figure 3.- Mapa de colores de  $M_2$  de la sección de estudio sobre el río Colastiné.

Respecto al Módulo Estadístico o Monte Carlo, su funcionamiento se detalla en Dominguez Ruben et al. (2017). Para su aplicación, en el presente trabajo, nuevamente se utilizó la sección del Colastiné. El módulo evalúa a través de una serie de iteraciones (modificables por el usuario), la incertidumbre que le incorpora 9 variables físicas (temperatura, diámetro fracción fina y gruesa, concentración fracción fina, coeficiente de calibración, calado de equipamiento, profundidad y métodos de extrapolación) que se encuentran en el cálculo de  $G_{ss}$ . De esta manera dicho módulo

“pesa” las incertidumbres incorporadas por cada una de dichas variables. La Figura 4 muestra un resultado del Módulo Estadístico y puede usarse para evaluar la idoneidad de los procedimientos de cálculo de transporte de sedimento. Además retroalimentan a los operadores del ADCP sobre la calidad de sus mediciones, indicando qué variables están contribuyendo en mayor medida en la incertidumbre. Se concluye que el uso de un método computacional como Monte Carlo para cuantificar errores aleatorios es de suma importancia para la validación de la metodología y mediciones.

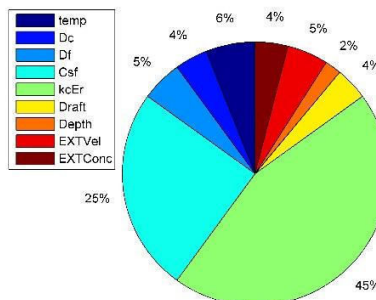


Figure 4. Resultados de porcentaje de incertidumbre arrojados por ASET-Monte Carlo. Función 'Evalue'.

## Conclusión

El presente trabajo describe la aplicación de una herramienta para cuantificar el transporte de sedimentos suspendidos del fondo a través de la señal de retorno de perfiladores acústicos Doppler. ASET utiliza las ecuaciones que describen la propagación del sonido en fluidos considerando las pérdidas y atenuaciones que sufre la señal en su viaje de ida y vuelta. Resultados preliminares (Szupiany et al., 2018) sugieren que teniendo un conocimiento detallado de las características del medio (en especial de los sedimentos presentes en suspensión) y del equipo acústico a utilizar, no se requieren calibraciones específicas para cada ADCP. Mayores estudios se requieren para afirmar dicha hipótesis, evaluando la variación del ruido acústico para diferentes equipos y condiciones del medio.

Cabe aclarar que, por el momento, la metodología en la cual se basa el código ASET, solo es válida para condiciones sedimentológicas (tamaño y concentraciones de la fracción fina y gruesa) en el rango presente en el sistema del río Paraná. Actualmente se están realizando nuevas validaciones, testeando la metodología bajo diferentes características del sedimento y en condiciones de mayor concentración de la fracción fina, lo cual podría afectar/incrementar la intensidad de la señal de retorno. Finalmente, se destaca el avance logrado con esta tecnología a través del código presentado, que permite la cuantificación del transporte de sedimento en suspensión y su distribución en la sección transversal, rápidamente y a bajo costo. Esto posibilitaría mejores diseños de red de monitoreo del transporte de sedimento y avances científicos sobre la dinámica hidrosedimentológica.

## Referencias Bibliográficas

- Dominguez Ruben, L., Latosinski, F., Szupiany, R., Lopez Weibel, C. y Garcia, C.M. (2017). “Aplicación del método Monte Carlo para el análisis de incertidumbre en el cálculo de transporte de sedimento suspendido con ADCP”. V Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, Ezeiza, Argentina.
- Szupiany, R., Lopez Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M., Dominguez Ruben, L., and Oberg, K. (2018) “Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions”. *Earth Surf. Process. Landforms*, DOI: 10.1002/esp.4572.
- World Meteorological Organization (WMO). (1994). “Guide to hydrological practices.” Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications, 5th Ed., Geneva, 176–178.

# ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN AGUAS ABAJO DE CUBETAS DEFLECTORAS CON UN LÁSER SCANNER 3D

Espinoza Ayala María Joselina<sup>1</sup>, González Verdugo José Alfredo<sup>2</sup> y Gutiérrez Torres Benjamín<sup>3</sup>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua<sup>1,2</sup>, Maestría en Ingeniería Civil Hidráulica, Universidad Nacional Autónoma de México<sup>3</sup>  
 Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec Morelos. C.P. 62550<sup>1,2,3</sup>  
 jespinoz@tlaloc.imta.mx<sup>1</sup>, jagonzal@tlaloc.imta.mx<sup>2</sup>, benjamin.gtz.torres@live.com<sup>3</sup>

## Introducción

El presente trabajo estudia la socavación aguas abajo de cubetas deflectoras, para tal finalidad se utilizó el modelo físico de la presa Santa María, éste modelo se encuentra en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), construido a una escala 1:96, sin distorsión. La presa posee dos vertedores de abanico (V1 y V2) conectados a un canal de descarga cuya estructura terminal es una cubeta deflectora con salto de esquí. Para representar el material de fondo se utilizó una grava de 3/4" y 1/4" de diámetro distribuido en la zona de descarga, de acuerdo a la clasificación SUCS el material es una grava mal graduada (GP). La tabla 1 muestra las escalas utilizadas para el modelo físico, la tabla 2 indica las especificaciones de la presa Santa María.

Tabla 1.- Escalas del modelo físico.

Característica	Escala de semejanza	Escala
Longitud	$L_e$	96
Velocidad	$L_e^{1/2}$	9.798
Gasto	$L_e^{3/2}$	90,297.99

Tabla 2.- Especificaciones de la presa Santa María.

Característica	Vertedor 1		Vertedor 2	
	Prototipo	Modelo	Prototipo	Modelo
Tipo	Abanico			
Cresta	Creager			
Gasto máximo [m <sup>3</sup> /s]	10,078.33	0.112	6,882.76	0.076
Estructura terminal	Cubeta deflectora			

Para comparar la profundidad de socavación ( $Y_S$ ) obtenida en el modelo se utilizaron 32 ecuaciones empíricas que estiman el valor de  $Y_S$ , éstas ecuaciones son una recopilación de los trabajos de Whittaker & Schleiss (1984), Bollaert & Schleiss (2003) y Castillo & Carrillo (2017) (citados en Gutiérrez, 2019), los variables que participan en el cálculo son:  $q$ , gasto unitario;  $H$ , carga de energía;  $Y_0$ , tirante del colchón aguas abajo;  $g$ , aceleración de la gravedad;  $\theta_j$ , ángulo de entrada del salto de esquí; y  $d_m$ , diámetro de la partícula. Para determinar la correlación de las ecuaciones se utilizaron los indicadores de Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), Raíz del error cuadrático medio (RMSE) y Error de balance de masas (MAPE).

$$NSE = 1 - \frac{\sum(X - Y)^2}{\sum(X - X_{prom})^2} \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X - Y)^2} \quad [2]$$

$$MAPE = 100 \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X - Y}{X} \right| \quad [3]$$

Donde  $X$  es el valor real;  $Y$ , el valor estimado,  $X_{prom}$  el valor promedio de valor real; y  $n$ , el número de datos.

## Objetivo

Comprobar la aplicabilidad de las ecuaciones empíricas para estimar la profundidad de socavación en el modelo físico, utilizando una grava de 3/4" y 1/4" de diámetro como fondo móvil

y un scanner láser 3D para el levantamiento topográfico de la zona erosionada.

## Materiales y metodología.

En esta investigación se utilizó un scanner láser RS4 Hexagon® Manufacturing Intelligence para obtener la topografía del pozo de socavación, esta herramienta permite obtener una nube de puntos con visualización 3D de una superficie escaneada. Para monitorear los gastos de descarga se colocó un sensor de nivel Siemens® sobre la cresta del vertedor.



Figura 1.- Scanner láser 3D Hexagon® y sensor de nivel Siemens®.

La figura 2 muestra las partes que componen el scanner láser 3D Hexagon®, tiene una capacidad de medición de 752,000 puntos/s con una separación entre puntos de 11µ, el nivel de detalle de la superficie escaneada permite obtener de manera precisa la zona erosionada, inclusive en superficies lisas o irregulares.



Figura 2.- Partes del scanner láser 3D: (a) Scanner, tiene modo escáner y palpado de la superficie; (b) brazo articulado, facilita la manipulación y acceso a zonas estrechas; (c) eje giratorio 360°; (d) batería recargable; (e) base imantada; y (f) modo escáner, la distancia de tolerancia entre la superficie y el escáner es de aproximadamente 15 cm.

La tabla 3 indica los gastos empleados en ambos vertedores, la descarga inició con los gastos menores hasta alcanzar los mayores, para representar la socavación observada en las presas que se caracteriza como un proceso de erosión continuo, no se reconfiguró la zona erosionada al finalizar cada gasto, de esta forma se observó la evolución del pozo de socavación a medida que el gasto aumenta.

Tabla 3.- Gastos utilizados en el modelo físico.

Número de ensayo	Vertedor 1	Vertedor 2
	Gasto [l/s]	Gasto [l/s]
Ensayo 1	25.11	15.74
Ensayo 2	46.15	30.55
Ensayo 3	73.64	50.85

## Desarrollo experimental

En cada descarga se obtuvo una geometría del pozo proporcional a la fuerza erosiva del salto de esquí, con los primeros gastos el pozo del V1 tuvo un ancho de 0.75 y una longitud de 0.3 m,

mientras en el V2 fue de 0.6 m de ancho y una longitud de 0.3 m; al finalizar las pruebas, el pozo del V1 alcanzó una longitud de 1.65 m y del V2 de 1.35 m. La figura 3 muestra una imagen en 3D de la zona erosionada obtenidas con el software del scanner láser. En el levantamiento se alcanzó un promedio de 40 millones de puntos por escaneo, para facilitar la manipulación de la información fue necesario reducir el número hasta 50 mil puntos, durante este procedimiento se tuvo especial cuidado de no eliminar puntos que afecten el relieve del área de estudio. Posteriormente las secciones transversales y el perfil del terreno se obtuvieron exportando una nube de datos en formato .txt y manipularlos en programas con opción de altimetría.

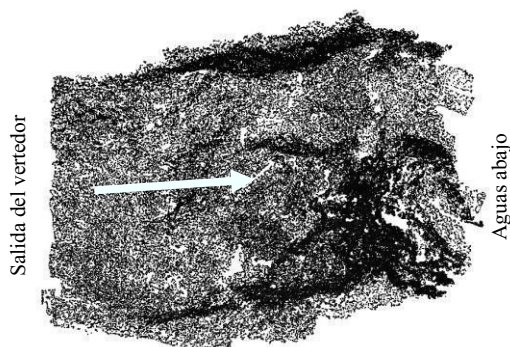


Figura 3.- Vista en planta de la zona erosionada, imagen en 3D obtenida con el software del scanner láser.

La figura 4 muestra el perfil del terreno erosionado del V1 para un gasto de 73.64 l/s. Al obtener el perfil de cada vertedor para diferentes condiciones de gastos se logró encontrar el valor de  $Y_s$ , posteriormente éste valor se comparó con el cálculo de las ecuaciones empíricas, la tabla 4 muestra los valores de  $Y_s$  obtenidos en el modelo físico, mientras en la tabla 5 las ecuaciones cuyos cálculos se ajustan con el medido, sin embargo, para algunos gastos sus resultados no presentaron una buena correlación. Posteriormente se obtuvieron los indicadores mostrados previamente.



Figura 4.- Perfil del terreno erosionado del vertedor 1.

Tabla 4.- Valores de  $Y_s$  obtenidos en el modelo físico.

Vertedor 1		Vertedor 2	
$Q_m$ [l/s]	$Y_s$	$Q_m$ [l/s]	$Y_s$
25.11	0.06	15.74	0.05
46.15	0.60	30.55	0.18
73.64	0.31	50.85	0.35

Tabla 5.- Valores de  $Y_s$  obtenido con las ecuaciones empíricas.

Gasto [l/s]	Jaeger (1939) $Y_s$ [m]	Chee & Kung (1974) $Y_s$ [m]	Mirskhulava (1967) $Y_s$ [m]
Vertedor 1			
25.11	0.11		0.05
46.15			
73.64	0.24	0.32	0.20
Vertedor 2			
15.74	0.09		0.06
30.55	0.15	0.30	0.13
50.85	0.23	0.40	0.27

Tabla 6.- Valores de NSE, RMSE y MAPE de las ecuaciones con mejor correlación

Ecuación	NSE	RMSE	MAPE %
Jaeger (1939)	0.71	0.07	44.42
Chee & Kung (1974)	0.56	0.08	28.96
Mirskhulava (1967)	0.72	0.07	23.27

## Aplicaciones

Este trabajo se centra en la utilización de un scanner láser para obtener la zona erosionada debajo de una obra de excedencias, sin embargo, tiene múltiples aplicaciones en la modelación hidráulica, desde la elaboración de piezas especiales, cuantificación del arrastre de sedimentos o levantamientos topográficos, como es el caso. En el laboratorio de Hidráulica del IMTA su utilización se centra en el levantamiento topográfico a escala del modelo físico, desde la socavación alrededor de pilas de puentes, pozos de socavación y para determinar la erosión y sedimentación en modelos de fondo móvil. El nivel de detalle del scanner permite obtener resultados muy precisos, incluso en zonas de difícil acceso que un equipo convencional no podría lograr.

## Conclusiones

A pesar de la existencia de programas que permiten realizar modelaciones matemáticas con gran precisión, la modelación física sigue siendo una alternativa funcional y confiable para estudiar el funcionamiento de obras hidráulicas, ríos o el arrastre de partículas, en el caso del presente estudio el modelo físico de la presa Santa María otorga varias posibilidades, por ejemplo, el tamaño del modelo que permite observar el arrastre y la formación del pozo de socavación de manera clara. Al ser un modelo con dos vertedores que descargan simultáneamente el tiempo de experimentación se redujo a la mitad permitiendo ensayar con diferentes gastos a la vez. La accesibilidad del área de descarga facilitó una mejor manipulación del scanner láser 3D logrando escanear zonas de difícil acceso como las pendientes o con mayores profundidades. La incorporación de nuevas tecnologías como el scanner láser RS4 Hexagon® Manufacturing Intelligence asegura la obtención de información de manera rápida y con alta precisión.

## Referencias

- Bollaert, E., and Schleiss, A. (2003). Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets Part I: A state of the art review. *Journal of Hydraulic Research*, 41(5), 451-464.
- Castillo, L. G., and Carrillo, J. M. (2017). Comparison of methods to estimate the scour downstream of a ski jump. *International Journal of Multiphase Flow*, 92, 171 - 180.
- Comisión Federal de Electricidad. (2011). *Reporte de resistencia de materiales a compresión, para diferentes combinaciones de agregados y lechada (cemento-yeso-agua)*. México. CFE.
- Gutiérrez, B. (2019). *Socavación aguas abajo de cubetas deflectoras* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Jiutepec, México.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2014). *Estudio en modelo físico del vertedor de la presa de almacenamiento Santa María, Mpio. de El Rosario, en el Estado de Sinaloa*. Jiutepec, Morelos, México.
- Whittaker, J.J., and Schleiss, A. (1984). Scour related to energy dissipators for high head structures. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* (73), 3-73.



## MEDICIÓN DE FLUJO SECUNDARIO EN CANALES CURVOS

Hernán Javier Gómez-Zambrano

Profesor Asociado de la Universidad de Nariño, Colombia  
hgomez@udenar.edu.co

### Introducción

El presente artículo expone una nueva metodología, para estimar el tiempo de ejecución de un experimento usando un Acoustic Doppler Velocimeter Vectrino Profiler II, (ADVVP2) por su acrónimo en inglés, los cuales fueron estudiados en detalle por (Gómez-Zambrano, 2017). El problema en la medición con un ADV es saber cuanto tiempo se deja el dispositivo midiendo un campo de velocidades para obtener resultados consistentes en los perfiles del campo de velocidades.

Para estimar el tiempo de medición (collected time) usando el ADV, se utilizó el concepto de energía cinética turbulenta (TKE), por su acrónimo en inglés. La metodología consiste en calcular el TKE usando las fluctuaciones de velocidad a través del tiempo y comparando los perfiles de TKE uno con otro hasta encontrar una bondad de ajuste entre perfiles consecutivos dados por el software FITEVAL (Ritter and Muñoz-Carpena, 2013), el cual proporciona un criterio coherente para realizar dicha comparación.

Al final se logró establecer un tiempo de medición en cada experimento que fuere práctico y a la vez que cumpla con la precisión deseada.

### Materiales y Métodos

#### Montaje físico

Para realizar la investigación se construyó un canal curvo en acrílico transparente, cosntituido por un tramo recto, seguido de una curvatura y terminando en una salida bifurcada. El fondo del canal es horizontal tanto en el tramo recto como en la curvatura. La geometría del canal se muestra en la Figura 1, cuyas dimensiones son la s siguientes: el ancho del fondo en la alimentación (A) es igual a 0.15m, la profundidad del agua en la entrada del canal de 0.097m, el radio medio de la curva del canal de 0.325m, caudal de 0.0051m<sup>3</sup>/s, el ángulo de curvatura total de 66°, la longitud del tramo recto de entrada antes de la curva de 1.25m; la salida del rebose (R) con un ancho de 0.121m y la salida de descarga (D) con un ancho de 0.025m.

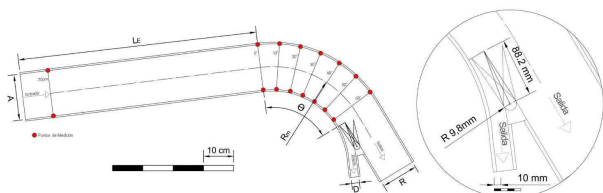


Figura 1.- Esquema de la geometría del canal curvo en planta

#### Dispositivo de medición

Para obtener las mediciones del campo de velocidades en sus tres ejes coordenados, se utilizó un ADVVP2. El efecto Doppler acústico ha sido utilizado ya hace varias décadas, pero solo a partir de la década de los 90 aparecieron los primeros instrumentos comerciales (Craig et al., 2011). Este dispositivo es capaz de medir las tres componentes de velocidad del flujo como son la velocidad axial ( $V_z$ ), radial ( $V_r$ ) y circunferencial ( $V_t$ ). La diferencia con un ADV convencional, es que este mide las componentes de velocidad en un punto, en cambio el ADVVP2 mide un perfil longitudinal completo en la profundidad, hasta una longitud de 0.040 m, con una resolución mínima de un milímetro. En la Fig 2, se muestra la geometría del dispositivo.

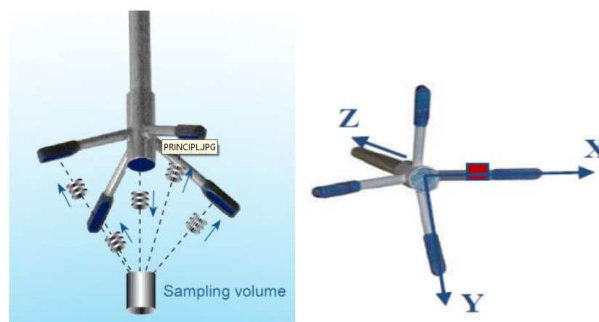


Figura 2.- Geometría y convenciones del ADVVP2 (Nortek USA, 2012).

Para medir el caudal del sistema, se utilizó un DFM 5.0, el cual es un instrumento no intrusivo que permite obtener información del flujo en tuberías mediante el tiempo que tarda cada uno de los pulsos de sonido ultrasónicos emitidos y recibidos desde un transductor a otro. El dispositivo es funcional en diferentes materiales de tubería, aunque no se recomienda para materiales porosos y para casos en los que el fluido contiene más de un 2% de sólidos o burbujas. La exactitud de medición es + 1% del caudal medido y la precisión del instrumento permite obtener datos hasta de cinco decimales (Greyline Instruments Inc., 2016). En la Figura 3 se muestra la geometría de este instrumento.





Figura 3.- Doppler Flow Meter (DFM). (Greyline Instruments Inc., 2016).

### Metodología

La metodología propuesta consiste en medir un perfil de velocidades en sus tres componentes cada milímetro de profundidad, con estos perfiles calcular un solo perfil de TKE, luego se compara cada dos perfiles entre dos intervalos de tiempo consecutivos, como criterio de cuan cercano está uno del otro, se utilizó el criterio de bondad de ajuste dado por (Ritter and Muñoz-Carpena, 2013) en su software FITEVAL programado en Matlab, en el cual se automatizó con código adicional en el presente trabajo, para el llamando de su función principal que calcula la bondad de ajuste entre dos grupos de datos. El tiempo de medición se estima como aquel que cumple un valor establecido de la bondad de ajuste, en este caso, se tomó la probabilidad del índice estadístico denominado, Nash–Sutcliffe efficiency (NSE), donde los valores de probabilidad calculados por FITEVAL se refieren a la fiabilidad del coeficiente NSE obtenido para el grupo de datos comparado. Se estableció como criterio una probabilidad calculada para (Very good) sea del 90%, lo que significa que la bondad de ajuste a los datos tiene un 90% de probabilidad de obtener valores del coeficiente de eficiencia (NSE) entre 0.9 y 1.0. Seleccionando aquellos casos en los que la probabilidad (Very Good) sea  $\geq 90\%$ , quiere decir que se está seleccionando sólo aquellos casos en los que se puede asegurar que el  $NSE=0.9 - 1$  con un 90% de probabilidad. En este sentido se obtiene un tiempo de medición con ese valor de proximidad entre perfiles de TKE.

### Procesamiento y análisis de datos

Se procesó los datos obtenidos según lo propuesto en la metodología, obteniéndose perfiles de TKE como los indicados en la Figura 4, en la cual los perfiles en línea discontinua son los correspondientes a tiempos bajos de medición y los de línea continua son aquellos que cumplen con la bondad de ajuste. Por lo tanto el tiempo de medición se toma del perfil que divide los dos grupos de datos.

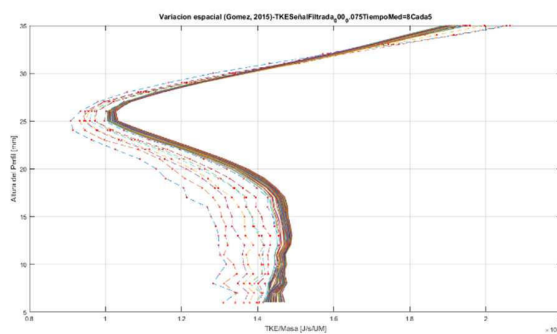


Figura4.- Variación del la TKE en función de la profundidad y del tiempo de medición.

### Discusión

Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos pertenecen a una nueva metodología, y que al ser comparados con los tiempos de medición recomendados por el fabricante del ADVVPI, se encuentra que los valores son un poco mayores a los recomendados, que por lo general son de 15 minutos. Esto se debe a que no es posible estandarizar este tiempo, ya que depende del régimen del flujo, la geometría de la instalación, y condiciones propias de cada ensayo. Como se evidenció al tomar varios perfiles distribuidos espacialmente en la curva del canal, los cuales produjeron tiempos de medición diferentes.

### Conclusiones

Se propuso una nueva metodología para encontrar el tiempo de medición basado en TKM y criterios estadísticos de bondad de ajuste. Los cuales proporcionan valores coherentes del tiempo de medición. Aunque los valores obtenidos son más conservadores con datos de tiempos de medición reportados en la literatura, brinda órdenes de magnitud del tiempo de medición.

### Referencias

- Craig, R.G.A., Loadman, C., Clement, B., Rusello, P.J., Siegel, E., 2011. Characterization and testing of a new bistatic profiling acoustic Doppler velocimeter: The Vectrino-II. IEEE, pp. 246–252.  
<https://doi.org/10.1109/CWTM.2011.5759559>
- Gómez-Zambrano, H.J., 2017. Investigación experimental y numérica del proceso de separación fluido-sólidos usando conductos curvos (Experimental and numerical research of the fluid-solids separation in curved open channels) (Ph.D Thesis). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
- Nortek USA, 2012. Vectrino II A profiling bi-static acoustic velocimeter [WWW Document]. True Innov. Makes Differ. URL [http://www.nortekusa.com/usa/library/data/vectrino-ii-introduction/at\\_download/file](http://www.nortekusa.com/usa/library/data/vectrino-ii-introduction/at_download/file). (accessed 11.1.16).
- Ritter, A., Muñoz-Carpena, R., 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. J. Hydrol. 480, 33–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>

## MEDICIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO SANTA CRUZ EN EL MARCO DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS CÓNDOR CLIFF Y LA BARRANCOSA.

Szupiany R.<sup>1,2</sup>, García M.<sup>2,3</sup>, Hillman G.<sup>3</sup>, Heredia A.<sup>2,3</sup>, Lopez Weibel C.<sup>1,2</sup>, Dominguez L.<sup>1,2</sup>, Diaz Lozada<sup>3</sup>, Ferreira D.<sup>3</sup>, López S.<sup>3</sup>, Yoya F.<sup>1</sup>, Gallego M.<sup>1</sup> y Huespe J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>3</sup> Centro de Estudios y Tecnología del Agua y Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNC  
E-mail: [rszupian@fich.unl.edu.ar](mailto:rszupian@fich.unl.edu.ar)

### Introducción

Los sedimentos transportados por cauces naturales se pueden clasificar como aquellos provenientes de la erosión de su cuenca (fracción fina, limos y arcillas) y aquellos que provienen del propio cauce (fracción más gruesa). Mientras los primeros se transportan predominantemente en suspensión en forma aproximadamente uniforme en la sección con un régimen que depende de las precipitaciones en la cuenca, los segundos presentan una distribución en la vertical, aumentando exponencialmente desde la superficie del flujo hacia el fondo del cauce o bien son transportados en el fondo del lecho por saltación, arrastre o rodamiento. Aquí, la magnitud de su transporte depende de la capacidad de transporte/condiciones hidráulicas de la corriente.

Por lo tanto, la selección de los dispositivos de medición depende del tipo de transporte a evaluar y las características del material presente. Además, se deben considerar las condiciones hidráulicas y morfológicas que limitan su aplicabilidad y aspectos operacionales disponibles (presencia de puentes, cablecarri, embarcación) que, eventualmente, deben readecuarse a los muestreadores necesarios.

En el marco de los aprovechamientos hidroeléctricos Cóndor Cliff y La Barrancosa (ambos en ejecución) localizados sobre el río Santa Cruz (provincia de Santa Cruz), equipos de investigadores de la Universidad Nacional del Litoral y Universidad Nacional de Córdoba vienen llevando adelante trabajos de campo con el fin de analizar el transporte de sedimento y las características del material (granulometría) transportado.

El presente trabajo tiene como objetivo describir las metodologías y equipamientos utilizados para cuantificar el transporte de sedimentos en los ríos la Leona y Santa Cruz, bajo diferentes condiciones hidráulicas y estructurales que limitan el uso de equipos y dificultan y obligan a rediseñar las metodologías de muestreo. Se discuten además las limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías empleadas y equipos utilizados de acuerdo a las características del material que compone el lecho, del transportado en suspensión y las facilidades operacionales disponibles.

### Sitios de medición

Las mediciones se llevan a cabo sobre cinco estaciones de aforo sobre los ríos La Leona (estación La Leona Sur) y Santa Cruz (estaciones Charles Fhur, Condor Cliff, Barrancosa y Piedra Buena) (ver Figura 1).

Las estaciones La Leona Sur y Charles Fhur coinciden con la traza de los puentes correspondientes a la Ruta Nacional N°40, mientras que en las demás estaciones no cuenta con estructuras fijas para la realización de los muestreos, teniendo a disposición embarcaciones de bajo calado que permitan la navegabilidad sobre dichos ríos (Figura 2).

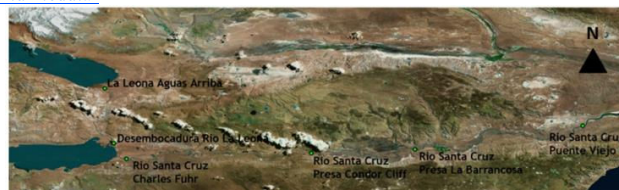


Figura 1.- Zona de estudio y ubicación de secciones de aforo



Figura 2.- Estaciones de aforos desde puente (a): La Leona y (b): Charles Fhur y (c) y (d) embarcación utilizada en estaciones Condor Cliff, Barrancosa y Piedra Buena.

### Metodologías de muestreo

Los aforos de material sólido en suspensión, se realizan mediante el método indirecto, en el cual la concentración media temporal de los sedimentos y la velocidad media temporal de la corriente en el punto se miden casi simultáneamente, con la utilización de dispositivos independientes, esto es, muestreadores y perfiladores de corriente acústicos Doppler, respectivamente. Posteriormente se relacionan entre sí para obtener la cantidad de sedimentos en suspensión transportados en ese instante.

Los aforos de material sólido se efectúan por el método de igual incremento de distancias (EWI en sus siglas en inglés) y de acuerdo a la ubicación de las pila de puente (sobre estación Charles Fhur).

Previamente al muestreo de los sedimentos, se realizan los correspondientes aforos líquidos empleando ADCP de distintas frecuencias, estos son: ADCP Teledyne de 1200 kHz y ADCP Sontek S5 de 3000 kHz. La selección del ADCP varía de sección a sección de acuerdo a la importante variación de las profundidades máximas y a los niveles hidrométricos para cada fecha de medición. Ambos equipos están acoplados con sistemas de GPS.

De acuerdo a las características del material presente en

suspensión, de los equipos disponibles y cuestiones operativas, se realiza una combinación de muestreos mensuales y semanales, de acuerdo al siguiente esquema:

- i) Los mensuales se realizan con muestreadores integradores en la vertical requeridos por la norma ISO, esto es, que cumplan con la propiedad isocinética, los cuales son necesarios para el muestreo de la fracción gruesa (arenas) transportada en suspensión. Para las secciones en donde las mediciones se realizan desde embarcación se utiliza el muestreador puntual Niskin.
- ii) Los muestreos semanales se realizan con muestreador puntual (muestreador tipo Niskin) en estación Charles Fuhr (1 muestra en cercanías a la superficie del agua) focalizándose, principalmente, en las concentraciones del material fino (limos y arcillas) el cual está distribuido uniformemente en la vertical y sección transversal. Para estos casos, los caudales líquidos se obtienen de la curva H-Q que se disponen en las estaciones.

Para la selección del muestreador a utilizar, se consideró las importantes variaciones tanto de profundidad como velocidad del flujo para cada una de las secciones de aforo y la variación de los niveles hidrométricos a lo largo del año hidrológico. Por lo tanto, y teniendo en cuenta lo recomendado por Federal Interagency Sedimentation Project (FISP) de los Estados Unidos (Davis, 2005), los muestreadores utilizados son: US D-96 (Figura 3a) el cual se utiliza para secciones profundas con elevadas velocidades (<https://water.usgs.gov/fisp/products/4101018.html>). De acuerdo a FISP este instrumento permite medir en condiciones con velocidades entre (0.6 a 3.8 m/s) y profundidades máximas de 33.5 m. Para niveles hidrométricos bajos se utiliza el muestreador US D-77 (Figura 3b), el cual está diseñado para menores profundidades y velocidades que el D-96.



Figura 3.- Muestreadores a) US D-96, b) US D-77 y c) Niskin.

Cabe aclarar que dado su peso (de 60 y 26 kg, respectivamente) estos instrumentos requieren de malacates y estructuras especiales para su descenso y ascenso. Por lo tanto, de acuerdo a las características e infraestructura disponible en cada sección de aforo, solo es posible su utilización en las secciones con presencia de puentes.

La metodología de medición propuesta para estas secciones se ajusta a lo recomendado para situaciones como las presentadas (falta de estructuras rígidas, embarcaciones de menor porte, muestreadores de poco peso y/o donde no es posible el anclaje de la embarcación). Si bien no es una metodología estandarizada, es ampliamente utilizada por diferentes instituciones, hidrógrafos y por el grupo a cargo.

La misma consiste en realizar las mediciones con embarcación en forma móvil utilizando el muestreador Niskin, el cual es de simple operación, dado su bajo peso, a través del descenso y ascenso manual con soga. La embarcación navega hacia aguas arriba de la sección de aforo para luego dejarla a la deriva sobre una línea de corriente. Simultáneamente, se sumerge el muestreador a la profundidad deseada yendo a la deriva junto con la embarcación, accionándolo (toma de la muestra) sobre la sección de aforo. Esta operación garantiza el descenso vertical evitando los efectos de arrastre por las altas velocidades del flujo.

Respecto al muestreo del material transportado por el fondo, y de acuerdo al material presente en el lecho del Río Santa Cruz y a las altas velocidades del flujo, los muestreadores de fondo US BL-84 o similar HELLEY-SMITH, presentan una importante complejidad en la operación además de requerir plataformas fijas para el ascenso y descenso. Notar que Davis (2005) recomienda estos instrumentos para velocidades del flujo hasta 2 m/s, menores a las presentes en el río Santa Cruz. Por tal motivo, se propuso evaluar preliminarmente el sedimento que es arrastrado a lo largo del lecho del río, analizando la señal “Bottom Track” de los ADCP a través de mediciones en forma estática y/o dinámicas en diferentes puntos a lo largo de las secciones transversales. Esta función que disponen los instrumentos acústicos ADCP permiten determinar la velocidad de los sedimentos transportados por arrastre y saltación en el lecho del río (la carga de fondo) y pueden ser utilizados para estimar dicho transporte en forma indirecta (Latosinski et al. 2017). En función de los resultados se evaluará el empleo de esta técnica o la factibilidad de la implementación de los muestreadores mecánicos antes mencionados.

## Discusión y Conclusiones

Las particulares características en cuanto al caudal, profundidades y velocidades del flujo de los ríos La Leona y Santa Cruz como así también la infraestructura disponible en cada sección ha llevado a la necesidad de diseñar distintas metodologías de muestreo para la medición del transporte de sedimento en suspensión y por fondo.

Además de la variabilidad que presentan los cursos de agua, existe una limitada disponibilidad de muestreadores de sedimento, no solo por las instituciones participantes, sino también por las instituciones nacionales encargadas de la cuantificación de los recursos hídricos. Este hecho se debe a que cada muestreador presenta un rango de aplicabilidad reducido (profundidad y velocidad del flujo) lo que conlleva a la existencia de una cantidad importante de modelos y a la necesidad de contar un instrumento para cada corriente particular e inclusive para diferentes estados hidrométricos.

Para el caso del sedimento transportado por el fondo del cauce, se planteó una nueva técnica con base en la tecnología acústica para la determinación de movimiento del fondo. Se analizará su utilización para la cuantificación del transporte o bien el empleo de métodos mecánicos.

Por lo tanto, para el caso en estudio, se debió combinar instrumentos y metodologías para cada sección de medición y/o estado hidrométrico, a fin realizar el muestreo con el mayor grado de precisión posible de acuerdo a las características del cauce, velocidades del flujo, infraestructura disponible y seguridad del personal a cargo de las mediciones.

## Agradecimientos

Se agradece al personal de la Unión Transitoria de Empresas Represas Patagónicas – Departamento de Medio Ambiente por la colaboración durante los trabajos de campo.

## Referencias

- Davis, B.E. (2005). *A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers*: Vicksburg, MS, U.S. Geological Survey, Open File Report 2005-1087, 20 p.
- Latosinski F. G., Szupiany R. N., Guerrero M., Amsler M. L. and C. Vionnet (2017). The ADCP's bottom track capability for bedload prediction: Evidence on method reliability from sandy river applications. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54, 124–135.

## EVALUACIÓN EN CAMPO DE MÉTODOS Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES: REGATA DE MEDICIÓN DE CAUDAL CON TÉCNICAS HIDROACÚSTICAS

C. Marcelo García<sup>1,2</sup>, Kevin Oberg<sup>3</sup>, Ricardo Szupiany<sup>4</sup>, José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>, Ana I. Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>, Antoine Patalano<sup>1,2</sup>, Nicolás Guillén<sup>1,2</sup> y Leandro Massó<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> U.S. Geological Survey, 405 N. Goodwin Ave., Urbana, Illinois, United States.

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral – Ciudad Universitaria – Santa Fe.  
cgarcia2mjc@gmail.com

### Introducción

Desde principios de este siglo, se han implementado paulatinamente nuevas técnicas de medición de caudales de flujo en Argentina, en particular las técnicas hidro-acústicas (utilizando perfiladores de corriente acústicos Doppler - ADCP desde plataformas móviles y velocímetros acústicos Doppler - ADV por método de vadeo). Sin embargo, todavía existen áreas de vacancia relacionadas al desarrollo de protocolos de medición estandarizados para cada sistema fluvial (en Argentina) y a los métodos de estimación de incertidumbre de los valores determinados experimentalmente (a nivel mundial). Para superar esta problemática, en los últimos años se han desarrollado en distintas partes del mundo (Alemania, Canadá, Estados Unidos, Inglaterra, Croacia y Francia) regatas de medición de caudales de flujo con técnicas hidroacústicas, las cuales consisten en que diferentes instituciones, con distintos instrumentos, técnicas y operadores se convocan en un tramo de río midiendo bajo las mismas condiciones de flujo. Las regatas internacionales mencionadas se centraron en cuatro objetivos principales presentados a continuación (Le Coz et al. 2016): 1) Verificar que los instrumentos funcionan correctamente, determinar instrumentos y/o técnicas óptimas para las características presentes en el flujo y evaluar el desempeño de los operadores. 2) Capacitación de técnicos y profesionales en instrumentos y metodologías experimentales recomendados para medir los caudales de flujo superficial. 3) Generar y fortalecer los vínculos interinstitucionales entre los principales organismos dedicados a la medición de caudales de flujo. 4) Evaluar empíricamente niveles de incertidumbre presentes en la determinación experimental de los caudales de flujo y evaluar la contribución a esa incertidumbre de los diferentes componentes (instrumentos, condiciones experimentales, recursos humanos, etc.).

### Materiales y Metodologías

En este trabajo se detallan los resultados obtenidos de la primera regata de medición realizada en Argentina con técnicas hidroacústicas. En forma complementaria se evaluó además una técnica de medición de caudales no intrusiva basada en la implementación a gran escala de las técnicas de velocimetría por imágenes de partículas (LSPIV). Esta Regata se realizó en la provincia de Córdoba el 5 de diciembre de 2017 y sus objetivos principales corresponden a los objetivos 1), 2) y 3) mencionados previamente. Organizaron esta actividad el Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA) y Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (CETA-FCEfYn-UNC), el Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos (CIEGRI) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (CIEGRI-FICH-UNL), Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos del Gobierno de la Provincia de Córdoba

(MAAySP Cba), el Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (INA-CIRSA). Kevin Oberg, hidrólogo de la Oficina de Agua Superficial del Servicio Geológico (OSW- USGS) de los Estados Unidos, fue el supervisor de las mediciones.

Participaron de esta actividad las siguientes instituciones que realizan mediciones de caudal en diferentes ríos del país: a) Universidad Nacional de Córdoba (UNC) a través del Centro de Estudios y Tecnología del Agua y el Laboratorio de Hidráulica de la facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (CETA-LH- FCEfYn-UNC), b) Universidad Nacional del Litoral a través del Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (CIEGRI-FICH-UNL), c) Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos del Gobierno de la Provincia de Córdoba (MAAySP Cba), d) Instituto Nacional del Agua (Centro de la Región Semiárida – CIRSA), e) Instituto Nacional del Agua (Centro de Ezeiza), f) Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe (SRH), g) Evaluación de Recursos Hídricos SA (EVARSA), h) Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) «Dr. Eduardo Jorge Usunoff», centro de investigación y servicios de triple dependencia (Comisión de Investigaciones Científica de la Prov. de Bs. As. -CIC-, Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Bs. As. -UNCPBA- y Municipalidad de Azul), i) Instituto de Clima y Agua, CIRN, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Castelar, j) Aguas Cordobesas S.A. Además, participaron de esta jornada alrededor de 40 estudiantes de grado y posgrado de la FCEfYn-UNC

En la regata cada institución realizó mediciones de caudal del río con diferentes instrumentales (13 equipos diferentes). Se utilizaron 6 ADCP de 4 modelos diferentes: S5 (x1) y M9 (x3), fabricados por YSI/SonTek, RiverRay (x1) y Rio Grande de 1200 KHz (x1) de RD Instruments; 5 ADV de tres tipos: FlowTracker 1 (x2) y 2 (x2) de YSI/SonTek y ADC OTT Hydromet (x1). Para la implementación de LSPIV se utilizaron dos modelos de drones: El Mavic Pro (Figura 28 H) y el Phantom 4, ambos de la marca DJI.

El sitio de medición seleccionado para realizar la regata se encuentra sobre el río Tercero (Ctalamochita) en el Puente Alberdi de la ciudad de Villa María, en la Provincia de Córdoba, Argentina (Latitud: 32°25'19.10 "S, Longitud:63°14'40.88"W). El sitio de medición fue seleccionado considerando que este río se encuentra regulado, lo cual permitió tener una previsión del caudal líquido escurrido el día de la regata (aproximadamente 13 m<sup>3</sup>/s erogados por la central Piedras Moras en la parte alta de la cuenca). Para este caudal el sitio de medición posee profundidades máximas de entre 1 a 1,5 m y velocidades máximas de entre 0,80 a 1,2 m/s.

Estas condiciones fueron adecuadas para realizar la medición con diferentes instrumentos de manera segura, y así evitar riesgos a las personas que ingresaban al mismo para realizar mediciones por vadeo. Para la medición con ADV se definió una sección 15 m aguas abajo del puente Juan Bautista Alberdi (XS1). Se seleccionó esta sección debido a que características de la sesión eran las



adecuadas para poder realizar mediciones por vadeo en forma segura (0,66 m de profundidad media y 30 m de ancho). En esta sección también se realizó las mediciones de caudal con la técnica LSPIV. Para la medición con ADCP se definieron 3 secciones con profundidades y características del flujo diferentes. La primera de ellas (XS2) se ubicó 30 m aguas abajo del puente, la profundidad media del flujo era la más baja (0,64 m) y el ancho de dicha sección fue de 30 m. La sección XS3 se materializó 6 m metros aguas abajo de la sección anterior con una profundidad media mayor que la anterior (0,70 m) y 27 metros de ancho. La última sección (XS4) se ubicó 10 m aguas debajo de XS3 con la mayor profundidad media del flujo de las 3 secciones (0,75 m) y 25 m de ancho.

A continuación, se detallan las metodologías experimentales implementadas durante las mediciones en la regata.

**Mediciones con ADCP:** Los distintos grupos realizaron mediciones con ADCP en las secciones XS2, XS3 y XS4. Si bien cada grupo podía elegir una sección para iniciar la actividad, a todos los grupos se les requirió medir en la sección XS4. Al inicio se les entregó también a cada grupo un breve resumen de la metodología a implementar al momento de realizar mediciones con ADCP. Además, se les entregó una guía rápida de sugerencias y explicaciones adicionales de cada tipo de ADCP, según sea RDI o SonTek (dichas guías están en Mueller et al., 2013).

**Mediciones con ADV:** Las mediciones con Velocímetros Acústicos Doppler se realizaron en la sección XS1 dada que era la sección más adecuada en términos de accesibilidad y seguridad para realizar medición por vadeo. En esta sección las distancias de cada localización de medición desde margen izquierda (margen de inicio de todos los grupos) se tomaron mediante el uso de un distanciómetro laser. Se realizaron mediciones puntuales cada un metro aproximadamente, lo que permitió realizar 30 verticales en todo el ancho de la sección. Las mediciones de velocidad se realizaron al 60% de la profundidad si el tirante era menor a 0,5 m y al 80% y 20% si el tirante era mayor a 0,5 m.

**Medición con LSPIV:** Se despejó completamente la sección, se marcaron 4 puntos en la región de estudio lo más espaciados posible (para que ocupen toda el área de la imagen), ubicados en las márgenes sobre la superficie del agua. Dichos puntos son utilizados para rectificar los resultados obtenidos. Debido a las condiciones de flujo analizadas (caudal relativamente bajo) no se encontraban trazadores naturales en la superficie. Por ello se arrojó un trazador al río, en este caso se utilizó viruta de madera, la cual fue sembrada en el flujo aguas arriba del puente por 4 operarios. A medida que el trazador recorrió el área de interés se filmaron dos videos de la sección con dos drones. La estimación de caudal con LSPIV requiere además el relevamiento batimétrico de la sección de interés. Para la determinación del caudal con esta técnica, se utilizó la batimetría relevada con el Flowtracker en la sección XS1.

## Resultados

En esta sección se reportan los resultados de 14 determinaciones de caudal realizadas durante la regata con diferentes técnicas experimentales. El promedio de todas las determinaciones es de 13,9 m<sup>3</sup>/s con un coeficiente de variación del 6%. En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos y se incluye además el intervalo de confianza del 95%. De la evaluación de los equipos utilizados durante la regata se concluye que los ADCPs óptimos para realizar mediciones en el sistema fluvial de estudio en condiciones medias y bajas son los equipos que poseen alta frecuencia acústica (3 MHz para los instrumentos SonTek S5 y M9 presentes en la regata). Se evaluó además la metodología experimental óptima con ADCP (por ejemplo velocidad de movimiento de la embarcación)

recomendando realizar las transectas o cruces de manera lenta y suave con una velocidad de movimiento del bote constante. Además, en la regata se hicieron pruebas midiendo en diferentes secciones observándose que la selección de una sección adecuada (es decir aquella con profundidades adecuadas para el tipo de instrumento, sin cambios bruscos, ni presencia de remolinos u obstáculos) es fundamental para reducir la incertidumbre de las mediciones de caudal en el sistema de estudio.

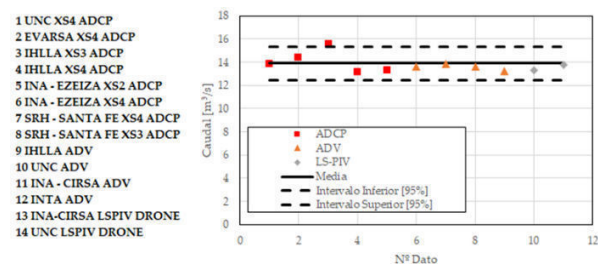


Figura 1.- Comparación entre las diferentes determinaciones de caudal con diferentes técnicas de medición durante la Regata.

En lo que se refiere a la implementación de ADV, la comparación fue muy satisfactoria ya que la diferencia porcentual máxima entre el promedio de caudales de todas las mediciones con Velocímetros Acústicos utilizados en el método por vadeo y cada medición fue de 1%. Finalmente en lo que se refiere a la novedosa técnica LSPIV se obtuvieron resultados muy similares a los obtenidos con otras técnicas con mayor desarrollo tecnológico (ADCP y ADV). La importancia de validar esta técnica en el sistema de estudio, es que la misma puede ser aplicada en situaciones donde no puedan utilizarse las técnicas hidroacústicas (ADCP y ADV) como por ejemplo en condiciones en las que la velocidad del flujo es alta y la medición presenta riesgo para los operarios e instrumentos

## Conclusiones

Se desarrolló por primera vez en Argentina, y en particular en el sistema de estudio, una regata de medición de caudales la cual contó con la supervisión de un especialista del USGS de Estados Unidos. Participaron técnicos e investigadores de más de 10 prestigiosas instituciones a nivel nacional con 2 diferentes técnicas hidroacústicas y técnicas por imágenes de partículas (aspecto novedoso a las regatas que se realizaron en otros países en las que solo se utilizaron ADCP) con diferentes características que generaron mediciones con distintas incertidumbres. La realización de esta actividad permitió un importante avance en la relación interinstitucional entre los organismos que realizan mediciones en el país. Al finalizar la regata se hizo una discusión general sobre los errores cometidos durante las mediciones como así también como solucionarlos y evitarlos en futuras mediciones.

## Referencias Bibliográficas

- Le Coz, J., Blanquart, B., Pobanz, K., Dramais, G., Pierrefeu, G., Hauet, A., & Despax, A. (2016). "Estimating the uncertainty of streamgauging techniques using in situ collaborative interlaboratory experiments". *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(7), 04016011.
- Mueller, D. S., Wagner, C. R., Rehmel, M. S., Oberg, K. A., Rainville, F. (2013). Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat. *US Department of the Interior, US Geological Survey*.

## TRABAJOS DE CAMPOS REALIZADOS EN EL MARCO DEL PROYECTO RELÁMPAGO PARA CUANTIFICAR LOS ESCURRIMIENTOS DURANTE CRECIDAS REPENTINAS

C. Marcelo García<sup>1,2</sup>, Francina Dominguez<sup>3</sup>, José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>, Javier Alvarez<sup>1,2</sup>, Antoine Patalano<sup>1,2</sup>, Carlos G. Catalin<sup>4</sup>, Suján Pal<sup>3</sup>, Carolina Bieri<sup>3</sup>, Sebastián Lopez<sup>1</sup>, Leandro Masso<sup>1</sup>, Darío Ferreira<sup>1</sup>, Lucio Bolatti<sup>1</sup>, Nicolás Guillen<sup>1,2</sup>, Ana I. Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>, Horacio S. Herrero<sup>1,5</sup>, Edgar Castello<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC), FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Atmosféricas. Universidad de Illinois, Urbana, Champaign, EEUU.

<sup>4</sup> Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (CIRSA – INA) Argentina.

<sup>5</sup> Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHI). Humberto Primo 680, Córdoba, Córdoba – Argentina.

<sup>6</sup> Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba - Humberto Primo 607, Córdoba, Córdoba – Argentina.

cgarcia2mjc@gmail.com

### Introducción

Existe gran interés de la comunidad científica mundial en estudiar las tormentas severas que ocurren en la región central de Argentina ya que se considera a esa región un laboratorio natural único, diferente a cualquier otra región del planeta por el contexto geográfico y meteorológico, con tormentas de características únicas. La cercanía de las sierras de la zona de Córdoba y San Luis, la cordillera de los Andes, las características del suelo y disponibilidad de humedad en la atmósfera generan condiciones únicas a nivel global que inducen a promover este tipo de actividades. Por este motivo desde mayo de 2018 hasta mayo de 2019 se implementaron en esta región dos proyectos de investigación de características internacionales denominados:

- RELAMPAGO (cuyas siglas en inglés significan Teledetección de Electrificación, Rayos y procesos de Mesoescala/microescala con Observaciones de Terreno Adaptativas). RELAMPAGO presenta 5 componentes principales: Iniciación de la Convección; Tiempo Severo; Crecimiento de Escala; Actividad Eléctrica; Hidrometeorología.
- CACTI (Cloud, Aerosol, and Complex Terrain Interactions Experiment Proposal). Centra sus intereses científicos en el estudio de las interacciones entre la atmósfera, los aerosoles y la radiación proveniente del sol.

Las actividades que se describen en este trabajo se encuadra en las actividades realizadas en el marco del Proyecto RELAMPAGO financiado principalmente por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF). Participan de este proyecto, investigadores de Argentina, Brasil y Estados Unidos. En particular se describen actividades realizadas en una de las componentes de ese proyecto (hidrometeorología) denominada RELAMPAGO-Hydromet la cual está a cargo de la Universidad de Illinois en Estados Unidos, la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba en Córdoba, el Ministerio de Aguas, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba y el Centro Nacional de Investigación de la Atmósfera de Estados Unidos (NCAR). Esta componente del proyecto tiene como objetivo entender cómo la variabilidad y cambios en la cobertura vegetal impactan la formación de las tormentas en la región, y a su vez, como afectan la respuesta hidrológica (cambiando la probabilidad de inundaciones).

### Materiales y Metodologías

En general, las actividades de esta componente se centraron en la cuenca de aporte del río Carcarañá (incluyendo a sus principales tributarios entre los que se puede mencionar a los ríos Tercero, Cuarto y arroyo Tortugas), debido a su gran importancia regional. En la cuenca del río Carcarañá, se instalaron en conjunto con las autoridades de la provincia, 30 estaciones hidrometeorológicas modernas y 10 estaciones hidrométricas en los tributarios. Para el uso óptimo de la información generada por las estaciones hidrométricas fue necesario realizar aforos durante crecidas para elaborar relaciones H-Q, entre la altura de superficie libre (H medida en las estaciones hidrométricas) y el caudal líquido escurrido (Q) en las estaciones hidrométricas. Las mediciones de caudal se deben realizar en todo el rango esperado de caudales (incluyendo eventos mínimos y máximos) para evitar las incertidumbres asociadas a las extrapolaciones de esas curvas. Es así que en este trabajo se describen las actividades intensivas de campo realizadas para cuantificar los escurrimientos superficiales existentes en los principales tributarios de las cuencas altas de los ríos Tercero y Cuarto de la Provincia de Córdoba durante crecidas repentinas generadas por las tormentas severas que a su vez están siendo estudiadas en detalle por todas las componentes de RELAMPAGO.

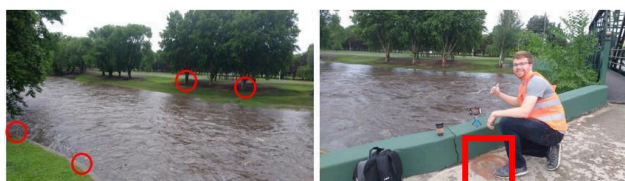
Los ríos montañosos que escurren en las cuencas mencionadas se caracterizan por la ocurrencia de inundaciones repentinas con volúmenes muy altos de flujos rápidos durante la temporada de lluvias (de octubre a abril). Debido a la naturaleza repentina de las inundaciones, es difícil estudiar varias secciones de interés del río usando instrumentos y técnicas adecuadas para registrar el flujo máximo y su evolución temporal durante la inundación. Incluso cuando es posible visitar los sitios de estudio a tiempo, las velocidades de flujo y los desechos flotantes del río ponen en peligro tanto a los instrumentos como a los operadores. Por ese motivo se decidió realizar las mediciones de caudal en el marco del Programa “Cazadores de Crecidas” (Patalano et al., 2015), un esfuerzo de ciencia ciudadana realizado por algunos autores de este trabajo para la cuantificación del flujo en las regiones montañosas de la provincia de Córdoba.

Además la componente RELAMPAGO-Hydromet ha dedicado especial atención a la colaboración ciudadana en el registro de variables de interés para esta componente implementando además otros programas, como por ejemplo el Programa MATTEO que significa en español “Monitoreo automático del tiempo en escuelas y organismos” (dedicado a la memoria del estudiante - científico Matteo Ravagli Cáceres), en el cual se han instalado 31 estaciones meteorológicas en la provincia de Córdoba).

Hasta el momento se realizaron 12 trabajos de campo intensivos incluyendo la definición de sitios favoritos para la implementación

de las técnicas de velocimetría por imágenes digitales, la validación de las técnicas de medición (hidroacústicas y por imágenes digitales) y el monitoreo de crecidas repentinas que incluyen, en algunos casos, la evaluación experimental completa del hidrograma de crecidas.

La definición de sitios favoritos incluye las siguientes actividades: 1) Determinación y estudio de los 4 puntos de control requeridos en cada sector para la rectificación de imágenes digitales registradas (Figura 1); 2) Levantamiento topográfico de la sección seleccionada; 3) Instalación de escalas y/o sensores para el registro del nivel de la superficie libre (Figura 2); 4) Selección óptima del sitio para grabar videos y entrenamiento para grabación de video eficiente (Figura 1 y 2).



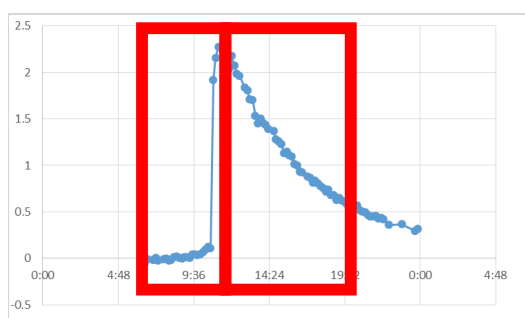
**Figura 1.-** Definición de sitios favoritos para la implementación de la técnica LSPIV en el tramo del Río Santa Rosa en el puente de Hierro (Cuenca Alta del Río Tercero). En círculos se indica los 4 puntos de control y en el recuadro se muestra el sitio óptimo para grabar videos



**Figura 2 .-** Estación hidrométrica en el tramo del Río Santa Rosa en el puente de Hierro (Cuenca Alta del Río Tercero). En círculo se indica el sensor de nivel automático y en el recuadro se muestra el sitio óptimo para grabar videos

## Resultados

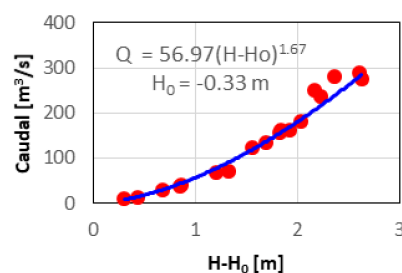
En la Figura 3 se muestra, como ejemplo, el limnigrama registrado por la estación hidrométrica localizada en el tramo del Río Santa Rosa en el puente de Hierro (Cuenca Alta del Río Tercero) durante el evento de crecida repentina ocurrido el día 27/11/2018 que presentó características extraordinarias.



**Figura 3 .-** Limnigrama (nivel en [m]) registrado por la estación hidrométrica localizada en el tramo del Río Santa Rosa en el puente de Hierro (Cuenca Alta del Río Tercero) durante el evento de crecida repentina ocurrido el día 27/11/2018

Durante ese evento se registró un video continuo de alrededor de 20 minutos de duración en la rama ascendente del hidrograma y luego se registraron videos de 1 minuto de duración cada 15 minutos en la rama descendente, realizando de esta forma la evaluación experimental completa del hidrograma de crecidas (Figura 3). Las curvas H-Q elaboradas con los valores de caudal determinados con la técnica LSPIV en base a los videos registrados y su relación con el nivel de superficie (H) registrado por el sensor de nivel se muestran en la Figura 4. Al tratarse de un evento extraordinario, el rango de valores de caudal y nivel de superficie libre es representativo de un amplio rango de condiciones de flujo.

Estas curvas también han sido desarrolladas para todos los tributarios de la cuenca alta del Río Tercero y dos tributarios de la cuenca del Río Cuarto.



**Figura 4.-** Curvas H-Q para la estación hidrométrica localizada en el tramo del Río Santa Rosa en el puente de Hierro

## Conclusiones

Los resultados generados durante las campañas de campo del proyecto RELAMPAGO desarrollado entre octubre de 2018 y marzo de 2019 se ha utilizado de manera intensiva para la gestión de los recursos hídricos en la provincia de Córdoba, siendo esta transferencia realizada desde un proyecto Científico a las autoridades de Gestión un aspecto importante del proyecto, en este caso representada por investigadores del Proyecto RELAMPAGO y el personal a cargo de la gestión de los recursos hídricos en la provincia de Córdoba (Ministerio de Agua, Medio Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba).

Durante uno de los eventos monitoreados en la cuenca alta del río Tercero, (un evento extraordinario que tuvo lugar entre los días 26 y 27 de noviembre de 2018, con un período de retorno de 25 años), la información registrada en el campo se transfirió a las autoridades provinciales en tiempo real, lo que permitió una adecuada Gestión de los volúmenes drenados (válvulas de operación, compuertas, etc.) en los diferentes reservorios del sistema, preservando los valiosos recursos hídricos, vidas y propiedades en la cuenca. Además, con la información registrada durante este evento, se calibraron diferentes modelos (lluvia - escorrentía y escorrentía - escorrentía) y otras herramientas que permiten (junto con la información meteorológica generada por los modelos del proyecto RELAMPAGO) una gestión óptima de los caudales escurridos superficialmente durante 15 eventos hidrometeorológicos en la cuenca. De manera similar, se monitorearon eventos de crecidas en otro de los principales tributarios del río Carcarañá: Río Cuarto. El evento desarrollado en esa cuenca durante el 4/3/2019 también presentó características extraordinarias.

## Referencias Bibliográficas

Patalano, A., Moreno, L., García, C.M., Guillén, N.F., 2015. Desarrollo E Implementación Del Proyecto “Cazadores De Crecidas” En Ríos De La Provincia De Córdoba, n: IV Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica. La Plata, Argentina.

## DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA CUANTIFICAR TRANSPORTE DE SEDIMENTOS CON ADCP EN RÍOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Ana Inés, Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>; Carlos Marcelo, García<sup>1,2</sup>; José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>, Ricardo Szupiany<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. Teléfono: +54 351 5353800; E-mail: [jdil@fcefyn.unc.edu.ar](mailto:jdil@fcefyn.unc.edu.ar)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
[aheredil@hotmail.com](mailto:aheredil@hotmail.com)

### Introducción

El estudio del transporte de los sedimentos en los cursos fluviales es importante porque permite cuantificar los procesos de erosión, deposición, etc., que afectan a la capacidad de conducción del cauce en sistemas fluviales, lo que puede provocar consecuencias negativas a la población de las ciudades aledañas (Heredia, 2017). A pesar de la citada importancia, en Argentina el estudio del transporte de sedimentos está limitado solo a grandes ríos, como por ejemplo el Río Paraná, o bien a casos puntuales por la construcción de alguna obra civil (por ejemplo, presas o puentes).

Considerando que en las últimas décadas se ha producido un importante desarrollo en la tecnología hidro-acústica Doppler (originalmente desarrolladas para cuantificar caudales líquidos) para obtener información sobre el transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas en los cursos fluviales (Latosinski, 2014), y las dificultades en el uso de muestreadores convencionales, en este trabajo se aplican diferentes técnicas para estimar el transporte de sedimento de fondo utilizando un perfilador de corriente acústico Doppler en un curso fluvial de la provincia de Córdoba-Argentina.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo es obtener información sobre el transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas de fondo utilizando un perfilador de corriente acústico Doppler en un tramo del Río Suquía (Primero), ubicado en la provincia Córdoba-Argentina, por medio de tres metodologías diferentes de medición con ADCP (Heredia, 2018).

### Materiales y Métodos

Para obtener información sobre el transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas de fondo se utilizó un ADCP YSI/SonTek RiverSurveyor M9, el cual tiene un haz vertical de 0,5 MHz de frecuencia acústica para la batimetría, y ocho haces inclinados: cuatro de 1MHz y otros cuatro de 3 MHz para medir la velocidad del agua con diferentes resoluciones espaciales de acuerdo a la velocidad y profundidad del flujo. Para este trabajo se utilizaron tres metodologías experimentales diferentes con el ADCP: a) método del lazo (conocida como Loop Method en inglés), b) mediciones estacionarias y c) mediciones dinámicas. La información obtenida en las dos primeras metodologías es el movimiento de las partículas en el fondo mientras que en la tercera metodología es el caudal sólido transportado en el fondo por unidad de ancho.

La aplicación del método del lazo consiste en recorrer la sección midiendo con el ADCP desde una margen a la otra del río y retornar nuevamente al punto de inicio después de un tiempo  $t$ . Al existir movimiento del fondo, el punto inicial y final utilizando de

referencia el seguimiento de fondo (Bottom Track) serán diferentes, y a partir de esta diferencia  $D_{up}$  se calcula la velocidad de fondo móvil  $V_{mb}$  (ecuación 1) como:

$$V_{mb} = \frac{D_{up}}{t} \quad [1]$$

Las mediciones estacionarias (SMBA por sus siglas en inglés de Stationary Moving Bed Analysis) consisten en dejar el instrumento midiendo en una posición fija para evaluar el movimiento de las partículas del fondo en esa ubicación por medio del seguimiento de fondo (Bottom Track), (Latosinsky, 2017). De manera similar que para el método del lazo, al moverse las partículas del fondo, el instrumento va a reportar un desplazamiento ficticio en sentido aguas arriba con el seguimiento de fondo (BT). A partir de esta distancia y el tiempo de medición se calcula una velocidad de fondo móvil característica de esa ubicación. Esto se realiza en distintas localizaciones de la sección transversal. Esta metodología también puede ser utilizada manteniendo el instrumento estacionario durante varias horas para registrar el paso de una duna completa y de esa forma cuantificar el transporte de sedimentos de fondo (no reportado en este trabajo).

Las mediciones dinámicas se utilizan para el seguimiento de formas de fondo, que consiste en comparar repetidos perfiles batimétricos de un conjunto de dunas para estimar una velocidad de desplazamiento de duna ( $u_d$ ), y altura de duna ( $H_d$ ) para luego evaluar el transporte de fondo por unidad de ancho según la ecuación [2] (Van Rijn, 1993).

$$q_b = \rho_{sed} \alpha (1 - P) H_d u_d + C_l \quad \text{Ec. [2]}$$

Donde  $\alpha$  es el factor de forma de la duna, y  $C_l$  representa la porción del material de fondo que no participa en la traslación de la forma de fondo. El valor adoptado de la porosidad en este trabajo fue  $P=0,4$ , mientras que el coeficiente de forma se calculó para cada duna como el cociente entre el área real y el área de un triángulo equivalente de base igual a la longitud de la duna y altura igual a la altura de la duna. El coeficiente  $C_l=0$  ya que se consideró que todo el material de la duna se desplaza en conjunto.

### Resultados

La campaña de aforo se realizó el 02/07/2019 junto con personal del APRHI (Administración de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba). En la tabla 1 se pueden observar el caudal líquido aforado y los parámetros hidráulicos característicos de la sección.

**Tabla 1.-** Parámetros hidráulicos de la sección de aforo en Río Primero (Suquía), Córdoba – Argentina

Q	Ancho	Area	V media	h media
[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m]
7,54	30,9	15,8	0,48	0,59



### Resultados de la Estimación del Transporte de Fondo con el Método del lazo (Loop Method)

A partir del método del lazo se obtuvo que la distancia recorrida por el fondo en el sentido del flujo ( $D_{lp}$ ) fue 3,41m, mientras que la medición tuvo una duración de 136 segundos. Por lo tanto, aplicando la ecuación 1 se obtiene:

$$V_{mb} = 0,03 \text{ m/s}$$

Además, se pudo definir la zona donde hay transporte de sedimentos como aquella a partir de la cual las trayectorias de GPS y BT se dividen. En la Figura 1 se puede observar que el transporte de fondo se da en la zona central de la sección, en una distancia aproximada de 15 m (considerar que el ancho de la sección de estudio es 31 m).

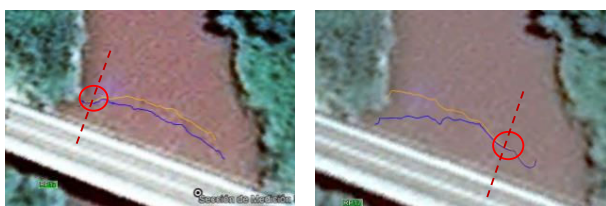


Figura 1.- Trayectorias del método del lazo. Color azul: seguimiento de fondo (BT) y color amarillo GPS. En color rojo se señala el comienzo de la región donde hay transporte (izquierda) y el fin de dicha zona (derecha).

### Resultados de Mediciones Estacionarias

En la tabla 2 se pueden observar los resultados de las mediciones estacionarias (SMBA). En la Figura 2 se puede ver en color rosa la trayectoria ficticia que reporta el instrumento al utilizar el seguimiento de fondo (desplazamiento no real ya que el instrumento esta estacionario).

Tabla 2.- Resultado mediciones estacionarias

Ubicación (Respecto Margen Derecha)	Distancia BT [m]	Tiempo de medición [seg]	$V_{mb}$ [m/s]
8,5	0	300	0
11,5	0	300	0
16,3	13,1	299	0,04
20,7	19,1	299	0,06
Promedio			0,03

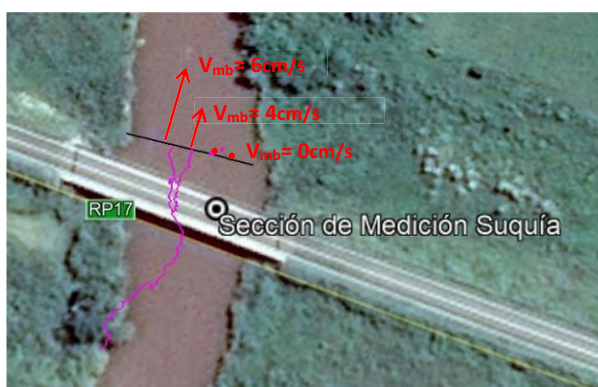


Figura 2.- Trayectorias (ficticias) del método estacionario (SMBA). Color rosa: seguimiento de fondo (BT) ficticio por el movimiento de fondo y en color rojo los vectores de velocidad de fondo ( $V_{mb}$ ).

### Resultados de Mediciones Dinámicas

En la tabla 3 se pueden observar los resultados de las mediciones dinámicas y el transporte de sedimento de fondo.

Tabla 3.- Resultado mediciones dinámicas

Ubicación (Respecto Margen Derecha)	$H_d$ [m]	$L_d$ [m]	$u_d$ [m/h]	$H_d/L_d$	$\alpha$	$q_b$ [Kg/m.s]
16,5	0,15	2,6	3,8	0,06	0,58	0,14
27,6	0,11	2,3	1,6	0,05	0,55	0,05

### Conclusiones

El método del lazo permitió cuantificar la velocidad de movimiento de las partículas en el fondo del río y cómo es la distribución de esas velocidades en la transversal en la sección de medición es decir, mostrando regiones de movimiento prácticamente nulo (cercano a las márgenes) y regiones de mayor movimiento (en la zona central, correspondiente a la mayor velocidad del flujo). Las mediciones estacionarias (SMBA) posibilitaron cuantificar la velocidad de movimiento de las partículas en el fondo del río en diferentes puntos de la sección con una precisión mayor que el método del lazo. Considerando el promedio de las velocidades de fondo obtenidas con este método se obtuvo un valor cercano al del método del lazo. Por último, a partir de las mediciones dinámicas se obtuvo el transporte de fondo en dos ubicaciones diferentes, resultando el transporte también distinto. Esto va en conformidad con la información obtenida con los otros métodos estimando que el transporte de fondo varía en la sección. Así se recomienda utilizar las distintas metodologías en forma complementaria para obtener información sobre el transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas de fondo que sea representativo de la sección de estudio. Finalmente, como resultado de este trabajo se logró la caracterización del transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas de fondo en una sección del río Suquia (Primero) utilizando la mismas metodologías (con perfilador de corriente acústico Doppler) que se aplicaron para el río Ctalamochita (Tercero), trabajo presentado en el VI Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, realizado en el año 2017. Esto demuestra su aplicabilidad a distintos cursos fluviales y la posibilidad de realizar en conjunto campañas de medición de caudal líquido y caudal sólido.

### Referencias Bibliográficas

- Heredia L., A. I. (2017). *Caracterización del Transporte de Sedimentos en un Tramo del Río Tercero (Ctalamochita) utilizando Tecnología Acústica Doppler*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba.
- Heredia L., A. I.; Diaz Lozada, J. M.; García, C. M., Szupiany, R. N.; Latosinski, F. G. (2018). *Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo con ADCP en el río Ctalamochita, Córdoba-Argentina*. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina.
- Latosinski, F. G.; Szupiany, R. N.; García, C. M.; Guerrero, M.; & Amsler, M. L. (2014). *Estimation of concentration and load of suspended bed sediment in a large river by means of acoustic Doppler technology*. Journal of Hydraulic Engineering, 140(7), 04014023.
- Latosinsky, F. G.; Szupiany, R. N.; Guerrero, M.; Amsler, M. L.; Vionnet C. (2017). *The ADCP's bottom track capability for bedload prediction: Evidence on method reliability from sandy river applications*. Flow Measurement and Instrumentation 54 (2017) 124–135.
- Van Rijn, L.C. (1993). *Bed material suspension and transport in steady uniform currents*. Chapter 7 in Principles of sediment transport in river, estuaries, and coastal seas, Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.

## DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE NIKURADSE (Ks) PARA UN CAUCE FLUVIAL

José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>, Francisco Pedocchi<sup>3</sup>, C. Marcelo Garcia<sup>1,2</sup>, Ana I. Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) – Universidad de la Republica - Montevideo, Uruguay.

### Introducción

La determinación del coeficiente de rugosidad (Ks) de un cauce fluvial es fundamental para poder estimar su capacidad de conducción de caudales líquidos, conocer los niveles que alcanza el flujo en cada tramo y de esa forma calibrar los modelos hidráulicos para la gestión del riesgo. En general se puede modelar conceptualmente que la rugosidad del cauce representa procesos relacionados a la rugosidad de piel (que depende del tamaño de los sedimentos en el lecho) y una rugosidad de forma generada por la presencia de formas de fondo. La contribución de la rugosidad de forma es generalmente órdenes de magnitud mayor que la de la rugosidad de piel y la determinación de la misma se hace utilizando ecuaciones empíricas (que incluyen parámetros globales) ajustadas empíricamente si tener en cuenta la física del problema.

### Objetivo

En este trabajo se presenta una alternativa metodológica para la determinación experimental de Ks representando las contribuciones de las formas de fondo. Para ello se utilizan mediciones estacionarias realizadas con ADCP en el río Tercero (Ctalamochita) en la sección ubicada en la localidad de Villa María. Luego se utilizaron los valores de Ks estimados previamente para la modelación hidrodinámica computacional del río Tercero (Ctalamochita) en el tramo urbano de Villa María, la cual muestra una buena correspondencia con los niveles y áreas de inundación observadas durante el evento extraordinario de inundación que ocurrió en dicha localidad en febrero – marzo de 2014.

### Materiales y Métodos

La realización del trabajo experimental descrito en este artículo fue llevada a cabo en el río Tercero (Ctalamochita) en la sección ubicada en el Puente Alberdi de la localidad cordobesa de Villa María (32°25'19.16"S; 63°14'40.82"O) para 4 condiciones de flujo que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.- Condiciones de flujo medidas

Condición	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Vel. Media [m/s]	Prof. Media [m]	Δ Altura de duna [m]	λ long de duna [m]
1	113,85	1,23	1,97	0,40	4,49
2	65,84	1,15	1,43	0,48	5,63
3	24,90	0,80	0,80	0,16	1,85
4	18,89	0,73	0,74	0,24	2,07

Las mediciones, cuyos resultados se muestran en este trabajo, se llevaron a cabo con un ADCP YSI/SonTek S5 diseñado específicamente para aguas poco profundas. La metodología experimental empleada en este trabajo consistió en dejar estacionario este equipo en una localización el tiempo suficiente para que pase una duna completa por esa localización (aproximadamente entre 3 y 4 horas). Así se pudo caracterizar como varía el campo de velocidades de flujo a lo largo de la duna. En la

Figura 1 se muestra la evolución temporal del lecho (pasaje de una duna) y el campo de velocidades presente para la condición de flujo N°3 de la tabla 1.

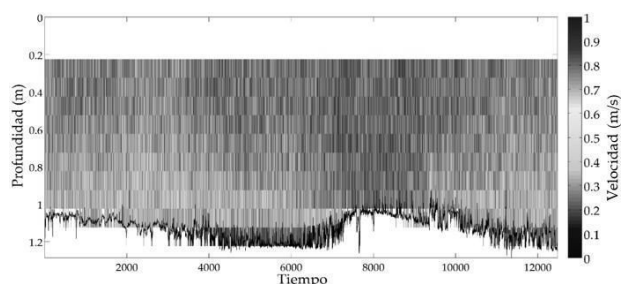


Figura 1.- Campo de velocidades para la condición N°3 Q: 25 m<sup>3</sup>/s (modulo del río).

Sobre la base de esta información, se procede a promediar longitudinalmente sobre la duna, todas las celdas de velocidad que se encuentren a la misma profundidad respecto a la superficie libre del agua, obteniéndose un perfil como se muestra en la Figura 2.

Una vez obtenido el perfil medio en la longitudinal se ajusta un perfil potencial dado por la ecuación de Manning-Stricker (García, 2008)

$$\frac{u_{p(z-d)}}{u_*} = C_1 \left( \frac{z-d}{k_{sforma}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad [1]$$

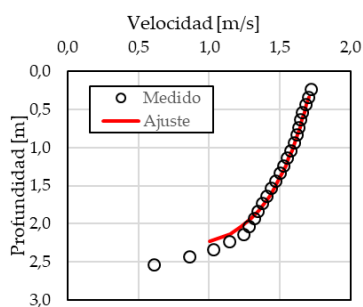
Donde  $u_{p(z-d)}$  es la velocidad a una determinada profundidad respecto una distancia “d”. En este trabajo se adopta el origen de z en la base de la duna y  $d = 0.9 k_{sforma}$ . A partir del ajuste del perfil promediado se obtiene por iteración el valor de d, la velocidad de corte ( $u^*$ ) y  $k_{sforma}$ . Se dice que el proceso es iterativo ya que se realiza el ajuste por primera vez, se obtiene un valor de d se descartan los valores por debajo del mismo y se vuelve a realizar el ajuste hasta converger en los valores de d,  $k_{sforma}$ , y  $u^*$ . Finalizado este proceso, a través del valor de  $k_{sforma}$  se puede obtener el valor de n de Manning necesario para realizar las modelaciones hidráulicas con la ecuación de Manning Stricker (García, 2008).

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{8,1 g^{1/2}} \quad [2]$$

### Resultados

En la Figura 2 se muestra el perfil de velocidad promediado en la longitudinal ajustado para la condición 3. Es importante destacar que los valores de velocidad por debajo de “d” fueron descartados del ajuste. También se han descartado, en todas las condiciones, las celdas cercanas a la superficie, ya que las mismas presentan valores de velocidad perturbados debido a la intrusión del instrumento en

el agua.



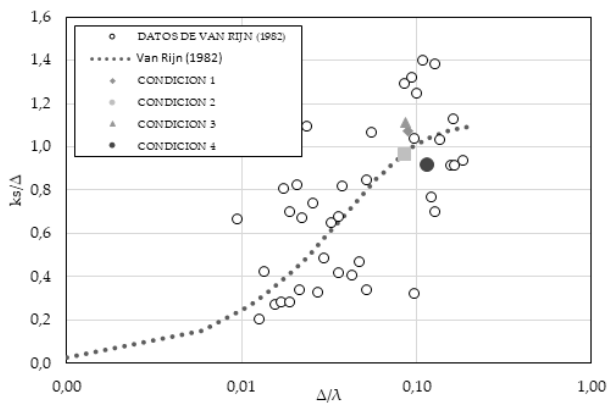
**Figura 2.-** Perfil de Velocidades obtenido y ajustado para la condición de flujo N° 3.

En la tabla 2 se muestran los valores de  $d$ ,  $k_{s\text{forma}}$ , y  $u^*$ , para cada condición de flujo .

**Tabla 2.-** Valores de  $d$ ,  $u^*$ ,  $k_s$  y  $n$  obtenidos del ajuste de perfiles potenciales de velocidad obtenidos de mediciones estacionarias realizadas con ADCP

Condición	$d$ [m]	$U/u_*$ obs.	$k_s$ forma [m]	$k_{s\text{forma}}/\Delta$	$\Delta/\lambda$	$d/k_{s\text{forma}}$	$n_{\text{forma}}$
1	0,39	8,7	0,43	1,07	0,09	0,90	0,034
2	0,42	8,8	0,47	0,97	0,09	0,90	0,035
3	0,16	11,9	0,18	1,11	0,09	0,90	0,030
4	0,20	9,1	0,22	0,92	0,12	0,90	0,031

Finalmente se comparan los valores obtenidos con los reportados por Van Rijn (1982). En esta comparación se observa una buena correspondencia entre los valores reportados por ese autor y los obtenidos con esta metodología (figura 3).



**Figura 3.-** Valores de  $k_{s\text{forma}}/\Delta$  vs  $\Delta/\lambda$  graficados junto a los valores de Van Rijn (1982)

Con los valores de rugosidad obtenidos en estas mediciones se realizaron ajustes en el modelo hidrodinámico HEC-Ras 2D existente para el Río Tercero (Ctalamochita) en la localidad de Villa María (figura 4). En la figura se muestra una modelación del evento de crecida del año 2014 que inundó principalmente al barrio Vista Verde. La condición representada en esta figura corresponde a un caudal de  $375 \text{ m}^3/\text{s}$  según el modelo ajustado mientras que el caudal medido en la sección del puente Alberdi fue  $340 \text{ m}^3/\text{s}$ . Es importante destacar que el río desbordó aguas abajo del barrio, lo

cual no fue contemplado en la modelación por falta de batimetría.



**Figura 4.-** Campo de profundidades a lo largo del tramo Villa María para el caudal de  $375 \text{ m}^3/\text{s}$  - HEC RAS 2D. En la figura también se muestra una imagen área del Barrio Vista Verde, seriamente afectada por la inundación de febrero de 2014.

## Conclusiones

En este trabajo se desarrolló y se evaluó una metodología alternativa para determinar el coeficiente rugosidad del cauce debido a las formas de fondo utilizando datos de velocidad y batimetría obtenidos de mediciones estacionarias con ADCP. La ventaja de esta metodología es que permite estimar la rugosidad del cauce de manera experimental en campo y no estimarla a través de ecuaciones como puede ser la de Van Rijn (1982). Cabe destacar que las formas de fondo en la sección analizada se mueven más rápidamente que las formas de fondo en otros ríos por ej. Paraná, por lo que en dicho caso en vez de utilizar mediciones estacionarias se podrían utilizar datos de velocidad obtenidos en un recorrido longitudinal a lo largo de la duna. Dicha metodología se encuentra en desarrollo, por lo que en trabajos futuros se incorporaran análisis de otros ríos. El trabajo realizado tiene aplicación práctica, ya que dicha información fue utilizada para calibrar un modelo hidrodinámico del río Tercero en un tramo que escurre frente a una localidad para evaluar los niveles de inundación para diferentes condiciones hidrológicas.

## Referencias

- García, M. H. (2008).** "ASCE Manual of Practice 110—Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice". In World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns (pp. 1-4).
- Van Rijn, L. C. (1982).** "Equivalent roughness of alluvial beds". Journal of Hydraulic Division, ASCE, 108(10), 1215-1218.



## CUANTIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN CUENCAS ESTRATÉGICAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Erica Díaz<sup>1,2</sup>, Horacio Herrero<sup>1,2</sup>, Tomas Vaschalde<sup>1,2</sup>, Daniela Romero Arijón<sup>1</sup>, Gabriel Carnicelli<sup>1</sup>, Matías Ragessi<sup>2</sup>, Carlos Marcelo García<sup>2</sup>, Antoine Patalano<sup>2</sup>, Juan Pablo Brarda<sup>1</sup>, Edgar Castelló<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) Humberto Primo 680, Ciudad de Córdoba, Córdoba – Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba - Humberto Primo 607, Ciudad de Córdoba, Córdoba – Argentina.  
e-mail: [hsherrero@yahoo.com.ar](mailto:hsherrero@yahoo.com.ar)

### Introducción

Desde la creación de APRHI en el año 2018, el Departamento de Servicios Hidrológicos de esta Administración, puso como objetivo principal incrementar la cuantificación experimental de los recursos hídricos superficiales de las principales cuencas estratégicas de la provincia de Córdoba, desde el momento de la precipitación, niveles en ríos, y cuantificación experimental de caudales para elaboración de curvas Altura-Descarga. De esta forma se logra obtener mayor información de la distribución espacial y temporal del agua disponible en la provincia.

### Objetivo

El objetivo del trabajo es presentar un resumen de las actividades realizadas desde APRHI en relación a la cuantificación experimental de los recursos hídricos superficiales de las principales cuencas estratégicas de la provincia de Córdoba.

### Estaciones Meteorológicas

La red provincial de estaciones meteorológicas, actualmente posee 129 estaciones automáticas con telemetría, de las cuales 53 pertenecen al Ministerio de Servicios Públicos, 3 pertenecen a EPEC (Empresa Provincial de Energía de Córdoba), y 54 al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la Provincia de Córdoba.

Estas estaciones (Figura 1) poseen sensores para registrar las siguientes variables: precipitación, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, presión. Cuentan con un sistema de telemetría GPRS y un equipo de alimentación conformado por un panel y baterías. Transmiten datos cada 10 minutos.



Figura 1.-Estación Meteorológica Automática Cuenca río Colanchangea

### Estaciones Limnimétricas

Desde APRHI se instalaron durante el año 2018 11 estaciones automáticas de nivel con tecnología radar y con telemetría en diferentes ríos de la provincia. Estos sensores (Figura 2) miden la distancia hasta la superficie libre del agua, y transmite vía GPRS un dato cada 10 minutos. Los ríos donde se instalaron nuevos sensores de nivel se enumeran en la Tabla 1:

Tabla 1.-Localización de nuevos sensores de nivel

Río	Cuenca
San Pedro	Los Molinos / Xanaes
Del Medio	Los Molinos / Xanaes
Los Reartes	Los Molinos / Xanaes
Santa Rosa	Embalse Río III
Quillinzo	Embalse Río III
La Cruz	Embalse Río III
Tercero (azud San Marcos)	Ctalamochita
Carcarañá (Inrville)	Carcarañá
Canal San Antonio	Carcarañá
Alpa Corral	Chocancharava
Piedras Blancas	Chocancharava



Figura 2.-Sensor de nivel en el Canal San Antonio

### Cuantificación de caudal superficial

La cuantificación experimental de caudal superficial mediante el uso de modernas técnicas de medición. Estas tareas se realizan en distintas cuencas estratégicas de la provincia de Córdoba, que incluyen los ríos tributarios a Embalses San Roque, Cruz del Eje, Río Tercero y La Quebrada, tributarios a Mar Chiquita y Laguna



La Picasa, y los ríos: Cuarto y Anizacate. Sumado a estas mediciones, se realizaron en conjunto con la UNC aforos de caudal de los tributarios a Embalse Los Molinos, Cuenca media y baja de los ríos Tercero, Saladillo y Carcaraña.

Las técnicas experimentales empleadas son las siguientes:

#### *Perfilador de Corriente Acústico Doppler*

También denominado ADCP, por sus siglas en inglés. APRHi cuenta con un ADCP modelo River Surveyor M9 fabricado por la empresa Sontek (Figura 3). Este equipo, montado en un bote junto con los demás dispositivos complementarios permite obtener el valor de caudal superficial en el caso de cursos con profundidades superiores a los 30 cm.



**Figura 3.-** Medición de caudal mediante el uso de un Perfilador de corriente acústica Doppler

#### *Velocímetro Acústico Doppler*

También denominado ADV, por sus siglas en inglés. Este equipo permite realizar aforos por vadeo en aquellos cursos de agua pequeños, con profundidades menores a los 30 cm, o en canales de riego. APRHi posee seis ADV modelo Flow Tracker II fabricado por la empresa Sontek (Figura 4).



**Figura 4.-** Medición de caudal mediante el uso de un Velocímetro Acústico Doppler

#### *Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala*

También denominado LSPIV por sus siglas en inglés. Es una moderna técnica experimental con gran potencial para el monitoreo de diversos flujos superficiales en cauces naturales de manera remota (no intrusiva), mediante la cual pueden estimarse caudales escurridos superficialmente en cursos fluviales en condiciones extremas (ver Figura 5) tanto de manera discreta como continua en el tiempo (Patalano et. al, 2016). En la provincia de Córdoba se están definiendo estaciones de medición (denominadas sitios favoritos) en los cuales están definidos puntos de control y posición donde debe ubicarse la cámara.



**Figura 5.-** Medición de caudal en condiciones extremas mediante el uso de Velocimetría por imágenes de partículas a gran escala

Durante el año 2018 se realizaron cerca de 100 campañas de aforo de caudales a lo largo de 9 cuencas hidrográficas de la provincia: río Suquia (Primero), río Xanaes (Segundo), río Ctalamochita (Tercero), río Chocancharava (Cuarto), río Popois (Quinto), Laguna La Picasa, río Cruz del Eje, río Pichanas, y río Dulce.

## Resultados

Como resultado de las actividades descritas anteriormente, se presenta un sitio web que incluye los datos reportados por las estaciones automáticas, tanto meteorológicas como limnimétricas. La página web donde pueden ser consultados estos datos es la siguiente: <https://new.omixom.com/>

La frecuencia de los aforos de caudal en la mayoría de los puntos fue estacional (cada 3 meses), lo que permitió registrar distintos rangos de caudales, y en colaboración con la UNC se están elaborando nuevas curvas Altura-Descarga en sitios donde se han instalado recientemente sensores de nivel, y se están optimizando curvas existentes.

## Conclusiones

Se concluye que, instrumentando las cuencas de la provincia de Córdoba y con la adquisición de instrumental de última tecnología, fue posible mejorar la cuantificación experimental de los recursos hídricos superficiales de las principales cuencas estratégicas de la provincia de Córdoba., reduciendo la incertidumbre y los tiempos de medición y procesamiento.

Los resultados de estas campañas permitieron generar curvas altura caudal (H-Q), optimizar la implementación de modelos de manejo de embalse y complementar monitoreos de calidad.

## Referencias Bibliográficas

Patalano, A.; Guillén, N.; García, C.M.; Herrero, H.; Pedocchi, F.; Chreties, C.; Vilaseca, F.; Mosquera, R. (2016). Lspiv, una técnica alternativa de bajo costo para la cuantificación de caudales extremos en ríos de latinoamérica. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

## RELEVAMIENTOS TOPO-BATIMÉTRICO DE PEQUEÑOS EMBALSES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Horacio Herrero<sup>1,2</sup>, Tomas Vaschalde<sup>1,2</sup>, Daniela Romero Arijón<sup>1</sup>, Gabriel Carnicelli<sup>1</sup>, Erica Díaz<sup>1,2</sup>, Leandro Bianchi<sup>3</sup>, Juan Pablo Brarda<sup>1</sup>, Edgar Castelló<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) Humberto Primo 680, Ciudad de Córdoba, Córdoba – Argentina. <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba - Humberto Primo 607, Ciudad de Córdoba, Córdoba – Argentina.  
e-mail: [hsherrero@yahoo.com.ar](mailto:hsherrero@yahoo.com.ar)

### Introducción

Muchos de los reservorios de agua de la provincia de Córdoba fueron construidos desde la década del 40 hasta finales de la década del 70. Desde entonces, la mayoría de estos embalses carecen de datos actualizados de su capacidad. Esta información es importante para un correcto manejo del embalse y planificar su uso consuntivo.

El Dique la Falda está localizado al oeste de la ciudad homónima, y es una obra concluida en el año 1,979 para solucionar los problemas de agua potable de la ciudad de La Falda y para atenuar las crecientes del Río Grande de Punilla, río del cual toma sus aguas. El paredón del Dique La Falda tiene una altura de 26 m y una longitud de 126 m, con una capacidad original de 0.8 Hm<sup>3</sup>. Con el objetivo de estimar la vida útil del Dique La Falda en base a la cuantificación de la producción de sedimentos en las cuencas de aportes, el Instituto Nacional del Agua, a través del Centro de la Región Semiárida (CIRSA), realizó en el año 2,010 los Estudios Básicos de Caracterización de Sedimentos y Batimetría en el Embalse del Dique La Falda. Como resultado de este estudio, el volumen del embalse a cota del labio de vertedero más bajo fue de 0.45 Hm<sup>3</sup>. En virtud de estos resultados, a petición de la Cooperativa de Agua Potable y Servicios Públicos de la Falda, la Administración Provincial de Recursos Hídricos ha realizado una actualización de la batimetría del Dique La Falda.

El dique La Quebrada se ubica a 7 Km. al oeste de la ciudad de Río Ceballos, su construcción comenzó en el año 1,974 y finalizó en el 1,976, con la finalidad de aprovisionamiento de agua a potable a la localidad de Río Ceballos. Tiene una capacidad de diseño de 3.3Hm<sup>3</sup>, una altura del paredón de 47 m y una longitud de 254 m.

El Embalse Los Alazanes se ubica sobre el río homónimo en el valle de Punilla de la provincia de Córdoba, su construcción comenzó en el año 1,939 y finalizó en 1,944, con la finalidad de abastecimiento de agua a la localidad de Capilla del Monte. El paredón tiene una altura de 25 m y una longitud de coronamiento de 71 m, dando 0.24 Hm<sup>3</sup> de volumen de almacenamiento.

Resulta importante actualizar las curvas que caracterizan la geometría de estos cuerpos de agua, ya que dado el tiempo transcurrido y la finalidad para la que han sido construido, esta información resulta de gran importancia para la gestión de los embalses.

### Objetivo

El objetivo del trabajo experimental de campo que se reporta en este informe es la actualización de la batimetría, curva “altura-volumen” y curva “altura-área” de tres embalses de la provincia de Córdoba con capacidades menores a 5 Hm<sup>3</sup>: Embalse La Falda, Embalse La Quebrada y Embalse Los Alazanes.

### Materiales y Métodos

El instrumental utilizado para las correspondientes batimetrías fue un Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés), El equipo va montado en un bote junto con los demás dispositivos complementarios como por ejemplo el módulo de

procesamiento y comunicación (utilizando el sistema bluetooth) y un geoposicionador satelital diferencial (DGPS) con su respectiva antena. El ADCP registra un dato de profundidad con una frecuencia de 1 Hz, alcanzando profundidades de hasta 80 m (ver Figura 1, izquierda).

Los relevamientos topográficos se realizaron con un sistema global de navegación satelital (GNSS, por sus siglas en inglés), marca HEMISPHERE, modelo S320, con sistema RTK. Con este equipo fue posible lograr altas precisiones (tanto en horizontal como vertical) en tiempos de mediciones reducidos (ver Figura 1, derecha).



Figura 1.-Perfilador de corriente acústica Doppler (izquierda). Sistema global de navegación satelital (derecha).

Mediante el uso de herramientas informáticas se generaron, a partir de los puntos resultantes de la topo-batimetría, superficies del fondo y el perilago de cada embalse (redes de triángulos irregulares, TIN por sus siglas en inglés; modelos digitales del terreno, DEM por sus siglas en inglés) de los embalses. Con dichas superficies se determinaron las curvas que caracterizan la geometría de los vasos de los embalses, estas son las curvas “Cota-Volumen” (H-V) y “Cota-Área” (H-A). En la Figura 2 se muestran las tareas de campo realizadas en el embalse la Falda.



Figura 2.-Imágenes de las tareas de campo, en el embalse La Falda.

### Resultados

De las campañas de aforo a los tres embalses en cuestión se obtuvo una nube de puntos relevadas en el campo con el ADCP y el GPS-RTK (ver Figura 3), con las que posteriormente se realizaron las TIN y DEM que caracteriza la geometría del vaso del embalse La Falda y La Quebrada (ver Figura 4).

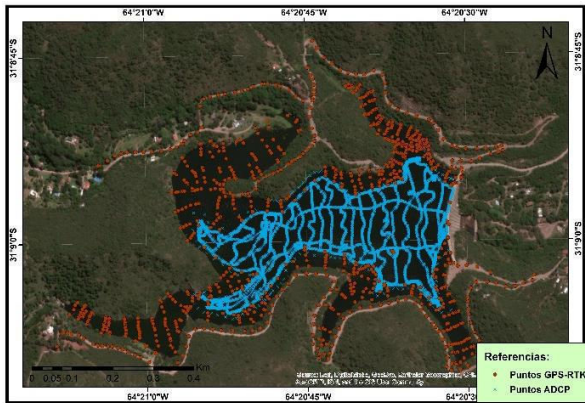


Figura 3.-Puntos relevados en el campo topobatemétrico del Dique La Quebrada.

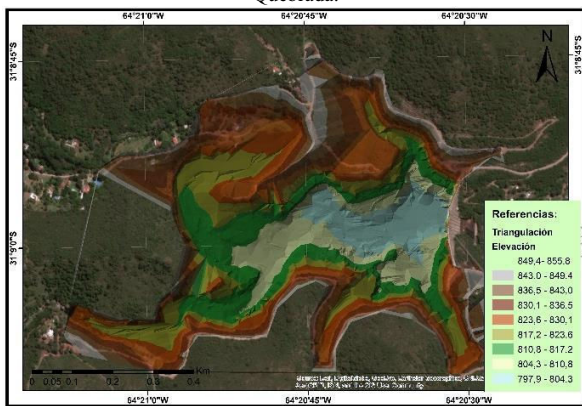


Figura 4.- TIN del vaso del Dique La Quebrada.

A partir de los DEM se pudo obtener valores de áreas y volúmenes asociados a las diferentes alturas, a dichos valores se le ajustó una función polinómica de cuarto orden para obtener las curvas H-V y A-H. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de H-V del Embalse La Falda (ver Ec.[1] y Figura 5) y La Quebrada (ver Ec.[2] y Figura 6).

$$V [m^3] = 7x10^{-23}H^4 + 1x10^{-16}H^3 - 1x10^{-10}H^2 + 4x10^{-5}H + 934.75 \quad \text{Ec. [1]}$$

$$V [m^3] = -55H^4 + 5x10^{-18}H^3 - 2x10^{-11}H^2 + 3x10^{-5}H + 799.81 \quad \text{Ec. [2]}$$

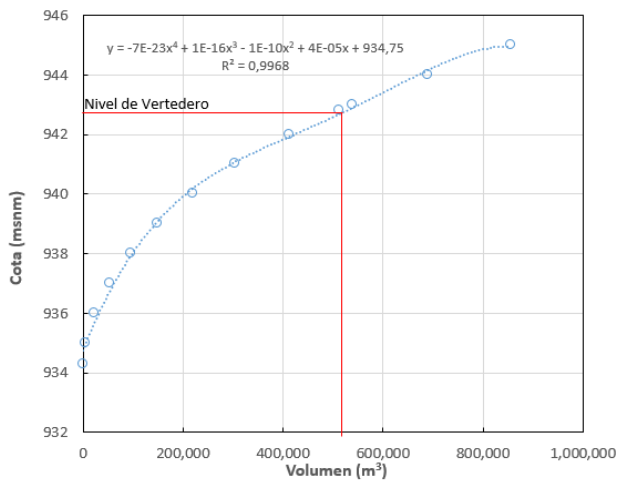


Figura 5.- Curva H-V del Embalse La Falda.

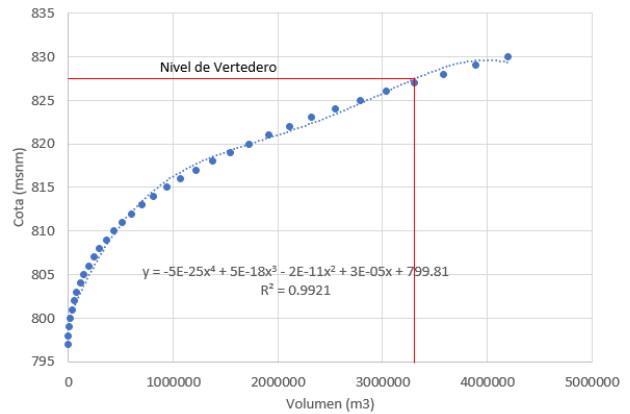


Figura 6.- Curva H-V del Dique La Quebrada.

Para el caso del Embalse La Falda, se observó que su capacidad es de 0.51 Hm<sup>3</sup> (similar a la relevada en el año 2,010), siendo su capacidad de diseño (año 1,980) de 0.80 Hm<sup>3</sup>. Se evaluó además la alternativa de recrecimiento del nivel de vertedero para incrementar su capacidad sin que provoque anegamientos en construcciones del perilago. El Embalse La Quebrada mantiene a la fecha su capacidad de almacenamiento de diseño (año 1,976). En cuanto a la información referida al Embalse Los Alazanes, los datos relevados experimentalmente en campo se encuentran en etapa de procesamiento.

### Conclusiones

El día 24 de mayo de 2,018 se realizó un relevamiento Topo-Batimétrico del Dique La Falda mediante el uso de instrumental de última tecnología.

El volumen del embalse medido a cota de vertedero (942.8 msnm) fue de 512,916 m<sup>3</sup>, siendo un valor que se encuentra en el mismo orden de magnitud al volumen medido por el INA-CIRSA en el año 2,010 (449,627 m<sup>3</sup>). Esto es un indicador de que el embalse se encuentra en una situación de equilibrio entre el ingreso y egreso de sedimentos al mismo.

Siendo la capacidad inicial del embalse de 800,000 m<sup>3</sup>, se concluye que el porcentaje de colmatación es del 36 %.

El hecho de dragar el embalse para incrementar su capacidad 100,000 m<sup>3</sup> (0.1 Hm<sup>3</sup>), implica el uso de 20,000 camiones para retirar el material extraído, tarea que podría demandar más de dos años.

La alternativa ejecutar un recrecimiento mediante el uso de "rubber dam", si se eleva la cota de vertedero 1 m (943,8 msnm), el volumen del embalse sería de 652,917 m<sup>3</sup>, o sea un incremento de un 20% del volumen del embalse actual. En el plano de la poligonal de ocupación del embalse para esta nueva cota, se observa que no afecta el hotel y el club que se encuentran en el perilago.

La campaña de relevamiento del Dique La Quebrada, realizada el día 5 de septiembre del 2,018, se obtuvo que el embalse tiene un volumen de 3,302,198.5 m<sup>3</sup> en la cota de vertedero (827 msnm). Mientras que la capacidad inicial del embalse para esa cota era de 3,380,000 m<sup>3</sup> el volumen disminuyó 2.5% respecto a la capacidad en 1,976.

### Referencias Bibliográficas

Di.P.A.S. (2004). Dirección Provincial de Agua y Saneamiento. Ministerio de Obras Públicas. Córdoba-Córdoba



## RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA SEPARACIÓN DE CAPA LÍMITE EN EL PISO DE RESALTOS SUMERGIDOS

Raúl Antonio Lopardo y María Cecilia Lopardo

Instituto Nacional del Agua y Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina  
[rlopardo@ina.gov.ar](mailto:rlopardo@ina.gov.ar); [mclopardo@gmail.com](mailto:mclopardo@gmail.com)

### Introducción

Para el caso de resalto libre, a partir de resultados experimentales de presiones instantáneas en la base, con números de Froude de ingreso entre 3 y 6 se han podido definir algunas características particulares del flujo interno, en particular el punto de separación de la capa límite respecto de la placa sólida de base y el cambio de signo de la asimetría de la función de densidad de probabilidad de amplitudes, que se encuentran definidos alrededor de una misma sección. Se han presentado recientemente resultados de las curvas de amplitudes de fluctuación de presiones, asimetrías de distribución de probabilidad de amplitudes, números de Strouhal dominantes obtenidos de espectros de frecuencia y hasta velocidades de convección cercanas al piso del resalto que coinciden en demostrar esa anomalía para una distancia del orden de cuatro veces el "salto" entre tirantes conjugados (Lopardo, R.A. y Casado, J.M., 2009).

Dado que el resalto sumergido, que se trata en el presente trabajo, no permite la utilización de la abscisa adimensional  $x/(h_2-h_1)$  en la que "x" es la distancia desde el inicio del resalto y  $(h_2-h_1)$  el "salto" entre tirantes conjugados final e inicial, se ha optado por referirse en la dimensión lineal simplemente a la relación  $x/h_1$ . En este caso no resulta posible definir un único orden de magnitud del punto de separación para todos los números de Froude incidentes  $F_1 = V_1/\sqrt{g h_1}$  y todas las sumergencias  $s = (h_r-h_2)/h_2$  (donde  $h_r$  es el tirante de restitución) utilizadas en las experiencias.

### Amplitud de presiones en resalto sumergido

Las amplitudes medias cuadráticas de fluctuación de presiones pueden ser usualmente representadas por el "coeficiente" de amplitudes, que se define como:

$$C_p = \frac{\sqrt{p'^2}}{\rho \frac{U_1^2}{2}}$$

donde se utiliza el valor medio cuadrático de la señal para caracteriza el orden de magnitud de las amplitudes registradas en un punto.

Tal como se ha presentado recientemente en el caso de resalto libre la variación de  $C_p$  en función de  $x/(h_2-h_1)$  (Lopardo, R. A., Bacchiega, J.D. y Lopardo, M.C., 2018), se replica para el caso de un resalto sumergido en la Figura N° 1 la variación de  $C_p$ , ahora en función de  $x/h_1$ .

Tomando el tramo efectivamente de interés  $5 < x/h_1 < 70$ , se ha intentado definir una expresión polinómica que contenga la totalidad de los puntos experimentales de  $C_p$  para números de Froude incidentes comprendidos entre  $3 < F_1 < 6$  de la Figura 1, con  $X = x/(h_2-h_1)$  resultando una expresión:

$$C_p = 4.10^{-7} X^3 - 3.10^{-5} X^2 - 0,001 X + 0,0694,$$

con un intervalo de confianza  $R^2 = 0,95$ .

Así se ha podido calcular la derivada segunda de la ecuación

anterior, que se anula para las abscisa  $x/h_1 = 25$ , indicando, como es bien conocido, el punto de inflexión de la curva representada.

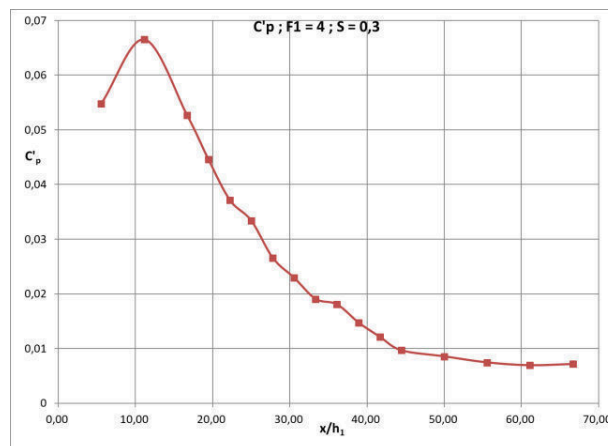


Figura 1: Amplitud de presiones fluctuantes para  $F_1 = 4$  y  $s = 0,3$

### Asimetría y separación en resalto sumergido

Si en un registro de presiones fluctuantes en flujo turbulento esa función resultara simétrica, indicando una distribución normal o gaussiana, la turbulencia podría suponerse que verifica su condición de homogénea e isotrópica. El apartamiento de la función real respecto de la curva normal en cuanto a una mayor tendencia a picos negativos o positivos más violentos puede ser interpretado por una medida del grado de distorsión de la campana de Gauss. Para poner en evidencia esa distorsión se utiliza el momento de tercer orden de la variable estandarizada ("skewness") que tiene en consideración no sólo el valor de amplitud de fluctuación sino también su signo:

$$Ad = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} p'^3 P(p') dp'}{\sqrt{p'^2}}$$

donde  $P(p')$  es la función de densidad de probabilidad de amplitudes de la variable  $p'$ , que es la fluctuación instantánea de presiones  $p' = p_m - p$ , siendo  $p_m$  el valor medio de una serie de mediciones de la variable  $p$ .

Los resultados obtenidos para  $F_1$  3, 4, 5 y 6 han demostrado que las asimetrías se anulan de modo diferente para distintos números de Froude y sumergencias, pasando por  $x/h_1 \sim 15$  para  $F_1 = 3$  hasta de  $x/h_1 > 30$  para  $F_1 = 6$ . La Figura 2 permite apreciar la variación de la asimetría  $Ad$  con la distancia  $x/h_1$  en el caso de  $F_1 = 4$  para distintas sumergencias entre  $s = 0,1$  y  $s = 1,1$ . Se grafica allí la curva correspondiente a resalto libre ( $s = 0$ ).

Matemáticamente, las fluctuaciones de presión macro turbulentas en fluidos reales pueden ser consideradas como un proceso estocástico, estacionario y ergódico. El espectro de densidad de potencia determina cómo la energía de una señal se encuentra distribuida en frecuencia. El análisis espectral puede llevarse a cabo



mediante la transformada discreta de Fourier (TDF) en su implementación llamada "rápida" (FFT), con ventana de Bartlett. Si se utiliza para ello como magnitud representativa la frecuencia dominante o de pico  $f_d$ , alrededor de la cual se concentra la máxima energía de oscilación, del análisis dimensional surge la función:

$$S_d = S_d [x/(h_2-h_1), F_1],$$

donde  $S_d$  es el número de Strouhal, definido como  $S_d = f_d h_1 / U_1$ .

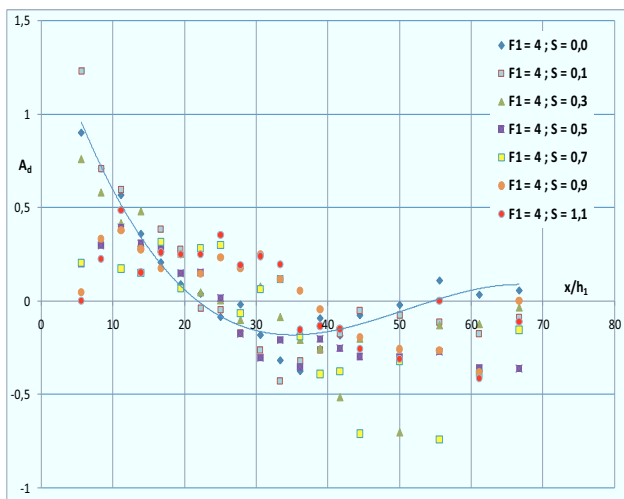


Figura 2: Asimetrías en resalto sumergido para  $F_1 = 4$

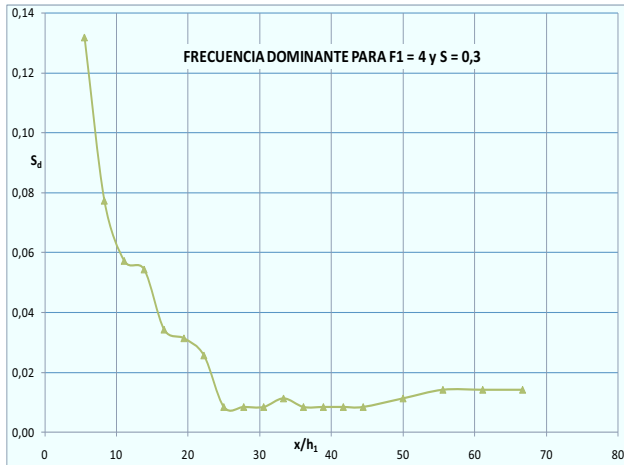


Figura 3: Número de Strouhal  $S_d$  para  $F_1 = 4$  y  $s = 0,3$

La Figura 3 permite observar la caída definitiva de un valor de frecuencia dominante (adimensionalizada como es habitual con el número de Strouhal) entre el comienzo y el final del resalto sumergido. Este resultado puede asociarse con la Figura 1 (punto de inflexión en la curva de  $C'_p$ ) y Figura 3 (asimetría de distribución de amplitudes  $A_d$ ) para  $F_1 = 4$  y  $s = 0,3$ . La Figura 4 muestra la dispersión de resultados para distintas sumergencias, manteniendo el mismo número de Froude incidente  $F_1 = 4$ . Estos gráficos se han obtenido para los cuatro números de Froude utilizados en las experiencias de laboratorio.

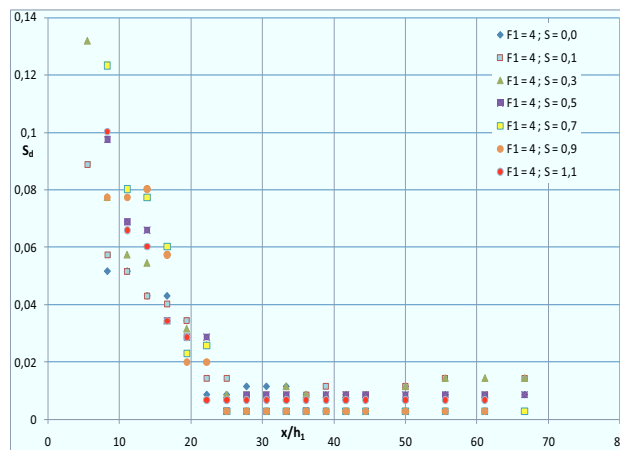


Figura 4: Número de Strouhal en resalto sumergido para  $F_1 = 4$

### Conclusiones

En virtud de diversos estudios experimentales desarrollados sobre resaltos hidráulicos libres y estables se ha podido apreciar que el flujo interno macro turbulento en su interior puede ser dividido en una zona de aguas arriba, dominada por el torbellino de mayor tamaño, que presenta una frecuencia dominante y capa límite "pegada" al piso y una zona posterior, en la que el flujo tiende asintóticamente a buscar las condiciones de escurrimiento turbulento normal a superficie libre. Los resultados para el caso de resaltos sumergidos presentan curvas de amplitudes de fluctuación de presiones, asimetrías de distribución de probabilidad de amplitudes y números de Strouhal dominantes obtenidos de espectros de frecuencia que coinciden en demostrar que esa anomalía se produce para  $3 < F_1 < 6$  alrededor de una distancia que varía entre 15 y 30 veces la altura del tirante conjugado inicial, aumentando con el número de Froude.

Observando resultados de otros autores (Wang et Al, 2015) se pensó que el fenómeno podría estar vinculado a la presencia de dos zonas con comportamiento diferente en el interior del resalto que generan distintas condiciones en la base y afectan la capa límite: una aguas arriba, que incorpora aire a la masa líquida y otra aguas abajo que lo expulsa (Zhang et Al, 2014). Si bien para el resalto libre esta interpretación pudiera resultar apropiada, no puede justificarse que el fenómeno se produzca para resaltos sumergidos, donde no puede asumirse que el fenómeno de aireación sea determinante respecto del comportamiento de la capa límite en contacto con el piso.

### Referencias Bibliográficas

- Lopardo, R.A., Bacchiega, J.D. & Lopardo, M.C. (2018). "Descripción de algunas características macro turbulentas del resalto hidráulico a partir de las presiones en su base", *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR*, Bs. Aires, Argentina, Vol. 1, pp. 467-474,
- Lopardo, R.A. y Casado, J.M. (2007). "Boundary layer separation beneath submerged jump flows", en *Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics*, Proc. of the XXXII IAHR Congress, Venezia, Italy.
- Wang, H., Murzyn, F. y Chanson, H. (2015). "Interaction between free-surface, two-phase flow and total pressure in hydraulic jump", *Experimental Thermal and Fluid Science* N° 64, pp. 30-41
- Zhang, W., Liu, M., Zhu, D.Z. y Rajaratnam, N. (2014). "Mean and Turbulent Bubble Velocities in Free Hydraulic Jumps for Small to Intermediate Froude Numbers", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 140, N° 11, pp 1-9.

## INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL ARROYO SAN ANTONIO-ACUÍFERO SALTO-ARAPEY

Gonzalo Sapriza, Julian Ramos, Pablo Gamazo, Elena Alvareda, Nicolás Blanco, Andrés Saracho, Vanessa Erasun, Rafael Banega, Martín Gaye

Departamento del Agua, Centro Universitario Regional Litoral Norte, Universidad de la República

gsapriza@unorte.edu.uy

### Introducción

El sistema hidrológico de la cuenca del arroyo San Antonio - Acuífero Salto Arapey (CASA-ASA), ubicado en el departamento de Salto, Uruguay, se encuentra altamente antropizado. Existe una importante utilización de sus recursos hídricos para diferentes usos (control de heladas, riego, abastecimiento agua potable, etc) tanto subterráneos como superficiales. A pesar de la gran demanda de agua que se realiza del CASA-ASA, no existe una red de monitoreo del sistema, que permita realizar una caracterización adecuada del funcionamiento del mismo y conocer el grado de estrés de los recursos hídricos disponibles.

Dentro de este marco, el Departamento del Agua (DA) está desarrollando el proyecto de investigación aplicada Fondo María Viñas: “Hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Sistemas Hidrológicos Altamente Antropizados: Arroyo San Antonio - Acuífero Salto/Arapey”, financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

### Objetivos

Como parte de los objetivos de este proyecto se encuentra la instrumentación del sistema CASA-ASA a partir de una red de monitoreo continuo que integre las diferentes componentes del ciclo hidrológico del sistema. A partir de la generación de datos observados se desarrollará un modelo conceptual del funcionamiento del sistema para luego desarrollar modelos numéricos que permitan cuantificar la dinámica del sistema y así poder generar una herramienta que optimice la utilización de recursos hídricos.

### Métodos

El área de estudio se encuentra en el departamento de Salto, Uruguay (Figura 1). El sistema acuífero está limitado por el río Uruguay al oeste, el río Dayman al sur, y el río Itapebí al norte. El CASA discurre enteramente dentro del sistema acuífero, descargando al río Uruguay aguas abajo de la represa Salto Grande. El CASA tiene una extensión de 225 km<sup>2</sup> y el ASA de 650 km<sup>2</sup>.

Para la generación de datos observados se ha implementado una red de monitoreo integrada, de medición continua, del sistema hidrológico. La red se encuentra conformada por 3 subsistemas:

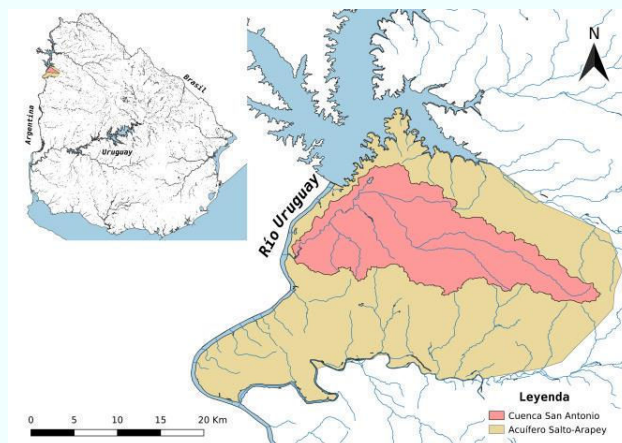


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

#### Atmósfera

Se instaló un total de 17 pluviómetros automáticos de tipo cangilones con resolución temporal de un minuto (12 con datalogger y 5 con telemetría), y 4 medidores de presión atmosférica. A su vez en el área de estudio existen: 6 pluviómetros automáticos de la Comisión Técnico Mixta de Salto Grande (CTM-SG) con telemetría y resolución temporal de 15 minutos, 1 pluviómetro automático y estación meteorológica en el Laboratorio de Energía Solar con resolución de 1 minuto, ídem en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Salto Grande con resolución temporal de 1 hora, y 7 pluviómetros convencionales del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) de resolución temporal diaria.

#### Arroyo San Antonio

Se instalaron por parte del DA 6 limnógrafos utilizando sondas de presión para la medición de tirantes en el curso del arroyo con resolución temporal de 15 minutos. Estas mismas sondas también registran temperatura.

#### Acuífero Salto- Arapey

Se instalaron 12 sondas de presión para la medición de niveles piezométricos del acuífero con resolución temporal de 3 horas.

#### Aforos

De momento se han efectuado un total de 26 aforos para construir las curvas altura caudal, en 5 secciones donde se encuentran instalados los limnógrafos en el arroyo San Antonio. Los aforos se han realizado utilizando un FlowTracker ADV y un StreamPro ADCP, en función de las condiciones de flujo en la que se encuentre la sección a medir para ese día.

Adicionalmente a estas actividades se está estudiando la factibilidad de utilizar radioenlaces de ANTEL para medir la

lluvia a partir de la atenuación que ésta produce en la propagación de las ondas electromagnéticas entre las antenas que transmiten y reciben. Se están utilizando 3 radio enlaces ubicados en el área (ver Figura 2).

## Resultados

En la Figura 2 se presenta la red de monitoreo instalada.

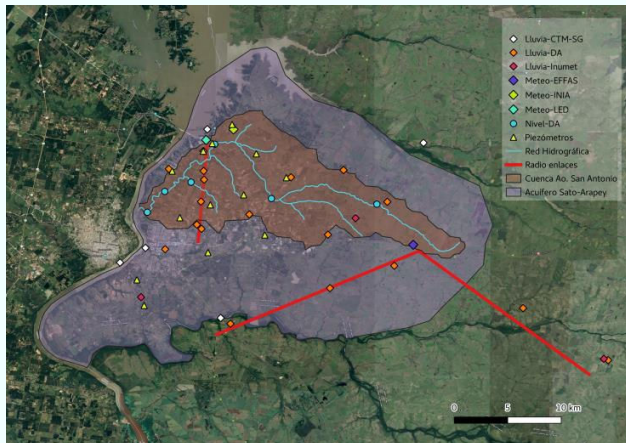


Figura 2.- Área de estudio con la delimitación del sistema acuífero

En la figura 3 se presentan los aforos realizados a la fecha, en 5 de las 6 estaciones donde se realiza medición continua de niveles del CASA. En el punto más cercano a la desembocadura al río Uruguay no se han realizado aforos, dicha sección se encuentra totalmente afectada por la dinámica del río Uruguay. En menor medida la estación Martín José se encuentra afectado por remansos del río Uruguay, para determinados niveles del mismo (no determinado aún).

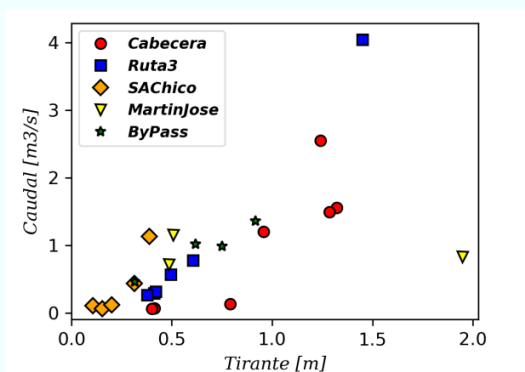


Figura 3.- Aforos realizados a la fecha en 5 estaciones donde se encuentra instalado los limnógrafos.

En la figura 4 se presenta la serie temporal para el limnógrafo ubicado en la cabecera de la cuenca (Cabecera en figura 3) y pluviómetro en el área de incidencia. El tiempo de respuesta estimado, como la diferencia entre los centros de masa de las tormentas y el hidrograma de niveles es de 7 horas.

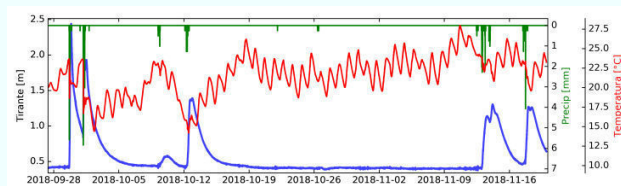


Figura 4.- Series temporales observadas con resolución temporal 5 minutos de: tirante, temperatura y precipitación, para el limnógrafo Cabecera.

En cuanto a los radioenlaces se ha determinado la relación existente entre atenuación e intensidad de lluvia. En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos del ajuste de la ley potencial entre intensidad de lluvia y atenuación específica.

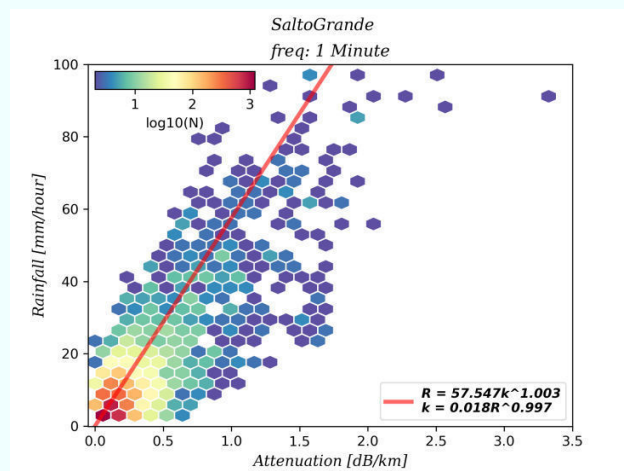


Figura 5.- Relación atenuación específica e intensidad de lluvia para el radioenlace Salto Grande.

## Conclusiones

La instrumentación del sistema CASA-ASA tiene el potencial de convertirse en una de las cuencas mejor observadas del Uruguay. De momento es necesario continuar con el número de aforos realizados, el control de calidad de los datos y su organización final en una base de datos.

Para fin de año se instalará un ChannelMaster 1200 kHz Horizontal ADCP para la medición continua de velocidades en la estación de aforo Martín José (afectada por remanso del río Uruguay) para determinar la curva de aforo incluyendo los datos de velocidad en dicha sección.

En cuanto a la estimación de lluvia a partir de la atenuación en radioenlaces de telecomunicaciones, los resultados son promisorios e indican la posibilidad real de poder estimar la lluvia a partir de los mismos. Es necesario continuar con la identificación de otras fuentes de atenuación debido a otros procesos atmosféricos (ej.: formación de película de agua en la propia antena, inversión térmica de la atmósfera, etc.).

## COMPORTAMIENTO DE RESIDUOS MARINOS EN AMBIENTES COSTEROS ABRIGADOS

Gabriela V. Buraschi<sup>1</sup>, Francisco F. Criado-Sudau<sup>2</sup>, Fernanda Achete<sup>3</sup> y Marcos N. Gallo<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3 y 4</sup>Laboratorio de Dinámica de Sedimentos Cohesivos, Programa de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Federal de Río de Janeiro  
– Brasil. Tel. +55 (21) 3938-8811

[gvburaschi@oceanica.ufjf.br](mailto:gvburaschi@oceanica.ufjf.br); [franciscofabian@oceanica.ufjf.br](mailto:franciscofabian@oceanica.ufjf.br); [fachete@oceanica.ufjf.br](mailto:fachete@oceanica.ufjf.br); [marcosgallo@oceanica.ufjf.br](mailto:marcosgallo@oceanica.ufjf.br)

### Introducción

La producción de plásticos pasó de 1.5 millones de toneladas en 1950 a 335 millones de toneladas en 2016. En 2015, un estudio estimó que entre 4.8 y 12.7 millones de toneladas de residuos plásticos entraron en los océanos en 2010, habiendo sido considerados 192 países costeros como fuentes. Un paso necesario para abordar esta problemática, es tener el conocimiento de las fuentes, las trayectorias y los lugares de acumulación, o no, de estos residuos. Si bien en los últimos años ha habido avances en el conocimiento sobre el transporte y destino de los residuos plásticos en áreas costeras, lejos está de tenerse una comprensión clara de su comportamiento en estos ambientes.

En la Bahía de Guanabara, en el Estado de Río de Janeiro (Brasil), esta problemática es bien conocida. En 2018, las ecobarreras distribuidas en los principales ríos fuentes de los residuos, recogieron 12.234 T. El área de estudio, dentro de la bahía, es la Ensenada do Catalão, localizada al este de la Isla do Fundão (Figura 1). El área de estudio es una zona abrigada, bajo la influencia de lluvias estacionales, vientos locales, eventos meteorológicos y la marea, que es de desigualdades diurnas, siendo un estuario dominado por la misma. Las playas y manglares de la isla reciben diariamente grandes cantidades de residuos de origen urbano, provenientes principalmente, de la zona norte de Río de Janeiro. Las fuentes más importantes son los depósitos irregulares en las calles, cunetas y canales, que luego son transportados a través de la cuenca de los ríos y canales aledaños. Esta situación se agrava en verano, cuando es época de lluvias intensas en la región.

El presente trabajo utilizó muestreo experimental para caracterizar y cuantificar los residuos plásticos que llegan a las costas de la ensenada y modelación numérica para determinar la hidrodinámica local.

### Metodología

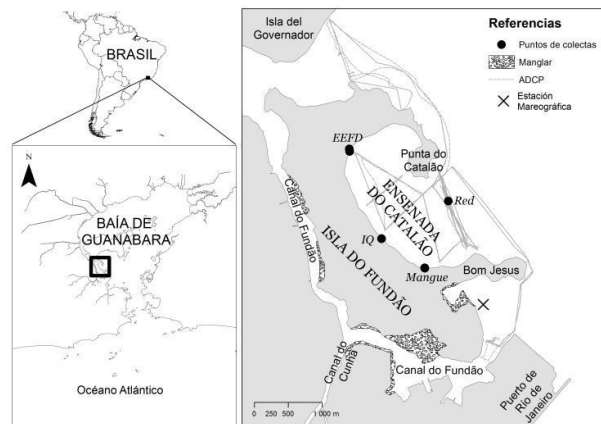
Para caracterizar física e hidrodinámicamente el ambiente, se realizó una batimetría en la ensenada con una Ecosonda Garmin 517S, usando a frecuencia de 200kHz, utilizando un vehículo autónomo (embarcación solar). También, se realizaron perfiles de playa, y perfiles de corrientes con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) de 1200 kHz, en diferentes condiciones de marea, a bordo de embarcación de pesca. La medición del nivel del mar fue realizada a través de la estación mareográfica ubicada en el sur de la Isla do Fundão (22°53'49,13"S; 43°09'59,21"W). Los datos fueron utilizados para la corrección de la batimetría y determinación de niveles de residencia en la playa.

La metodología de muestreo de residuos fue diferente para las playas y para el medio acuático. En las playas fueron realizadas colectas manuales y a través de una red, además de fotografías, para estimar una tasa de llegada/salida de los residuos, así como, su clasificación y tipología. En el medio acuático se implementó un sistema de armadilla con red, en la boca de la ensenada, conjuntamente, se realizaron arrastres con red, para estimar y clasificar los residuos que ingresan.

Finalmente, se implementó un modelo numérico *Delft3D*, utilizándose el módulo *Delft3D-FLOW* para la simulación hidrodinámica en 2D y el módulo de transporte Lagrangiano de partículas *D-Waq PART*, para estudiar las trayectorias de los residuos. El modelo se configuró para la región y calibró con las mediciones. Esto permitió simular escenarios, considerando diferentes mareas, eventos hidrológicos, e influencia del viento, para un mayor entendimiento de la dinámica, aportes y fuentes de los residuos. El periodo simulado fue Julio-Agosto de 2017, donde se registraron eventos meteorológicos de aumento y descenso del nivel medio del mar, en la estación mareográfica.

### Caracterización del área de estudio y de los residuos

La Ensenada do Catalão es un área de aguas someras, donde la profundidad varía entre 2-4 m, excepto por un canal cerca del punto de colecta *Mangue* (Figura 1), donde la profundidad varía entre 5-7 m aproximadamente. La zona más rasa de la ensenada se encuentra en la parte norte, en las cercanías del punto de colecta *EEFD*. Esta zona es de baja energía y permite la mayor acumulación de residuos plásticos.



**Figura 1.-** Área de estudios, localización de los puntos de colectas (*EEFD*, *IQ* y *Mangue*), transectos de los perfiles de corrientes con *ADCP* y localización de la estación mareográfica.

Los puntos de colecta *EEFD*, *IQ* y *Mangue* (Figura 1) presentan características físicas diferentes. El área del punto *Mangue* presenta mayores pendientes ( $\approx 0,18$ ) que el punto *IQ* ( $\approx 0,13$ ) y *EEFD* ( $\approx 0,05$ ), además, la playa del punto *IQ* se encuentra erosionada. Estas características contribuyen a que la zona de mayor acúmulo de los residuos sea el punto *EEFD*, con una acumulación estimada de 15 T, siendo, en media, el 70% plásticos de origen doméstico (Figura 2). En el área del punto *IQ* prácticamente no se acumulan residuos, excepto en una zona, más cercana al punto *EEFD*. Donde se estimó 2,6 T de residuos acumulados, presentes en las raíces de los árboles. En el punto de colecta *Mangue* se estimó una acumulación de 3.9 T de residuos, presentes en la berma de la playa, donde quedan atrapados en



gramínea presente.

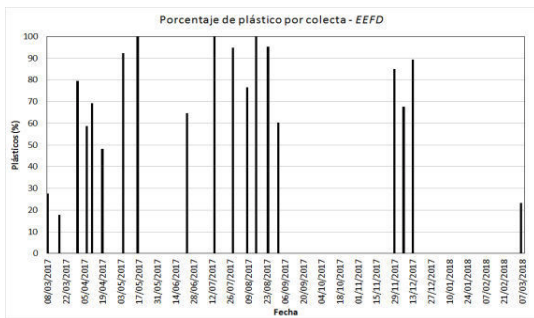


Figura 2.- Porcentaje de plásticos por colecta en *EEFD*. En media, el 70% de los residuos colectados es plástico.

### Resultados del modelo

Para verificar si el modelo representó la hidrodinámica local, se comparó el nivel medido en la estación mareográfica de la Isla do Fundão y el modelado en el mismo punto (Figura 3). En la Figura 3b se observa un detalle del periodo simulado. Se calculó el error medio cuadrático (RMSE) entre los niveles medido y simulado en el mismo punto, siendo RMSE igual a 0,017m, así como el coeficiente de correlación ( $R^2$ ), que resultó en 0,95. Esta comparación se realizó también para la estación mareográfica de la Isla Fiscal, al sur de la zona portuaria de Río de Janeiro, donde el RMSE fue de 0,003 m y el  $R^2$  resultó en 0,97, con diferencias absolutas máximas entre los niveles de 0,23m para la estación de la Isla do Fundão y 0,14m para la Isla Fiscal.

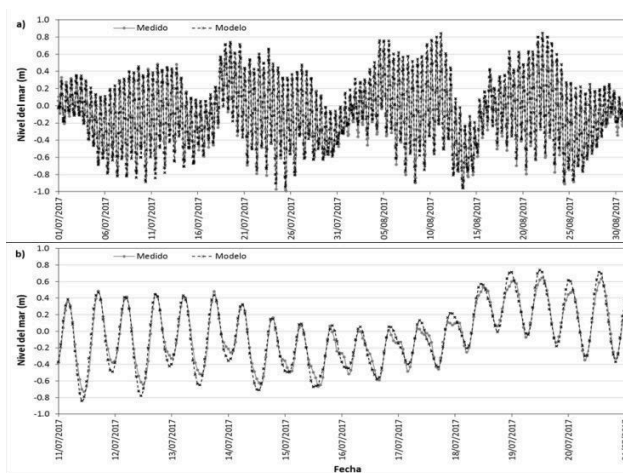


Figura 3.- Período simulado (Julio – Agosto 2017). **a)** Nivel del mar medido y simulado, en la estación mareográfica de la Isla do Fundão. **b)** Detalle del nivel del mar simulado y medido en la estación mareográfica.

Las velocidades modeladas fueron verificadas haciendo una comparación con las velocidades medidas con *ADCP*, en la boca de la Ensenada do Catalão. Las velocidades medidas de las corrientes, en el periodo de sicigia, en el flujo (23/11/2018) alcanzaron valores medios de 0,08 m/s, con máximos de 0,11 m/s y mínimos de 0,05 m/s. Las velocidades modeladas, para un periodo similar (flujo de sicigia), fueron en media de 0,05 m/s, siendo subestimadas en aproximadamente 35%, con máximos de 0,10 m/s (10% menor a la velocidad medida) y mínimos de 0,02 m/s (60% menor a la medida).

Se calculó la velocidad residual para un periodo de 25 horas (Figura 4) para una sicigia típica (Figura 4a) y para una cuadratura típica (Figura 4b).

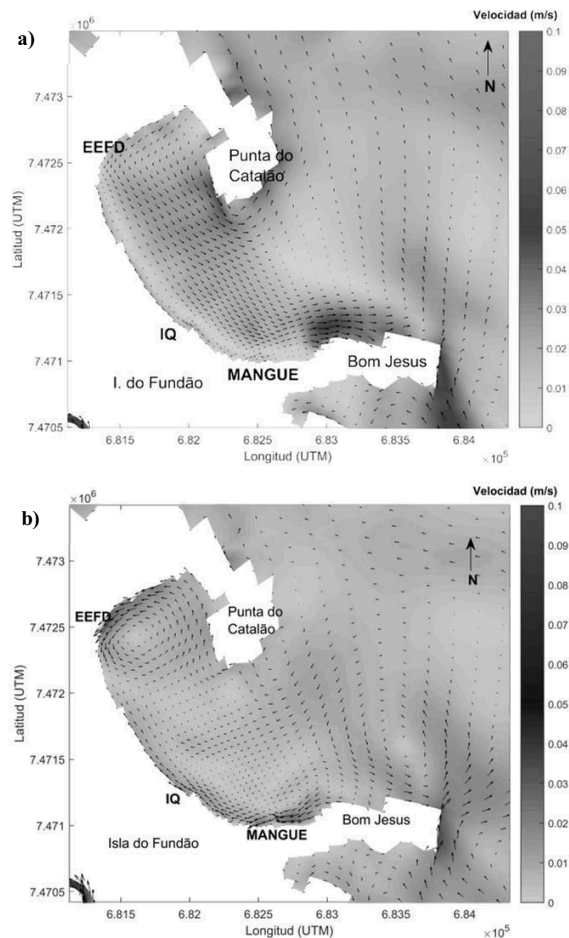


Figura 4.- Velocidades residuales calculadas para un periodo de 25 horas, **a)** en sicigia típica; y **b)** en cuadratura típica.

Tanto para el periodo de sicigia, como para el de cuadratura, se observa como las corrientes residuales cercanas a la costa, convergen al punto de colecta *EEFD*, justamente donde se acumulan grandes cantidades de residuos plásticos, comparados con los puntos de colecta *IQ* y *Mangue*. Observándose, además, que las corrientes tienen sentido sur-norte desde el punto de colecta *Mangue* hacia *EEFD*.

### Conclusiones

Las velocidades residuales son determinantes para el transporte, dispersión e importación/exportación de las partículas. Se observó que las corrientes convergen para el punto *EEFD*, coincidiendo con el área de mayor acumulación de residuos. Luego, en forma general, para el periodo de sicigia analizado, las corrientes residuales divergen, y la ensenada se comporta como exportadora de partículas. Mientras que para el periodo de cuadratura las corrientes residuales tienen sentido convergente hacia la ensenada, y ésta se comporta como importadora de sustancias.

Ensayos numéricos en 3D y con el módulo de seguimiento de partículas están siendo realizados.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por la Rectoría de la UFRJ y por la CAPES a través del auxilio Ciências do Mar II 1977/2014 para la realización de este trabajo, y al grupo del LDSC por el apoyo en campo.

## CAZADORES DE CRECIDAS: AVANCES DE UN PROYECTO DE CIENCIA CIUDADANA

Patalano A.<sup>1,2</sup>, García C. M.<sup>1,2</sup>, Masso L.<sup>1,2</sup> y Bolatti L. F.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
antoine.patalano@unc.edu.ar

### Introducción

Los nuevos medios de comunicación y los avances tecnológicos han permitido al público de producir una gran cantidad de material digital sobre las crecidas y compartirla a través de las redes sociales. Este tipo de información se encuentra a menudo con una autoría, fechados y en unos casos geo-referenciados antes de ser compartidos. Además, las redes sociales vinculan informaciones diversas sobre las crecidas repentinas que ocurren en la provincia como informes de riesgo de inundación y daños, pero también discusiones racionales, debates, apelación y observación a las autoridades gubernamentales y locales, y mensajes emocionales y expresión de sentimientos. Los ríos serranos de la provincia de Córdoba, Argentina, se caracterizan por la ocurrencia de inundaciones con un gran volumen de flujos rápidos durante la época de lluvias (octubre a abril). Debido a la naturaleza repentina de inundaciones, es muy poco probable que un equipo de trabajo sea capaz de inspeccionar varios tramos fluviales de interés utilizando los instrumentos y las técnicas adecuadas para el registro del caudal máximo y su evolución temporal durante la inundación. En caso de que sea posible llegar a tiempo a los sitios de estudio, las velocidades de flujo y el material flotante arrastrado en el río ponen en peligro tanto los operadores como los instrumentos. A raíz de esto, los autores de este trabajo con el apoyo del Ministerio de Servicios Públicos del gobierno de la Provincia de Córdoba, iniciaron el proyecto Cazadores de Crecidas en el año 2014 con el objetivo de armar una base de datos de videos y fotos digitales de las crecidas en los ríos de la provincia de Córdoba (Patalano et al., 2015). Los videos de crecidas registrados por los ciudadanos son procesados para estimar la velocidad y el caudal de los ríos implementando la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV) (Detert y Weitbrecht, 2015, Fujita et al., 1998, Le Boursicaud et al., 2015, Le Coz et al., 2010). Con los valores de caudal (Q) y su correspondiente elevación de la superficie libre (H) determinados para distintas condiciones de flujo (inuyendo condiciones de crecidas) se pueden determinar las curvas H-Q requeridas para un manejo optimo del recursos hídrico y del riesgo hídrico. En este trabajo se presentan los avances realizados en el proyecto desde su creación.

### Alternativas metodológicas para implementarlo

El primer paso en el proyecto fue crear un sitio web con dominio de la Universidad Nacional de Córdoba (<http://www.cazadoresdecrecidas.unc.edu.ar/>) y una cuenta en Twitter (@Cdc\_Cordoba), realizando luego una intensa difusión de la existencia de esta página web en los principales periódicos y algunos canales de televisión. En la página web del proyecto, las personas pueden subir sus videos de crecida junto con los metadatos (fecha y hora de la grabación, ubicación de la sección del río, etc.). En el caso de que las condiciones de registro sean favorables, los videos son analizados y procesados usando la técnica de LSPIV. En esta primera etapa de implementación del proyecto, cada video recibido correspondía a distintas ubicaciones, por lo que surgió la necesidad de reducir la cantidad de sitios a visitar y a relevar. Además la calidad de los videos registrados no era siempre óptima

para ser procesado (Le Coz et al., 2016). Por lo tanto desde 2014 la metodología adoptada para la obtención de videos progresó y en la actualidad existen tres alternativas metodologicas para implementar el proyecto Cazadores de Crecidas que se detallan a continuación:

- Grabaciones espontáneas: se siguen recibiendo videos registrados por ciudadanos en sitios no predeterminados donde se observa una crecida pero solamente se considerara el relevamiento del sitio cuando se trata de eventos extraordinarios. Esta alternativa metodológica es la que requiere un mayor esfuerzo ya que lo más probable es que no se conozca la sección del río donde se realiza el registro y la calidad del video puede no ser óptima (baja resolución, movimiento de la cámara, etc.).

- Grabaciones preferenciales: esta alternativa metodológica se implementa en sitios (denominados Sitios Favoritos) definidos por los autores de este trabajo junto a la Defensa Civil provincial y de las distintas localidades. Una vez definido el sitio y previo al registro de los videos, se releva toda la información topográfica necesaria para el cómputo del caudal, se elabora un modelo de terreno digital, se documenta el sitio con fotografías y se define con exactitud el lugar donde tiene que ubicarse el usuario para el registro óptimo de un video de una eventual crecida. La lista y la ubicación de los Sitios Favoritos del proyecto se encuentra disponible en la página web de Cazadores de Crecidas. En la Figura 1 se puede ver un mapa ver los Sitios Favoritos georeferenciados en la Provincia de Córdoba.

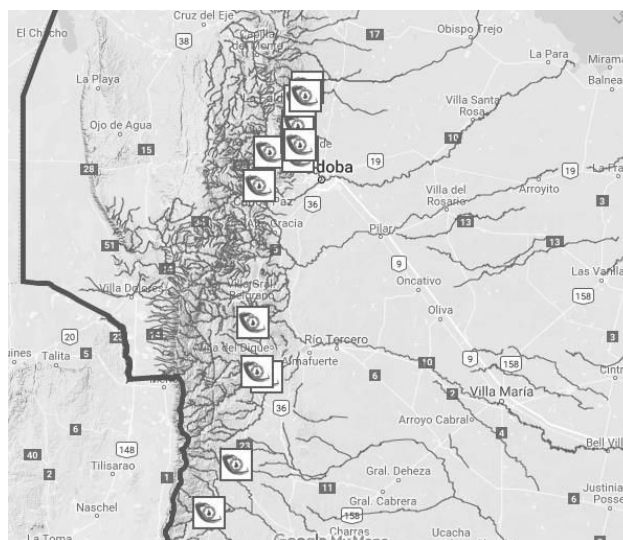


Figura 1. –Ubicación de los Sitios Favoritos del proyecto Cazadores de Crecidas en la Provincia de Córdoba

En la actualidad, se encuentran definidos completamente 16 Sitios Favoritos en toda la Provincia de Córdoba, ubicados sobre cursos tributarios de los ríos Suquia (río Primero), Ctalamochita (río Tercero) y Chocancharava (río Cuarto). Además de definir y caracterizar sitios se realizaron talleres de capacitación destinados a los bomberos y trabajadores de Defensa Civil de distintas

localidades. Los talleres tienen por objetivo capacitar a las personas que primero llegan al lugar del siniestro para realizar el registro adecuado de una crecida para su procesamiento. Durante el taller se indica el lugar desde donde realizar el registro con un dispositivo sin poner en peligro al individuo y se recomiendan técnicas de registro como apuntar en una dirección sin realizar paneos y evitar vibraciones. En comparación con la primera alternativa, los resultados obtenidos de esta forma reducen dramáticamente el incertidumbre sobre la estimación del caudal ya que se controlan más las variables que más contribuyen a la incertidumbre.

- Grabaciones desde Estaciones Fijas: Para reducir aún más la incertidumbre de caudal estimado y para su determinación continua se está utilizando estaciones fijas LSPIV. Estas estaciones se están desarrollando por los autores de este trabajo con el apoyo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). La estación fija consiste en una cámara IP desencadenada por una placa computadora de bajo costo Raspberry Pi 3B, controlada remotamente. En la Figura 2 se puede observar la cámara IP enfocada sobre un tramo del arroyo Cañada, tributario del Río Suquia. De la misma forma que para las grabaciones preferenciales es necesario relevar la información topográfica previo al registro de los videos. Al día de hoy se instalaron dos estaciones fijas LSPIV en la Argentina, precisamente en la ciudad de Córdoba.



Figura 2. –Cámara de la estación fija LSPIV del arroyo la Cañada ubicada sobre la fachada del Ministerio de servicios Públicos

### Futuros objetivos y conclusión

Cazadores de Crecidas es un proyecto de Ciencia Ciudadana que tiene como objetivo recopilar datos valiosos de colaboración distribuida con el fin de reducir las incertidumbres en las curvas H-Q ya que incluyen condiciones de flujo observadas durante los eventos de crecidas repentinas. El principal problema al que se enfrentaba en las etapas iniciales de implementación de este proyecto (donde los ciudadanos graban videos en forma espontánea) es que muchos de los videos no eran adecuados para su procesamiento porque no cumplían con las condiciones requeridas. Por esta razón se decidió implementar otras alternativas metodológicas para implementar este proyecto. En el marco de la segunda alternativa de implementación (grabaciones preferenciales en sitios favoritos) los responsables del proyecto capacitaron a bomberos y personal de Defensa Civil que son los primeros en llegar a los ríos cuando ocurren crecidas repentinas. Hoy es parte de la rutina de este personal que se ha capacitado grabar videos de alta calidad cada vez que ocurre una crecida repentina. Finalmente, la alternativa que incluye estaciones fijas está en desarrollo por el

grupo investigador y representan un interés internacional ya que permiten estimar caudales extremos a bajo costo. Los códigos de los programas de procesamiento desarrollados por Patalano et al., (2017) en Matlab se están traduciendo y optimizados en Python y probados sobre las placas computadoras al fin de usar las estaciones como un sensor conectado al internet de las cosas (IOT).

Durante la temporada de lluvia 2018-2019 se cuantificaron con esta técnica caudales con elevados periodos de recurrencia como por ejemplo un valor de caudal de para un periodo de retorno 25 años en el río San Antonio en Villa Carlos Paz. Además, el proyecto Cazadores de Crecidas ha sido utilizado en el proyecto Relámpago (<https://sites.google.com/illinois.edu/relampago/home>) junto a otras iniciativas de ciencia ciudadana (proyecto Matteo y Cosecheros de Granizo) para aumentar la disponibilidad de información hidrológica e hidrometeorológica. Los responsables del proyecto esperan seguir recibiendo una cantidad considerable de nuevos videos de los grupos entrenados durante las próximas temporadas de lluvias. Las consecuencias directas en compartir los resultados de esta investigación con los organismos de gestión son: el mapeo de las amenazas del agua y del medio ambiente, las vulnerabilidades y los riesgos que enfrentan los nuevos escenarios climáticos; la propuesta de políticas para la gestión de obras de regulación y explotación en el marco de estos escenarios. Las decisiones basadas en datos medidos impactarán significativamente en la reducción de las pérdidas de vidas y daños materiales causados por estos eventos de crecidas repentinas. Para la comunidad científica la posibilidad de extender las curvas HQ utilizando las mediciones de valores extremos de caudal disminuirán significativamente el error inducido por la extrapolación de estas curvas. Curvas de aforo más precisas implican mejores modelos de pronóstico calibrados en un rango mayor de condiciones de flujo.

### Bibliografía

- Detert, M., Weitbrecht, V., 2015. A low-cost airborne velocimetry system: proof of concept. *J. Hydraul. Res.* 53, 532–539. doi:10.1080/00221686.2015.1054322
- Fujita, I., Muste, M., Kruger, A., 1998. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *J. Hydraul. Res.* 36, 397–414. doi:10.1080/00221689809498626
- Le Boursicaud, R., Pénard, L., Hauet, A., Thollet, F., Le Coz, J., 2015. Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. *Hydrol. Process.* n/a-n/a. doi:10.1002/hyp.10532
- Le Coz, J., Hauet, A., Pierrefeu, G., Dramais, G., Camenen, B., 2010. Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. *J. Hydrol.* 394, 42–52. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.049
- Le Coz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillén, N.F., García, C.M., Smart, G.M., Bind, J., Chiaverini, A., Le Boursicaud, R., Dramais, G., Braud, I., 2016. Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand. *J. Hydrol.* 541, 766–777. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.07.036
- Patalano, A., Moreno, L., García, C.M., Guillén, N.F., 2015. Desarrollo e Implementación Del Proyecto “Cazadores De Crecidas” En Ríos De La Provincia De Córdoba, n: IV Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica. La Plata, Argentina.
- Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A., 2017. Rectification of Image Velocity Results ( RIVeR ): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry ( PIV ) and Particle Tracking Velocimetry ( PTV ) 109, 323–330. doi:10.1016/j.cageo.2017.07.009

*Sesiones de posters*





## DESARROLLO DE EQUIPO AUTÓNOMO DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE IMÁGENES DE PLAYA

Gian M. Mavo Manstretta<sup>1</sup>, Gustavo Van Waarde<sup>1</sup>, Lucas Nuciari<sup>1</sup>, Alejandro J. Vitale<sup>1,2</sup>, Gerardo M. E. Perillo<sup>1,3</sup> y M. Cintia Piccolo<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET-UNS), Bahía Blanca, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>4</sup>Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.  
mavo@iado-conicet.gob.ar

### Introducción

Actualmente, las técnicas de monitoreo remoto representan una solución alternativa a los sistemas de muestreo tradicionales, ofreciendo costos más bajos de instalación y mantenimiento (Valentini et al., 2017). El monitoreo por video y captura de imágenes puede proporcionar información óptica de alta frecuencia a partir de la cual se pueden derivar cambios morfológicos y datos hidrodinámicos (Bouvier et al., 2019). Entre las técnicas preferidas de monitoreo no invasivas utilizadas se posiciona la colocación de cámaras *in situ* para obtener datos cualitativos y cuantitativos (Revollo et al., 2016).

Las playas son en esencia entornos inestables, donde se producen cambios continuos debido a diferentes fenómenos que incluyen un conjunto de factores de alta dinámica. Por lo tanto, para hacer la evaluación de los cambios en este entorno, se debe hacer un estudio permanente, lo que requiere un monitoreo continuo de la costa en una amplia escala espacio-temporal (Revollo et al., 2016). La insuficiencia en la frecuencia de las mediciones tradicionales (medición de perfiles, imágenes de sensores remotos, entre otras) y la rápida variabilidad de la costa en el tiempo, hace que las plataformas de video y captura de imágenes basadas en técnicas de procesamiento de imágenes digitales sean un instrumento óptimo para el estudio en playas (Valentini et al., 2017).

La localidad de Pehuén Co, se encuentra al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, y está emplazada sobre una saliente geográfica, lo que le otorga rasgos especiales en cuanto a su dinámica y morfología (Bustos, 2012). Su playa es baja y arenosa, con un ancho promedio que se acerca a los 140 m, y un régimen de marea semidiurno mixto. Desde el punto de vista sedimentológico, representa un ejemplo de playa heterogénea (mezcla de arena y grava), que se caracteriza por la presencia de un gran porcentaje de gravas de diferentes tamaños en una superficie arenosa (Perillo et al., 2011).

Con el objetivo de realizar un monitoreo y estudio evolutivo de las características morfológicas y ambientales que rigen en la playa de Pehuén Co, fue instalado un equipo de adquisición secuencial, procesamiento de imágenes y transmisión remota. Esta instalación se suma al conjunto de Estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) construidas y desarrolladas en el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET-UNS).

### Materiales y métodos

La estación de monitoreo fue localizada en una posición fija y paralela a línea de costa. Instalada sobre una torre ubicada en la parte superior del médano frontal (39°0'11.55"S, 61°33'50.52"W), a 20 m de altura (Figura 1A) y consta de un equipo integrado por 3 cámaras IP fijas (Figura 1B), 2 dedicadas a la captura de fotografías y 1 a la filmación de videos, que abarcan en conjunto un campo de visión de 160° (Figura 2). Las imágenes se graban en una microcomputadora que funciona dentro de un ambiente de programación de desarrollo propio, destinado a las tareas de

almacenamiento y procesamiento de las imágenes. Cada 30 minutos, las cámaras toman fotografías durante 2 minutos a una frecuencia de 2 Hz, luego el grupo de imágenes es procesado generando archivos con el cálculo de la media, simetría, varianza y curtosis, tomando como referencia la intensidad de color de cada pixel. A su vez, el periodo de filmación es de 5 minutos cada media hora, con una resolución de 720x480 y 10 cuadros/seg. El equipo está programado para restringir el funcionamiento de captura a las horas de adecuada luminosidad natural, mientras que durante las horas de oscuridad se ocupa de la transmisión de los archivos resultantes y los videos de forma autónoma hacia un servidor central vía internet. En una fase de postprocesamiento las imágenes promediadas son rectificadas utilizando una grilla de puntos medidos con precisión centimétrica por medio de un DGPS RTK y referenciados en la imagen (Figura 2), lo que permite asignarle coordenadas geográficas a cada pixel y la medición escalada de las distintas porciones que conforman la playa.



Figura 1. Instalación de equipo. A) Torre de instalación del equipo. B) Configuración de posicionamiento de las cámaras. C) Gabinete de adquisidor de datos.

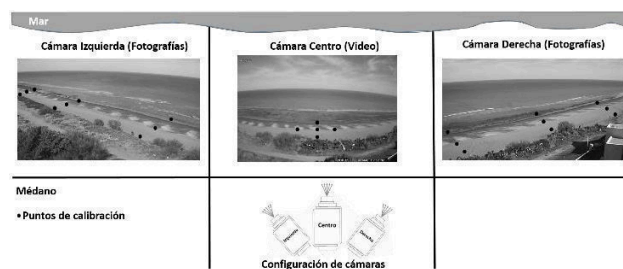


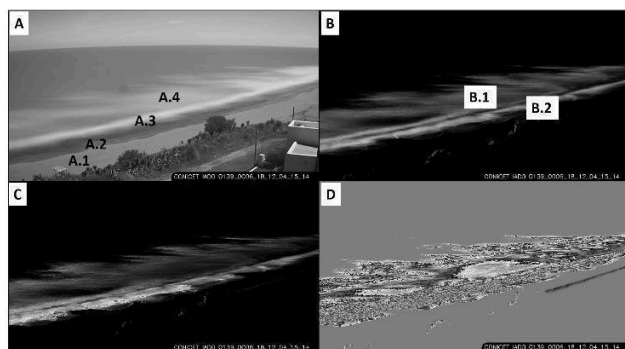
Figura 2. Diagrama de configuración del equipo: posición de las cámaras, fotografía muestra de las cámaras y puntos de calibración GPS

### Evaluación de resultados

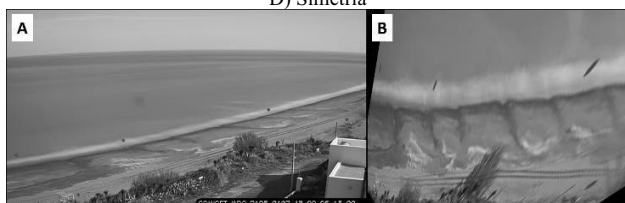
Para la evaluación de los resultados se toma una serie de imágenes resultantes (Figura 3) representativas de la cámara derecha (Figura 2), correspondiente a un estado de marea cercano a la pleamar y en proceso de bajante. A partir del análisis de las imágenes se puede determinar la posición de las porciones hidrodinámicas de la playa en ese instante, playa seca (Figura 3A.1), playa húmeda (Figura 3A.2), zona de deslizamiento (Figura 3A.4) y zona de lavado (Figura 3A.3).

Estas porciones de la playa también se pueden identificar en los resultados de la varianza (Figura 3B) y la curtosis (Figura 3C), donde como producto del movimiento constante del agua se originan grandes variaciones en las tonalidades de los píxeles de la imagen, lo que se transforma en tonalidades claras en las zonas de mayor variación y dinámica. Permitiendo así delimitar la posición de la zona de deslizamiento y la zona de lavado (Figura 3B.2), la cual tiene los mayores valores de varianza debido a la modificación de la imagen, en el proceso de lavado ascendente esta porción de la playa queda sumergida y luego durante el lavado retrocedente queda expuesta nuevamente, generándose con eso una variación en la intensidad de color de ambos momentos y las tonalidades claras en las figuras resultantes.

Dado que la captura de las imágenes se produce en ángulo oblicuo a la playa, se aplica una rectificación de la imagen, lo que permite además contar con una resolución espacial constante en las imágenes rectificadas. Para esto se realiza una transformación proyectiva de dos dimensiones. Utilizando los puntos de calibración de la imagen promediada (Figura 4A) se obtiene una vista en plano de la imagen (Figura 4B) sobre la cual se pueden realizar mediciones al estar escalada espacialmente mediante el proceso de rectificación. Esto permite la recopilación medida de información geomorfológica y dinámica de la playa y su evolución en el tiempo.



**Figura 3.** Imágenes resultantes. A) Imagen promediada, A.1) Playa seca A.2) Playa húmeda A.3) Zona de lavado A.4) Zona de deslizamiento. B) Varianza, B.1) Zona de lavado, B.2) Zona de deslizamiento. C) Curtosis. D) Simetría

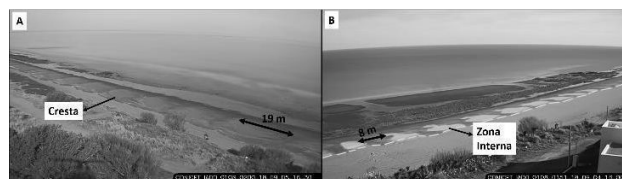


**Figura 4.** A) Imagen promediada. B) Imagen rectificada

## Aplicaciones

Una de las aplicaciones del equipo desarrollado es el estudio de la distribución de los elementos morfológicos que componen la playa, tal es el caso de las medialunas de playa, que son acumulaciones sedimentarias que forman un patrón de arco y periódico (Figura 5) generado por la interacción de los sedimentos con las olas. Estas se forman en la playa frontal, en la pendiente posterior de la berma y para el área de estudio tienen longitudes diferenciales entre sus flancos, con distancias máximas de 19 m (Figura 5A) y mínimas de 8 m (Figura 5B). Las crestas de las medialunas tienen formas de herraduras abiertas no bien desarrolladas en todos los casos (Figura 5A) y la parte interna de las medialunas tienen formas irregulares y de pendientes más suaves (Figura 5B). La variación de estas geoformas en el tiempo representa el movimiento de sedimentos a

lo largo de la playa y hacia el médano, lo que es fundamental para entender el comportamiento de la playa (Hage et al., 2018).



**Figura 5.** Distribución de medialunas de playa. A) Cámara izquierda: cresta de medialunas y ancho máximo medido entre flancos. B) Cámara derecha: zona interna de medialunas y ancho mínimo entre flancos

## Conclusiones

El equipo instalado permite el monitoreo de la playa y la obtención de un registro en imágenes procesables utilizadas para la descripción de los distintos elementos morfológicos que la constituyen, así como también su evolución en el tiempo. A su vez, las imágenes otorgan datos cualitativos y cuantitativos que pueden utilizarse para el análisis de las condiciones ambientales (condiciones de oleaje, mareas y corrientes) en las que se encuentra el área de estudio, así como también la afectación de eventos de tormenta y la erosión de la playa generada por actividades antrópicas.

Esta herramienta permite resolver algunas restricciones espaciales y temporales de otras metodologías tradicionales de muestreo *in situ* (que requieren de un traslado e intervención periódica al área de estudio) al proveer datos de alta frecuencia de forma continua y abarcando un mayor espectro espacial dado por el enfoque desde la posición de las cámaras. Además de disminuir los requerimientos logísticos y financieros de otras técnicas, ya que al obtener los resultados con carácter remoto y no invasivo, representa una forma efectiva de optimización de recursos. El paso siguiente, a partir del análisis de los videos, es la determinación de las características de las olas (altura, período y ángulo de rompiente), así como también la intensidad y dirección de la corriente litoral.

## Referencias bibliográficas

- Bouvier, C., Balouin, Y., Castelle, B. y Holman, R.** (2019). "Modelling camera viewing angle deviation to improve nearshore video monitoring". *Coastal Engineering*. 147, 99-106.
- Bustos, M. L.** (2012). Estudio integrado ambiental del balneario de Pehuén Co. Universidad Nacional del Sur. Tesis de doctorado. Bahía Blanca, Argentina.
- Hage, P. M., Ruessink, B. G. y Donker, J. J. A.** (2018). "Determining sand strip characteristics using Argus video monitoring". *Aeolian Research*. 33, 1-11.
- Perillo, G. M. E., Perillo, M. M., Piccolo, M. C., Revollo G. N., Revollo, N. V. y Alberdi, E. D.** (2011). "A preliminary analysis of flat-gravel transport over a sandy beach, Pehuén Co, Argentina". *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 18 (2), 105-120.
- Revollo, N. V., Delrieux C. A. y Perillo G. M. E.** (2016). "Automatic methodology for mapping of coastal zones in video sequences". *Marine Geology*. 381, 87-101.
- Valentini, N., Saponieri, A. y Damiani, L.** (2017). "A new video monitoring system in support of Coastal Zone Management at Apulia Region, Italy". *Ocean & Coastal Management*. 142, 122-135.

## ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES DE SEDIMENTACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SU VARIACIÓN CON LA SALINIDAD

Lucía A. Ponce de León, Fernanda Maciel, Pablo Santoro y Francisco Pedocchi

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería,  
Universidad de la República, Uruguay  
lponce@fing.edu.uy, fmaciel@fing.edu.uy, psantoro@fing.edu.uy, kiko@fing.edu.uy

### Introducción

El presente trabajo se centró en el estudio del efecto de la salinidad sobre las velocidades de sedimentación de los sedimentos cohesivos del Río de la Plata, en la localidad de Punta del Tigre, Departamento de San José, Uruguay. Los sedimentos cohesivos (arcillas y limos) son una fracción muy importante de los sedimentos en la zona, y es esperable que su velocidad de sedimentación esté afectada por el proceso de agregación o floculación.

Con este fin, aproximadamente a 700 m de la playa se fondeó un recipiente de captación de sólidos suspendidos. El mismo consiste en un tubo vertical de 10 cm de diámetro y 0,6 m de altura apoyado en el lecho. El material recolectado en el recipiente se retiró en intervalos de 1 a 3 meses entre 2015 y 2018. Simultáneamente se cuentan con medidas cada media hora de turbidez, salinidad, temperatura, profundidad, velocidad de corrientes y oleaje, realizadas con CTD, OBS3+ y ADCP.

Complementariamente, se realizaron ensayos de sedimentación en el laboratorio con muestras del material recolectado y distintas concentraciones de sal, para observar el efecto de la salinidad sobre la velocidad de sedimentación de los sedimentos cohesivos.

### Materiales y Métodos

#### Obtención, cuantificación y caracterización del sedimento:

Una vez retirado el sedimento del tubo fondeado, en laboratorio se cuantifica el peso total húmedo en una balanza común de mesa.

Asimismo, se toman tres muestras (para tener repetición) que se pesan antes y después de secarlas en horno a 105 °C durante al menos seis horas, cuantificando de esta forma los pesos húmedo y seco, con los que se calcula el promedio de la relación peso húmedo sobre peso seco.

Posteriormente se realiza un ensayo de tamizado húmedo con tamiz #200 para determinar el contenido de arena como porcentaje del peso total seco, asumiendo que el material retenido en el tamiz #200 es considerado arena y el material pasante es sedimento sin arena (Bowles, 1970).

Dividiendo el peso total húmedo por la relación peso húmedo sobre peso seco promedio hallada se obtiene el peso del sedimento ( $M$ ). Luego, sustrayendo el porcentaje de arena se obtiene la masa de sedimentos sin arena ( $M_{\text{sin arena}}$ ). La velocidad de sedimentación ( $\bar{w}$ ) se estima con el balance de masa expresado en la Ecuación [1], donde  $\bar{C}$  es la concentración estimada de sólidos suspendidos,  $\bar{w}$  la velocidad de sedimentación,  $A$  el área del tubo y  $t$  el intervalo de tiempo que se encuentra fondeado el tubo.  $\bar{C}$  se determina a partir de los valores de turbidez medidos con el OBS3+ de acuerdo con la Ecuación [2] (relación turbidez-concentración calibrada para la zona), donde  $\bar{T}$  corresponde a la media/mediana de la turbidez para cada período de tiempo en que se encuentra fondeado el tubo.

Según si se usa la media o mediana de la turbidez, se obtiene  $\bar{w}_{\text{media}}$  o  $\bar{w}_{\text{mediana}}$  respectivamente.

$$M_{\text{sin arena}} = \bar{w}At\bar{C} \quad [1]$$

$$\bar{C} = 0.7\bar{T} \quad [2]$$

#### Ensayo de sedimentación:

Para estos ensayos, que buscan determinar la velocidad de caída de los sedimentos, se utilizaron sedimentos recolectados en la salida del 28 de septiembre de 2017. El ensayo se realiza con la porción de sedimento que pasa por el tamiz #200 (sedimento sin arena).

El material utilizado consiste en una probeta graduada de 2 litros que por detrás tiene un foco de luz con dos rendijas, creando dos focos individuales, separados por una pantalla oscura y opaca para que no interactúe uno con el otro. Uno de los focos incide en la probeta, mientras que el segundo es necesario para normalizar las imágenes debido a posibles variaciones de intensidad de luz durante el ensayo.

En la probeta se coloca material pasante del tamizado húmedo con una concentración de 200 mg/L. El sedimento previamente pesado se diluye y luego se vuelca a la probeta, donde se mezcla con una varilla. Una vez obtenida la suspensión, se comienza a tomar fotografías del proceso de sedimentación. Esto se realiza con mayor frecuencia al inicio del ensayo (cada 1-10 segundos), decreciendo la frecuencia a 1 imagen cada 1 hora hacia el final del ensayo. Se completan 48 horas de ensayo. La cámara utilizada es una cámara web Logitech C170. El ensayo se realizó para salinidad nula y para salinidades de 1 ppt y 10 ppt, para estudiar la variación de la estimación de la velocidad de caída con la salinidad.

El análisis fotográfico permite obtener la intensidad recibida por la cámara luego de atravesar la probeta y la intensidad emitida por el foco de luz a lo largo del tiempo. Considerando el color de los sedimentos se utiliza la intensidad recibida por la cámara en la banda azul en una ventana a determinada distancia de la superficie libre de agua. La ventana utilizada tiene una dimensión de 30x100 píxeles, y se ubicó a una distancia de 9 cm por debajo de la superficie libre del agua.

Como el foco no siempre emite la misma intensidad del luz, se normaliza la intensidad en cada una de las imágenes de modo que la intensidad incidente pueda considerarse constante, esto se realiza utilizando una zona fuera de la probeta como referencia.

Con esto se calcula la absorbancia ( $-\log_{10} I/I_0$ ), donde  $I$  es la intensidad que llega al receptor (cámara) luego de atravesar la probeta, e  $I_0$  es 255 (Campbell et al. 2004). Posteriormente, aplicando la Ley de Beer-Lambert [Ecuación 3] se puede vincular la absorbancia con el área transversal de las partículas en suspensión (Pedocchi y Garcia 2006), y esta última a la concentración elevada a la 2/3, si se asumen partículas aproximadamente esféricas

$$-\log_{10} \frac{I}{I_0} = kC^{2/3} \quad [3]$$

donde  $k$  es una constante que depende del experimento y su valor se estima con la Ecuación [3] en el instante inicial, ya que en este momento la concentración es conocida (200 mg/L), y  $C$  es la concentración en mg/L.

En cada instante la velocidad de caída de corte  $w=d/t$  hasta ese instante se calcula como la distancia  $d$  desde la superficie libre de



agua hasta el centro de la ventana (9 cm) dividido el tiempo transcurrido del ensayo  $t$ .

## Resultados

Primeramente se observó que las velocidades de sedimentación estimadas a partir de la captura de sedimentos en campo y las medidas del OBS3+ resultaban mayores para períodos de mayor salinidad, pero esto podría ser consecuencia de un mayor porcentaje de arena en las muestras capturadas, ya que mayores salinidades corresponden en general a aguas más claras. Por esto se decidió separar la fracción fina de cada muestra y estudiar la variación de la captura de sedimentos finos con la salinidad. En la Figura 1 se muestran los resultados de salinidad y velocidad de caída media de la fracción fina para cada salida.

En la Figura 2 se observa la distribución acumulada de la velocidad de caída para las salinidades 0 ppt, 1 ppt y 10 ppt, obtenida con la Ecuación [3].

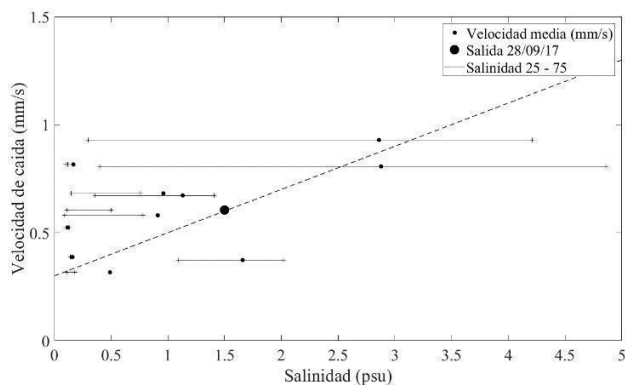


Figura 1.- Gráfico de resultados de velocidad media (mm/s) y rango de salinidad (percentil 25 y percentil 75) de los intervalos de las salidas.

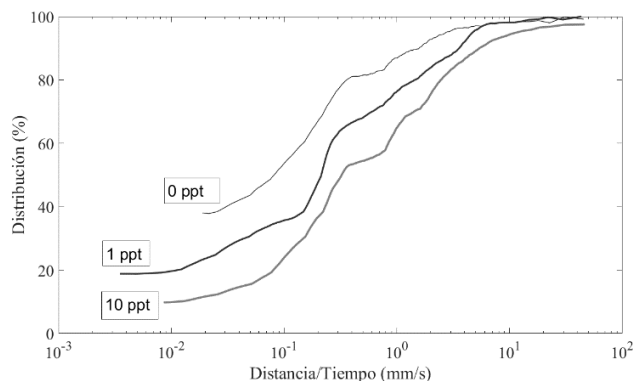


Figura 2.- Gráfico de distribución de velocidad de caída a partir de la Ecuación [3] (en porcentaje respecto a la concentración inicial).

## Discusión y Conclusiones

Graficando la distribución de la velocidad de caída en escala logarítmica se observa un comportamiento asintótico en los primeros 2 minutos seguido por una relación lineal y finaliza con un segmento también asintótico hasta que la concentración estimada a partir de la absorbancia se hace constante.

La salida del 28 de septiembre del 2017 proporcionó datos sobre el período comprendido entre 29 de junio de 2017 y 28 de septiembre de 2017. Como se puede ver en la Figura 3, durante este período los valores de salinidad en general son bajos, pero se presentan picos importantes que influyen en los parámetros estadísticos. Esto último refiere a que el percentil 25 no supera el 0,11 ppt (1 ppt ~1 psu) y el 75 no supera 0,5 ppt. Sin embargo, la

salinidad media es mayor (1,5 ppt). Esto muestra que aunque la salinidad en general fue baja, los picos fueron muy elevados (hasta 24 ppt). En este período la velocidad media de sedimentación fue  $\bar{w}_{media} = 0,61$  mm/s y  $\bar{w}_{mediana} = 0,65$  mm/s.

En general se observan mayores velocidades de sedimentación en períodos con mayor salinidad (Figura 1). En períodos con muy baja salinidad la  $\bar{w}_{media}$  se encuentra entre 0,32 y 0,58 mm/s, mientras que en los períodos con mayor salinidad se encuentra entre 0,67 y 0,92 mm/s. Se puede observar en la Figura 1 que una alta velocidad de caída se corresponde con una alta salinidad media, pero en estos períodos existe también una gran variabilidad de salinidad (expresada en la diferencia entre el percentil 75 y el 25). Por otro lado, se destaca que para muy baja salinidad (<0.25 ppt) la velocidad es independiente de la salinidad. Considerando las excepciones de baja salinidad y algún valor atípico, se presenta un ajuste lineal entre salinidad y velocidad de caída considerable.

Según el ensayo, la velocidades de caída sin salinidad se encuentran entre 0,08 y 0,29 mm/s (valores para disminución del 50% y 25%), mientras que para salinidad de 1 ppt suben a 0,21 y 0,92 mm/s, y para 10 ppt suben a 0,38 y 1,86 mm/s. Estos valores son del orden de los estimados en campo, aunque algo menores. Permiten igualmente observar la relevancia de la salinidad sobre la floculación de los sedimentos cohesivos y su velocidad de caída.

La relación entre velocidades de sedimentación con y sin salinidad obtenidas son de utilidad para la modelación de los sedimentos finos en modelos numéricos hidro-sedimentológicos desarrollados en el IMFIA como el de Santoro (2017).

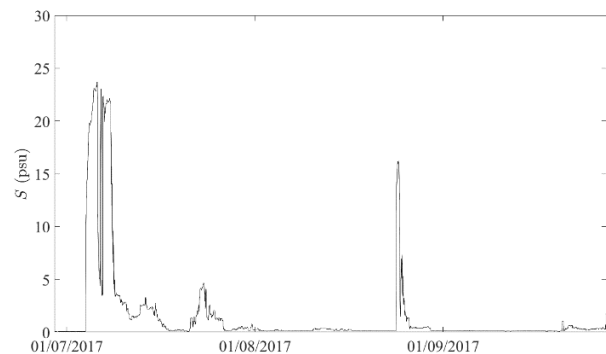


Figura 3.- Gráfico de salinidad del período 29/06/17 - 28/09/17.

## Agradecimientos

Parte de las mediciones utilizadas en este trabajo se realizaron durante los trabajos de campo que el IMFIA realiza para la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas del Uruguay (UTE).

## Referencias

- Bowles, Joseph (1970). "Engineering properties of soils and their measurement". Bradley Univ. McGraw-Hill Book Company, pp 33-48.
- Campbell, Chris y Laycak, Danny y Hoppes, William y T. Tran, Nguyen y Shi, Frank G. (2004). "High Concentration Suspended Sediment Measurements using a Continuous Fiber Optic In-Stream Transmissometer". *Journal of Hydrology*.
- Pedocchi, Francisco y García, Marcelo H. (2006). "Evaluation of the LISST-ST instrument for suspended particle size distribution and settling velocity measurements". University of Illinois at Urbana-Champaign. Elsevier.
- Santoro, Pablo (2017). "Modelación numérica de la hidrodinámica y dinámica de sedimentos finos en la Bahía de Montevideo". Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 2017, 325pp.

# ENSEÑANZA DE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS. TURBINA TURGO, PELTON Y AXIAL. DESAFÍOS Y ADAPTACIONES

Teresa Reyna, María Lábaque y Belén Irazusta

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Nacionales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.  
 belen.irazusta@gmail.com. teresamaria.reyna@gmail.com. mlabaque@gmail.com.

## Introducción

La promoción de las tecnologías de energías renovables forma parte de las estrategias para el desarrollo de la mayoría de los países. Estas tecnologías además de lograr diversificación energética, ofrecen esperanza de desarrollo para comunidades pobres y aisladas sin conexión a las grillas de transporte y distribución eléctrica.

Las microturbinas hidráulicas forman parte de este grupo de tecnologías. En Argentina existe un importante potencial para la implementación de estas máquinas pero su uso no es extendido en nuestro país particularmente por la falta de familiaridad con los equipos, su operación y su mantenimiento, tanto a nivel de los técnicos como de la población para incluirlas como alternativas de solución.

Para acelerar la aplicación de sistemas alternativos en las zonas rurales, y hacer de esta una práctica habitual, se necesita desarrollar equipos adecuados, adaptarlos para su producción progresiva en las industrias locales, y establecer un sistema de financiación en colaboración con los bancos locales para asistir a los usuarios y propietarios potenciales. Existe una demanda insatisfecha de equipos robustos y confiables que puedan suministrar pequeñas cantidades de energía a bajo costo (Reyna et al, 2016).

Uno de los objetivos propuestos por un grupo de profesores de la Carreras de Ingeniería Civil, de la Especialización en Hidráulica y de la Maestría en Recursos Hídricos de la FCFyN es implementar técnicas modernas y métodos de enseñanza actuales para lograr la difusión de las microturbinas hidráulicas entre los estudiantes y la población en general. Con este fin se trabaja en conjunto entre estudiantes de nuestra Universidad y estudiantes de un Instituto Técnico de nivel Secundario (Instituto Técnico Cristo Obrero de la Ciudad de Carlos Paz).

Las tareas se vienen desarrollando a través de proyectos de investigación financiados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNC (SECyT). Los proyectos consistieron en análisis y construcción de distintos tipos de microturbinas: turbina Michael Banki (2010-2012), turbina axial (2015-2017), turbina Turgo (2017-2018) y turbina Pelton (2018). El proyecto de cada una de ellas consta del diseño, modelación e impresión en 3D realizados por estudiantes universitarios y la mecanización de las turbinas realizado por estudiantes secundarios en el Taller del Instituto Técnico.

## Elección de la Micro Turbina

Todos los proyectos tuvieron como objetivo el desarrollo de distinto tipo de microturbinas de manera de cubrir distintas opciones de parámetros de diseño en función de las condiciones ambientales de sitios de la Provincia de Córdoba (caudal y carga).

En la Figura 1 se observa el rango de aplicación considerado para las distintas turbinas.

Entre los años 2010 – 2018 se diseñaron cuatro máquinas de diferente tipo, cuyos parámetros de diseño se resumen a continuación:

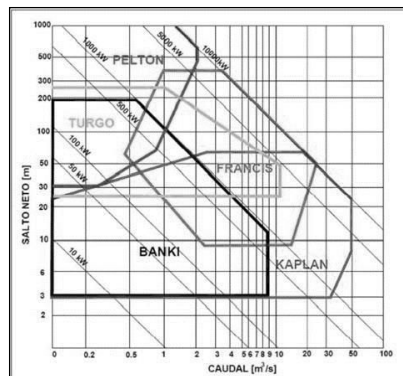


Figura 1.- Rango de aplicación de distintas turbinas. (Fuente: Fernández Mosconi et al., 2003).

Tabla 1.- Parámetros de diseño .

Turbina	Caudal [m³/s]	Carga [m]	Potencia útil [kW]
Michell-Banki	0,12	25	18
Hélice	0,1	5	2
Turgo	0,01	26	1,53
Pelton	0,0032	38	1

En todas estas máquinas se partió con el análisis del estado del arte, y luego su diseño en función de los parámetros del sitio seleccionados.

El paso posterior fue la búsqueda de la simplificación de los elementos más complejos de construir y mecanizar de manera de conseguir modelos simples y económicos aún a costo de la eficiencia de la máquina.

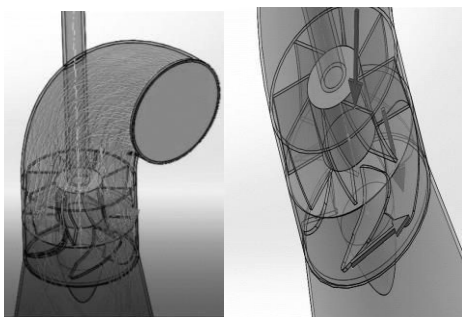
## Modelación

Con el diseño hidráulico adoptado, se procedió a continuación a realizar la modelación de las turbinas en el software SolidWorks 3D, de manera de poder observar de manera clara, el conjunto de todos los componentes centrales de las turbinas.

SolidWorks permite representar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción.

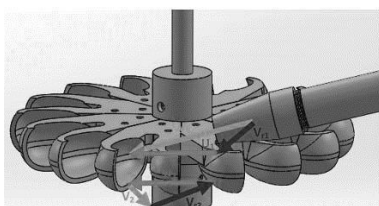
Además, este software permite simular el flujo con la herramienta Flow Simulation, utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD).

La simulación con SolidWorks permite la representación en 3D de las turbomáquinas, que permite observar el paso del flujo a través de las distintas máquinas de manera clara y didáctica. Se traslada así el proyecto a las aulas, representando las diferentes componentes de velocidad del flujo de manera visual y sencilla, superando la gran dificultad que presentan los alumnos para la correcta comprensión de la modelación del flujo en la mecánica de los fluidos aplicada a las turbomáquinas.



**Figura 2.-** Flujo a través de la turbina hélice y descomposición de vectores de velocidad.

Por medio de estas simulaciones es posible observar el movimiento rotacional de las turbinas, así como pueden evaluarse diferentes condiciones de funcionamiento de las mismas. De esta manera, los alumnos van familiarizándose con el flujo en la Microturbinas y las partes componentes de las mismas.

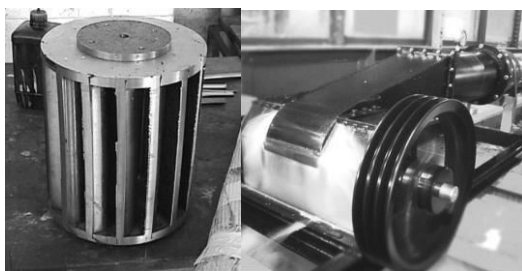


**Figura 3.-** Descomposición de vectores de velocidad en la turbina Turgo(Irazusta, 2018).

## Materialización

Una vez que se contó con la modelación 3D de las máquinas se procedió a su materialización.

La primera turbina trabajada en el proyecto fue la Michell Banki. Esta máquina fue construida completamente en talleres de la Ciudad de Córdoba y se encuentra actualmente instalada en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEFyN de la UNC.



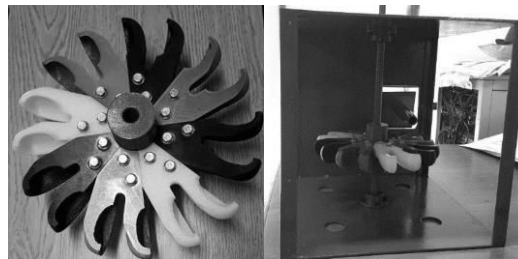
**Figura 4.-** Rodete turbina Michell Banki y turbina en funcionamiento.

La turbina hélice fue diseñada por Florencia Grosso (2016) y construida en el Instituto Técnico Cristo Obrero (Figura 5) y su instalación se encuentra en estado de selección de sitio en la Provincia. Además, el rodete y estator de esta turbina fueron materializados en impresoras 3D, a escala 1:1, para ser llevados a las aulas de clases



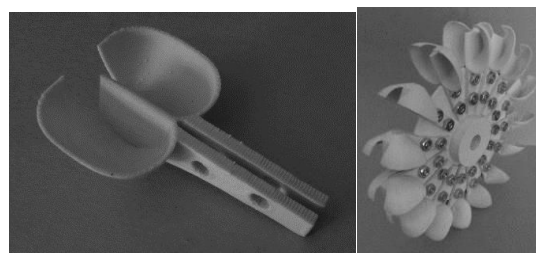
**Figura 5.-** Rodete turbina hélice de impresión 3D y turbina terminada.

La turbina Turgo diseñada por Martin Mohaded (2018) fue en primer lugar materializada con modificaciones de Belen Irazusta (2018) con impresoras 3D y luego se generó un banco de prueba móvil (Colegio Cristo Obrero) para llevar y poner en funcionamiento en las aulas.



**Figura 6.-** Rodete turbina Turgo de impresión 3D y banco de pruebas.

Finalmente, el rodete de la turbina Pelton fue impresa 3D también para que los alumnos tengan acceso a la misma.



**Figura 6.-** Rodete turbina Turgo de impresión 3D y banco de pruebas (Petrazzini, 2018).

## Conclusiones

La difusión de las diferentes tecnologías disponibles para el uso de energías renovables resulta cada día de mayor interés. Así, la micro-hidráulica es una herramienta necesaria para que los alumnos puedan desarrollarse en este ámbito. A su vez, la renovación de técnicas de enseñanza resulta imprescindible para que los alumnos puedan familiarizarse con las turbomáquinas hidráulicas y el día de mañana puedan utilizarlas y desarrollarlas.

Resulta de interés el desarrollo del diseño hidráulico de diferentes tipos de turbinas, en este caso, Michell Banki, hélice, Turgo y Pelton, aunque es aconsejable continuar con el desarrollo de las mismas y ampliando el rango de máquinas disponibles. También, la impresión 3D resulta una herramienta muy útil en la enseñanza permitiendo de manera económica un gran acercamiento de los alumnos a las turbinas.

Nuestro agradecimiento a la SECyT UNC y al Instituto Técnico Cristo Obrero de la Ciudad de Carlos Paz, Provincia de Córdoba.

## Referencias

- Fernández Mosconi, J., Audisio, O. y Marchegiani A.** (2003). Pequeñas Centrales Hidráulicas. Apuntes de clase. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería. Neuquén, Argentina.
- Grosso, Florencia** (2016). Energía Renovable para Comunidades Aisladas. Desarrollo de una Micro turbina Axial. Informe de Práctica Supervisada. FCEFyN – UNC.
- Irazusta, B.** (2018). “Diseño de una Microturbina Turgo”. Trabajo Final Especialización en Hidráulica. FCEFyN – UNC.
- Mohaded, M.**(2018). Diversificación de la Matriz. Energetica. Diseño de una Micro Turbina Turgo. Trabajo Final de la Especialización en Hidráulica. FCEFyN – UNC.
- Petrazzini, V.** (2018). Energía Renovable con micro turbina Pelton. Informe de Práctica Supervisada. FCEFyN – UNC.
- Reyna T, Reyna, S., Lábaque M., Riha C, Grosó F.** (2016) Applications of Small Scale Renewable Energy. Journal of Business and Economics, USA. Academic Star Publishing Company. ISSN: 2155-7950.



## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO DE UN PROTOTIPO DE BOYA, EN MODELO FISICO HIDRÁULICO.

*Sebastián SCHMIDT, José HUESPE y Héctor PRENDES*

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL – Santa Fe)*

*Email: [sschmidt@fich.unl.edu.ar](mailto:sschmidt@fich.unl.edu.ar); [jhuespe@fich.unl.edu.ar](mailto:jhuespe@fich.unl.edu.ar)*

### Introducción

El Ente Administrador del Puerto de Santa Fe, ha desarrollado el diseño de una boya de señalización a la navegación para utilizar en su canal de Acceso al Puerto. Para verificar su funcionamiento hidrodinámico, y eventualmente en caso de ser necesario modificar algunas de las condiciones de diseño, encomendó a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL), la realización de una serie de ensayos en un modelo físico de este prototipo. Interesaba particularmente lograr la verticalidad y estabilidad dinámica de la boya.

### Construcción de Modelo Físico

De todas las variables intervinientes en la mecánica de fluidos, para el estudio de la boya corresponde destacar a las más importantes, que son: la gravedad, la velocidad y la profundidad; en consecuencia, se propone realizar un modelo con semejanza de número de Froude. Debido a las condiciones con la que se cuenta en el Laboratorio de Hidráulica de la FICH, se propuso realizar el modelo en dos escalas diferentes, las escalas elegidas son 1:10 y 1:20.

Los dos modelos fueron construidos de similar manera, se eligieron los materiales para cumplir tanto con las dimensiones como con el peso de los mismos.

Los modelos de la boya fueron construidos por una impresora 3d, cuyo material de impresión que se utilizó fue ABS. Estas fueron diseñadas por medio de un software de específico para cumplir con todas las condiciones.

Para el mástil y el timón se utilizó aluminio como material de construcción. El contrapeso fue hecho con una mezcla similar al hormigón y moldeado en un recipiente a medida.

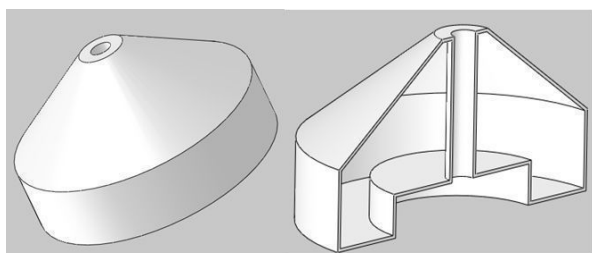


Figura 1.- Diseño de la boya construida por impresora 3D

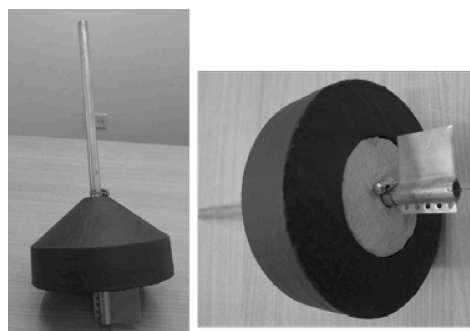


Figura 2.-Boya escala 1:10

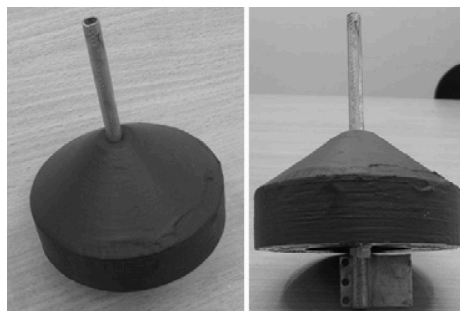


Figura 3.-Boya escala 1:10

### Dispositivo donde se realizaron los ensayos:

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Hidráulica Nave 1, de la FICH – UNL, específicamente, en un canal vidriado de 16 m de longitud cuyas características se detallan a continuación:

Sus dimensiones son 16 m de largo, 0,40 m de ancho y 0.60 m de alto. En su ingreso de agua tiene una cuba rellena con ladrillos huecos para uniformizar el flujo, y en el ingreso a la sección del canal tubos de PVC para cumplir con la misma función.

Cuenta con un piso fijo revestido por una cubierta de goma y en su extremo final, donde descarga el agua, hay una compuerta rebatible que es regulada por un tornillo sinfín. Sus paredes laterales son vidriadas. Cuenta con un sistema de cañerías anexas a la estructura del canal para realizar ensayos de forma tipo circuito cerrado.



Figura 4.- Vista del canal de ensayos



### Ensayos con boya en escala 1:20:

Se inició los ensayos con la boya en Escala 1/20 que corresponde a una escala de velocidad de  $1/4,47214$ , para mantener semejanzas del número de Froude.

Se adoptaron tres condiciones de tirante de: 6, 8 y 10 m de profundidad en prototipo (con escala de longitud 1/20, en el modelo son 0.30, 0.40 y 0.50 m respectivamente)

La boya 1/20 incluye cadena de longitud y peso acorde a la escala. Se observe en los diferentes ensayos que, en función de combinaciones de profundidad y velocidad de corriente, varía la verticalidad de la boya, inclinándose su mástil hacia aguas arriba o aguas abajo (Figura 5).

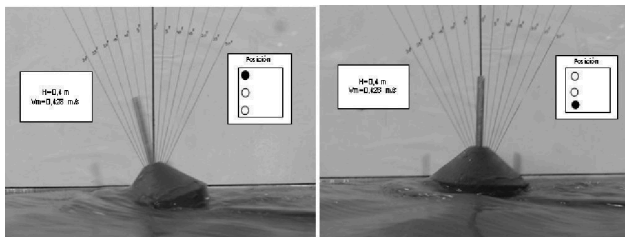


Figura 5.- Ensayos con diferentes condiciones

### Ensayos con boya en escala 1:10 utilizando una retención sin peso:

Los ensayos realizaron con boya en escala 1/10, utilizando un hilo plástico (para eliminar el peso) y atado a una varilla (para poder variar arbitrariamente la dirección de la fuerza de retención).

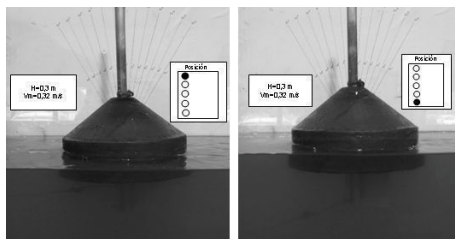


Figura 6.- Ensayos con diferentes condiciones

### Ensayos con boya en escala 1:10 utilizando su cadena de amarre:

También se realizaron ensayos con boya en escala 1/10, utilizando contrapeso y cadena según característica del prototipo.

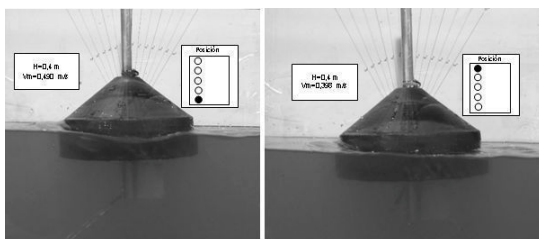


Figura 7.- Ensayos con diferentes condiciones

### Ensayos con boya en escala 1:10 con amarre en el centro de su eje:

En base a los resultados obtenidos anteriormente se decide cambiar el punto de sujeción, generando un nuevo punto ubicado abajo del vástago que soporta el timón y en coincidencia con la

proyección del eje de la boya

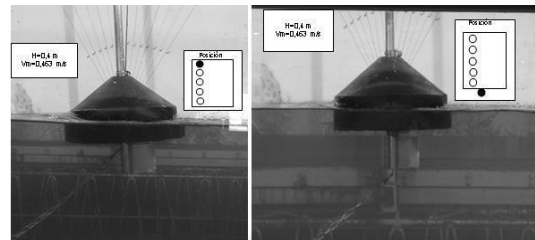


Figura 8.- Ensayos con diferentes condiciones

### CONCLUSIONES

- 1) Los ensayos en modelos Escala 1:20 y 1:10 muestran que ante velocidades de corriente superiores a 1,5 m/s la boya no presenta adecuada estabilidad hidrodinámica, experimentando movimientos basculatorios en planta (desplazamientos laterales aleatorios) y en vertical (inclinación aleatoria del eje hacia aguas arriba). Este último efecto se produce porque la fuerza de retención (cadena) sumerge más la boya y el agua, en su zona de aguas arriba, sube a la parte cónica. Si bien un aumento en la altura de la parte cilíndrica podría evitar este efecto sobre la verticalidad, la inestabilidad en planta continuaría persistiendo.
- 2) Con respecto a la verticalidad del eje de la boya, deseado para una mejor visual y eventualmente soportar un correcto sistema lumínico, la misma es muy variable con velocidades de corriente, longitud y peso de la cadena de anclaje y punto de sujeción de la boya. Se realizaron numerosos ensayos en los dos modelos analizados (Escala 1:20 y 1:10) sin lograrse asegurar la estabilidad con un único punto de sujeción, de los 5 materializados sobre la chapa proyectada hacia aguas arriba del timón. Cuando las velocidades de corriente son bajas (inferiores a 0,3 m/s) la verticalidad del eje se aproxima bastante sin afectar la posición del punto de sujeción; pero, cuando las velocidades de corriente aumentan, el eje de la boya se inclina hacia aguas arriba independientemente de la posición del punto de sujeción.
- 3) Para intentar resolver este problema de verticalidad del eje, planteado en 2), se incorporó en el modelo un nuevo punto de sujeción de la boya. El mismo se ubicó sobre la proyección del eje, en la parte inferior del vástago que sostiene el timón. Los ensayos realizados sujetando a la boya desde este punto, y con diferentes longitudes y pesos de cadena de anclaje, mantuvieron la verticalidad de la misma.

## TELEDETECCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y CLOROFILA-A EN AGUAS COSTERAS TURBIAS: AVANCES PARA UNA ESTIMACIÓN CONFIABLE

Fernanda Maciel, Lucía Ponce de León y Francisco Pedocchi

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay  
fmaci@fing.edu.uy, lponce@fing.edu.uy, kiko@fing.edu.uy

### Introducción

Las imágenes satelitales proveen una visión sinóptica del océano y zonas costeras, y potencialmente son herramientas muy útiles para la estimación de parámetros de calidad de agua, como turbidez y clorofila-a. Sin embargo, la teledetección en aguas costeras presenta un desafío debido a la complejidad óptica de sus aguas en comparación con el océano abierto. Este trabajo se enfoca en el Río de la Plata, que es particularmente desafiante dada su alta turbidez, que dificulta la separación de las señales provenientes de los sedimentos inorgánicos y de los pigmentos del fitoplancton. Para avanzar en la obtención de índices confiables de sólidos suspendidos totales (SST) y clorofila-a (clo-a) se cuentan con datos in situ en la zona de Punta del Tigre (San José, Uruguay); y se utilizan imágenes satelitales de Landsat-8 y Sentinel-2 A/B.

### Corrección atmosférica

Las mediciones satelitales están afectadas por gases y aerosoles presentes en la atmósfera en el instante que fue tomada la imagen. Para remover estos efectos y que imágenes de distintas fechas sean comparables entre sí, es necesario aplicar lo que se denomina corrección atmosférica.

Para Landsat-8 y Sentinel 2 A/B se encuentra disponible el software Acolite (<https://odnature.naturalsciences.be/remsem/software-and-data/acolite>), con métodos de corrección atmosférica aplicables a aguas turbias.

### Datos y Métodos

#### Datos in situ disponibles

Por un lado, se cuenta con series continuas de turbidez medida con OBS3+ en el período 2015-2019, y de turbidez, fluorescencia de clo-a y de ficocianina medidas con fluorómetro ECO Triplet a partir de diciembre 2018; por otro lado se realizan campañas de medición donde se obtienen espectros de reflectancia con 3 radiómetros hiperspectrales Ramses Trios, y muestras de agua para medición de clo-a por extracción, SST y SSF (sólidos suspendidos fijos). Las campañas de medición son típicamente cada 45 días desde 2015, pero desde octubre 2018 se intensifican a frecuencia semanal. Complementariamente, se tienen mediciones continuas desde 2015 de salinidad, temperatura, corrientes y oleaje en la zona, realizadas con CTD y ADCP.

Con los radiómetros es posible medir reflectancias del agua ( $\rho_w(\lambda)$ ) a nivel del mar (sin efectos de la atmósfera). Estos datos se utilizan para evaluar distintas correcciones atmosféricas, así como para identificar firmas espectrales bajo distintas condiciones de calidad de agua (ver Figura 1).

#### Datos satelitales

Se evalúan distintas correcciones atmosféricas (CA) disponibles en Acolite para las imágenes satelitales de Landsat-8 y Sentinel-2 A/B:

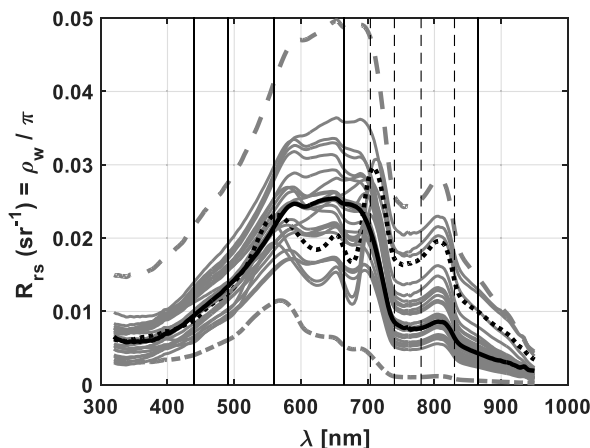
- **DSF** (ajuste de espectro oscuro; Vanhellemont 2019).
- **EXP** (método exponencial; Vanhellemont & Ruddick 2015), variando la forma de estimación de los parámetros  $\rho_{am}$  (reflectancia de aerosoles) y  $\epsilon$  (que representa la dependencia espectral de  $\rho_{am}$ ). Los sets de parámetros elegidos son:  $\epsilon$  fijo en percentil 5 y  $\rho_{am}$

variable (**EXP  $\epsilon$ 5**),  $\epsilon$  fijo en percentil 50 (**EXP  $\epsilon$ 50**) y  $\rho_{am}$  variable,  $\epsilon$  fijo en percentil 50 y  $\rho_{am}$  fija en percentil 5 (**EXP  $\epsilon$ 50  $\rho_{am}$ 5**).

#### Índices de parámetros de calidad de agua

Primeramente, se realiza un ajuste de turbidez ( $\tau$ , en NTU)  $\rho_w$  de los satélites en la banda infrarroja cercana (NIR). La banda NIR se seleccionó basada en bibliografía, pero además teniendo en cuenta que el OBS3+ es un instrumento óptico que mide la retro-dispersión en la banda de 850 nm, muy similar a la banda NIR de ambos satélites. Para ello se utilizan datos coincidentes de turbidez y satelitales en el período 2015-2018. El índice ajustado se compara con el sugerido por Dogliotti et al (2015) para aguas turbias.

A partir del cambio en las firmas espectrales medidas in-situ en relación al contenido de clo-a (Figura 1), se seleccionan dos índices de bibliografía, el NDCI (Mishra&Mishra, 2012) y el CIA (Hu et al, 2012). El primero mide la diferencia normalizada entre  $\rho_w$  en el rojo ( $\lambda=665$  nm) y en el borde rojo ( $\lambda=704$  nm), mientras que el segundo se relaciona al pico relativo en verde ( $\lambda=560$  nm) a una línea de base entre el azul ( $\lambda=490$  nm) y el rojo ( $\lambda=665$  nm). Se hace notar que el NDCI no puede calcularse con Landsat-8 ya que no posee banda en el borde rojo.



**Figura 1.-** Superposición de todos los espectros de reflectancia medidos in situ con radiómetros hiperspectrales. Las líneas verticales sólidas indican aproximadamente el centro de bandas presentes en ambos satélites, mientras que las líneas verticales punteadas indican el centro de bandas de Sentinel-2 A/B. Los espectros asociados a las condiciones extremas registradas de turbidez y clo-a se indican con trazo/intensidad distintos: 2 NTU (línea gris punteada inferior), 88 NTU (línea gris punteada superior); 1  $\mu\text{g/L}$  de clo-a (línea oscura continua) y 80  $\mu\text{g/L}$  (línea oscura punteada).

### Resultados y Discusión

#### Ajuste de turbidez

Para realizar este ajuste se utiliza la CA EXP  $\epsilon$ 50, debido a que es la CA con la que se obtuvo los mejores resultados para la banda NIR (error relativo absoluto promedio de 40%, y percentiles 25 y 75 del error relativo igual a -20% y 28% respectivamente). El ajuste fue realizado con datos de Landsat-8 (30 datos) y Sentinel-2 (17 datos), seleccionando un ajuste lineal con restricción de pasar por el origen, obteniéndose el ajuste dado en la ecuación [1].

$$\tau[NTU] = 2400\rho_w(NIR) \quad [1]$$

El valor 2400 es la pendiente de ajuste, que posee dimensiones de NTU ya que la reflectancia es adimensional. El rango de turbidez ajustado se encuentra entre 6 y 140 NTU, y algunos estadísticos del ajuste son: RMSE de 10.2 NTU, error relativo de 23.6% y sesgo positivo de 8%. Estos valores son muy similares a los presentados por Dogliotti et al (2015) para el Río de la Plata, sin embargo, su algoritmo sobreestima los valores de turbidez medidos por el OBS3+ en un 46% en promedio. Esta diferencia puede deberse a la óptica de medición de distintos sensores, como se describe a continuación. El OBS3+ mide retro-dispersión, mientras que otros sensores, como el ECO-Triplet, miden la dispersión a 90°. Las mediciones del ECO-Triplet son mayores a las del OBS3+, obteniéndose una relación lineal entre ambos con una pendiente igual a 0.7 (el ECO-Triplet mide un 40% más que el OBS3+). Los turbidímetros utilizados en el trabajo mencionado (HACH 2100P y 2100QIS) miden la dispersión a 90° en una probeta de 10 mL.

#### Índices de clorofila-a

Para los índices de clo-a elegidos, se obtiene que todas las CA presentan una buena performance (correlaciones entre 0.94 y 0.97 entre índices calculados con datos in-situ y con datos satelitales).

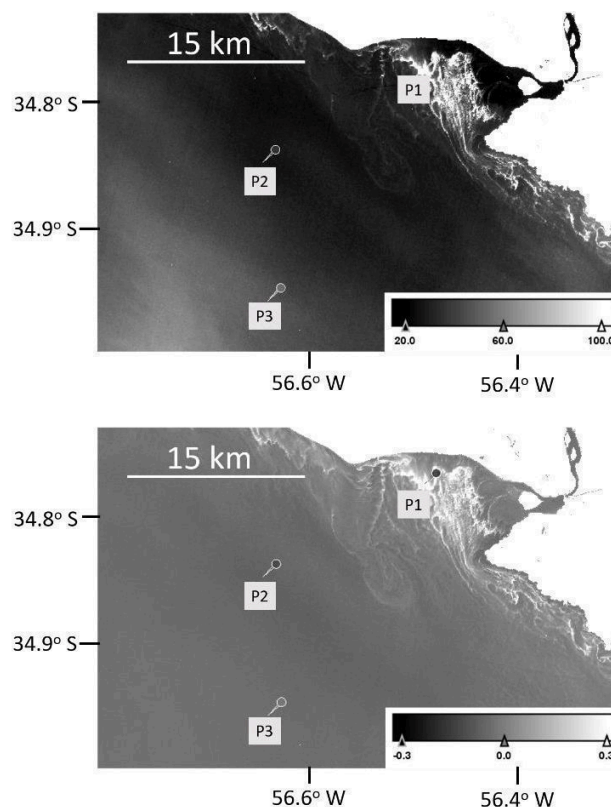
A partir de fines de enero de 2019 se identifica la presencia de cianobacterias en la zona de estudio, ocurriendo intensas floraciones. Dada esta circunstancia, se selecciona la imagen de Sentinel-2B del 5 de febrero de 2019, donde se constató in-situ la presencia de la floración. Ese día se midieron concentraciones de clo-a de 13.7  $\mu\text{g/L}$  en el punto de fondeo de los equipos de medición continua, y 51.9  $\mu\text{g/L}$  en un sitio cercano con alta concentración de cianobacterias.

En el panel superior de la Figura 2 se muestra la turbidez obtenida a partir del ajuste de [1], y en el panel inferior se presenta el índice NDCI para la misma imagen (el índice CIA no se muestra). El punto P1 se encuentra sobre la floración, el punto P2 en una zona con menor turbidez, y P3 en una zona más alejada de la costa con mayor turbidez. En la floración (P1), NDCI alcanza valores de casi 0.7, mientras que CIA alcanza valores de hasta 0.06. Se observa, asimismo, que la floración presenta muy altos valores de turbidez estimados (más de 700 NTU). Sin embargo, a medida que disminuyen los valores de estos índices (negativos para NDCI y del orden de 0.01 o menores para CIA), no es posible distinguir si se trata de la señal de clorofila o de otros materiales en suspensión (sedimentos). A modo de ejemplo, se comparan los valores en los puntos P2 y P3 (como representativos de zonas alejadas de la floración con distintos valores de turbidez). P2 posee una menor turbidez (26 NTU) que P3 (50 NTU), y asimismo presenta menores valores del índice NDCI (-0.070) y CIA (0.007) que P3 (-0.026 y 0.010). Esta covariación de la turbidez y los índices de clo-a es visualmente observable, detectándose claramente la transición en la zona del frente de turbidez del Río de la Plata (no se muestra).

#### Conclusiones

Primero, se destaca la importancia de contar con mediciones de reflectancia in situ para evaluar distintas CAs y cuantificar las incertidumbres asociadas. Por un lado, se obtiene una muy buena estimación de la turbidez para la zona de estudio a partir de la reflectancia en la banda NIR. Se hace hincapié en las diferencias que pueden surgir debido a la utilización de varios tipos de sensores de turbidez en campo. Por otro lado, se ha avanzado en la comprensión de las limitaciones de la teledetección de clo-a en el Río de la Plata a partir de índices de bibliografía. Se muestra para un día particular que la señal de turbidez está afectada por floraciones de cianobacterias (en este caso no se puede asociar turbidez a sólidos en suspensión), y que los índices de clorofila

están afectados por otros materiales en suspensión en zonas alejadas de la floración. Con las mediciones continuas y datos obtenidos en las campañas se cuenta con un importante set de datos para mejorar los índices de clo-a como trabajo a futuro, y calibrarlos con concentraciones medidas in situ.



**Figura 2.-** Panel superior: mapa de turbidez obtenido utilizando la expresión en [1] para el día 05-feb-19. Panel inferior: índice NDCI para el mismo día. Ver texto para explicación de los puntos P1, P2 y P3.

#### Agradecimientos

Parte de las mediciones utilizadas se realizaron durante los trabajos de campo que el IMFIA realiza para la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas de Uruguay (UTE).

La Dra. Sylvia Bonilla y la Lic. Signe Haakonsson, de la Sección Limnología de Facultad de Ciencias, son las responsables de las mediciones de clorofila-a en laboratorio.

#### Referencias

- Dogliotti, A. I., K. G. Ruddick, B. Nechad, D. Doxaran, and E. Knaeps (2015).** A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, 156, 157-168
- Hu, C., Z. Lee, and B. Franz (2012).** Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *Journal of Geophysical Research*, 117, C01011
- Mishra, S., Mishra, D. R. (2012).** Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394-406.
- Vanhellemont, Q. (2019).** Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sensing of Environment*, 225, 175-192
- Vanhellemont, Q., Ruddick, K. (2015).** Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8. *Remote Sensing of Environment*, 161, 89-106.

## HYDRODYNAMIC INVESTIGATION TO IDENTIFY AN OPTIMAL CONFIGURATION OF CYLINDRICAL POROUS STRUCTURES APPLIED TO SHELLFISH CULTURE SUBJECT TO TRANSVERSE FLOW

Nardin. V<sup>1</sup>, Valentim. L.M.L<sup>1</sup>, Alvarenga. J.A.M<sup>1</sup>, Kubelka. B.G<sup>2</sup>, Casas W.<sup>3</sup>, Pinto. W.T<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratório de Interação Fluido Estrutura – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

<sup>2</sup>Estação Marinha de Aquicultura – Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

<sup>3</sup>Grupo de Mecânica Aplicada – Departamento de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

vnardin94@gmail.com; lml.valentim@hotmail.com; jesusalencar@furg.br ; kubelkabruno@gmail.com; walter.paucar.casas@ufrgs.br; waldir.pinto@gmail.com.

### Introdução

A geometria complexa e irregular das estruturas de cultivo de mexilhões é um desafio em estudos de engenharia de aquicultura e oceânica. Estudos anteriores indicam que as meias de cultivo de mexilhões se assemelham à cilindros com alta rugosidade e perfurados (Plew et al., 2009; Buck et al.). Diante do grande desafio no projeto de fazendas de cultivo em alto mar, surge a motivação para o presente trabalho, que busca esclarecer melhor os fenômenos físicos envolvidos na incidência de correntes sobre essas estruturas através de experimentos laboratoriais baseadas no movimento relativo entre a água e dois cilindros distintos, um com as paredes lisas, e outro com perfurações de 8,5 mm de diâmetro.

### Metodologia

Para a realização dos ensaios de laboratório foram utilizados três cilindros de PVC de 40 mm de diâmetro com o mesmo comprimento (40 cm submerso na coluna de água). O primeiro com uma área frontal sem furos e os outros dois com perfurações com furos de 8,5 mm e 10 mm, distribuídos uniformemente pela sua superfície. Estas perfurações reuultaram em um parâmetro de permeabilidade ( $\beta$ ) de 14% e 20 % (Osgood, 2000), respectivamente. Nota-se que a  $\beta$  para o cilindro sem furos é igual a 0%.

Os três cilindros foram deslocados em um tanque com uma plataforma reboque por uma distância de dez metros (Figura 1). O experimento foi realizado no tanque experimental do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil. Isso foi feito através da movimentação dos cilindros ao longo do tanque de água na velocidade  $0,3 \text{ m s}^{-1}$ . O cilindro foi posicionado de forma que sua parte inferior estivesse submersa na água, enquanto que a parte superior permanecesse presa à célula de carga, conforme a Figura 1.

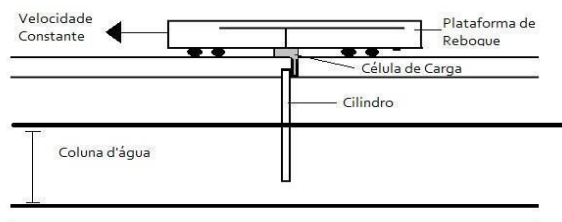


Figura 1.- Esquema do arranjo experimental utilizado no tanque de ensaios com plataforma reboque do LIFE da FURG.

Duas células de carga foram instaladas entre a plataforma e os cilindros de maneira que uma fizesse a aquisição da força de arrasto e outra da força de sustentação, paralela à direção da velocidade do cilindro, e perpendicular, respectivamente. Os dados foram

aquisitados através do software LABVIEW em uma frequência de amostragem de 100 amostras por segundo. Em seguida, o MATLAB foi utilizado para analisar os dados no domínio do tempo e da frequência. Para evitar ruídos de amostragem um filtro “passa-baixa” foi aplicado aos sinais aquisitados, anteriormente as análises.

Uma estrutura cilíndrica sujeita a um escoamento uniforme transversal tem seu padrão de fluxo descrito adimensionalmente por esta relação entre influências inerciais e viscosas, conhecido como número de Reynolds ( $Re$  – descrito na Equação [1]).

$$Re = \frac{U D}{\nu} \quad [1]$$

Onde  $U$  é a velocidade média do escoamento,  $D$  é o diâmetro do cilindro e  $\nu$  é a viscosidade cinemática do fluido.

A força de arrasto neste regime de escoamento resultante do deslocamento do cilindro na coluna pode ser adimensionalizada pelas características da estrutura e do fluido adjacente (Equação [2]).

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho D U^2} \quad [2]$$

Onde  $\rho$  é a massa específica do fluido e  $F_D$  é a força de arrasto medida experimentalmente.

### Resultados

O  $Re$  calculado, pela Equação [1] para duas velocidades ajustadas para os experimentos,  $0,3 \text{ m s}^{-1}$ , foram  $1,35e^4$ , respectivamente. Ambos os casos, segundo Lienhard (1966), apresentam a esteira completamente turbulenta com pontos de separação laminares, a montante dos pontos de separação o escoamento é laminar e a jusante a camada limite é turbulenta.

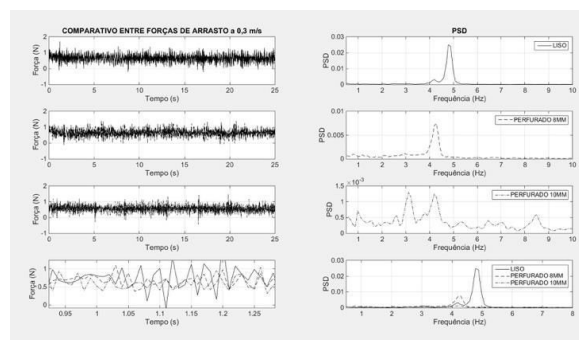


Figura 2.- Gráficos para comparação das três permeabilidades dos



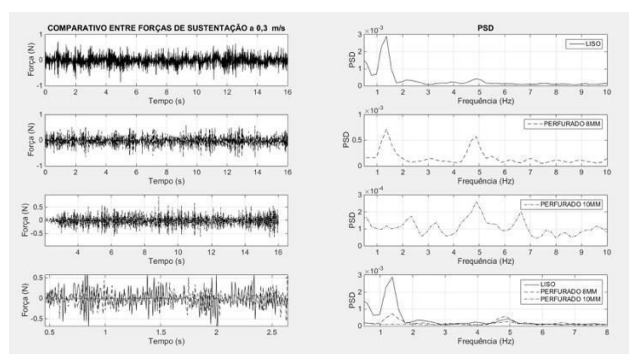
**cilindros. A esquerda as análises no domínio do tempo e a direita as no domínio da frequência da força de arrasto para  $Re = 1,35e^4$ .**

Na Figura 2, a força de arrasto máxima foi de 1,71 N para o cilindro sem perfuração ( $\beta=0\%$ ), 1,63 N para o cilindro com perfuração de 8,5 mm de diâmetro ( $\beta=14\%$ ) e 1,48 N para o cilindro com perfuração de 10 mm ( $\beta=20\%$ ). Estas forças resultaram nos coeficientes de arrasto ( $C_D$ ) apresentados na Tabela 1. O coeficiente de arrasto para o cilindro sem perfuração (liso -  $\beta=0\%$ ) observado está dentro da faixa observada em outros estudos (Tringbo, 2013; Plew, 2005) neste regime de escoamento ( $Re = 1,35e^4$ ).

Pela Tabela 1 e Figura 2, fica evidente a atenuação do arrasto exercido sobre o cilindro rebocado pela coluna de água a um número de Reynolds de  $1,35e^4$ , na medida que a área perfurada do cilindro (parâmetro de permeabilidade) aumenta. Outros estudos comentam sobre a diminuição do coeficiente de arrasto com o aumento da permeabilidade do cilindro (Alridge et al., 1978; Plew et al., 2009; Kubelka, 2014). A análise no domínio da frequência da força de arrasto apoia os resultados no domínio do tempo na Figura 2 fica evidente a diminuição da energia do pico do espectro de frequência observado no gráfico mais em baixo a direita (Figura 2). A linha contínua mostra a maior intensidade da força de arrasto no cilindro sem perfurações (liso -  $\beta=0\%$ ) se comparado as linhas tracejadas (cilindros permeáveis). Pela Tabela 1 foi possível observar também uma diminuição na frequência em que ocorre o pico de energia nos espectros de energia com cilindro perfurados. Kubelka (2014) observou comportamento semelhantes da força de arrasto no domínio da frequência.

**Tabela 1.- Resultados no domínio do tempo e da frequência dos ensaios realizados com cilindros com diferentes parâmetros de permeabilidades ( $\beta$ ). Re corresponde ao número de Reynolds,  $C_D$  representa o coeficientes de arrasto.  $E_D$  e  $E_L$  correspondem a frequência de maior intensidade de energia para as forças de arrasto e sustentação, respectivamente.**

$\beta$ [%]	Re	$C_D$	$E_D$ [Hz]	$E_L$ [Hz]
0	$1,35e^4$	0,95	4,883	1,367
14	$1,35e^4$	0,91	4,297	1,367
20	$1,35e^4$	0,82	4,102	1,367



**Figura 3.- Gráficos para comparação das três permeabilidades dos cilindros. A esquerda as análises no domínio do tempo e a direita as no domínio da frequência da força de sustentação para  $Re = 1,35e^4$ .**

Na figura 3, a força de sustentação máxima foi de 0,64 N para o cilindro sem perfuração ( $\beta=0\%$ ), 0,54 N para o cilindro com perfuração de 8,5 mm de diâmetro ( $\beta=14\%$ ) e 0,48 N para o cilindro com perfuração de 10 mm ( $\beta=20\%$ ).

Pela Figura 3, fica evidente a atenuação da sustentação exercida sobre o cilindro rebocado pela coluna de água a um número de Reynolds de  $1,35e^4$ , na medida que a área perfurada do cilindro (parâmetro de permeabilidade) aumenta. Pouco foi estudado do comportamento do força de sustentação em cilindros perfurado, pois no âmbito de estruturas de cultivo a força de arrasto é a principal força levada em consideração na fadiga de estruturas de cultivo (Plew, 2005). No entanto, Kubelka (2014) já havia observado atenuações significativas, tanto no domínio do tempo como da frequência, da força de sustentação.

Nos espectros de energia observado na Figura 3, para a força de sustentação, não se observou uma alteração na frequência em que se concentra mais energia. Este resultado fica bem claro pelos dados apresentados na Tabela 1.

## Conclusão

A perfuração de cilindros sujeitos a um escoamento transversal permite a passagem de um escoamento interno as paredes dos cilindros. Isto resulta em uma alteração no campo de pressão, portanto nas intensidades e frequências de oscilação das forças hidrodinâmicas exercidas sobre a estrutura. Os resultados aqui apresentados são experimentos preliminares de um estudo do comportamento de estruturas de cultivo de mar aberto que obteve resultados satisfatório se comparados a literatura. Fato que permite a validação de modelos numéricos a partir de comparações no domínio do tempo e da frequência.

## Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos experimentalmente serão utilizados em validações de modelos numéricos. Uma vez realizadas as validações será possível realizar simulações com a ferramenta de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD – “Computational Fluid Dynamics”) para geometrias mais complexas que se sejeama ainda mais semelhantes as estruturas de cultivo reais. Além disso, o Laboratório de Interação Fluido Estrutura possui outros equipamentos de análise hidrodinâmica e estrutural que pretendem ser inseridos nos ensaios, i.g. cameras de laser PIV (“Particle Image Velocimeter”) e acelerômetros.

## Referencias Bibliográficas

- Alridge, T. R., Piper, B. S., Hunt, J. C. R. (1978). “The drag coefficient of finite aspect-ratio of perforated cylinder”. Journal of Industrial Aerodynamics 3, p. 251-257.
- Kubelka, Bruno G. (2014). “Hidrodinâmica de cilindros perfurados sujeitos a um escoamento uniforme transversal”. Rio Grande, Brasil.
- Lienhard, John L. (1966). “Synopsis of lift, drag, and vortex frequency data for rigid circular cylinders”. Washington. 32 p.
- Osgood, David B. (2000). “Oscillating flow about perforated cylinder. Monterrey. Dissertação de Mestrado. 19 p.
- Plew David R., Enright, Mathew P., Nokes, Roger I. Dumas, Jennifer K. (2009). “Effect of bio-pimping on the drag and flow around a mussel crop rope”. Journal Aquacultural Engineering 40, p. 55-61.
- Plew David R. (2005). “Hydrodynamics Effects of Long-line Mussel Farms”. Nova Zelândia. Tese Doutorado. 330 p.

## APLICACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VARIABLES HIDRO-SEDIMENTOLÓGICAS EN UN SISTEMA DELTAICO DEL RÍO PARANÁ

Ru, M.<sup>1</sup>, Dominguez Ruben, L.<sup>1,2</sup>, Szupiany, R.<sup>1,2</sup>, Latosinski, F.<sup>1,2</sup>, García, M. H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL., Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

<sup>3</sup> University of Illinois, Illinois, EEUU.

Email: [micaelaru123@outlook.com](mailto:micaelaru123@outlook.com)

### Introducción

En la planicie aluvial del río Paraná se presentan numerosos cauces de diversas jerarquías, los cuales interactúan otorgándole un gran dinamismo morfológico. Esta interacción produce el traslado de agua y sedimento desde el cauce principal a subsistemas secundarios dentro del valle aluvial. Uno de estos es el sistema deltaico A° Leyes- Laguna Setúbal, en donde se transfiere una importante carga de sedimento proveniente del aporte del río Bermejo, fundamentalmente durante el período Diciembre-Mayo. Este fenómeno anual, produce el avance del delta a tasas aceleradas reduciendo el área de la laguna Setúbal y por ende comprometiendo el desarrollo socio-económico y recreacional que allí se generan.

La complejidad geomorfológica y la importante cantidad de cauces que involucra este subsistema, hacen dificultosa la puesta en marcha de un plan integral de mediciones continuas que ayuden a comprender su dinámica y predicción del comportamiento futuro. Por tales motivos, es necesaria una correcta planificación y selección de técnicas de medición de las variables hidráulicas y sedimentológicas, que permitan obtener resoluciones espaciales y temporales adecuadas y reduzcan los tiempos y costos de los relevamientos.

El presente trabajo pretende describir la aplicación y combinación de diferentes técnicas de medición hidro-sedimentológicas, nuevas como tradicionales, para la cuantificación del flujo, morfología y transporte de sedimento aplicadas a todo el sistema A° Leyes-Laguna Setúbal. Se presenta además la aplicación del código Acoustic Sediment Estimation Toolbox (ASET) para la estimación del transporte de sedimento en suspensión a través de la intensidad acústica de retorno medida con ADCP. Para finalizar, se discuten resultados preliminares destacando ventajas y desventajas de las técnicas empleadas.

### Región de estudio y Metodología

El sistema deltaico A° Leyes- Laguna Setúbal nace sobre el cauce principal del Paraná a unos 35 km al Noreste de la ciudad de Santa Fe (-31.520264°, -60.330172°) (Figura 1). Cerca de la embocadura, y tras la unión de los cauces Colastinecito y río San Javier, comienza el A. Leyes, el cual presenta un caudal medio anual de 1750 m<sup>3</sup>/s a la altura del puente sobre RN °1 aguas abajo de la bifurcación con el A° Potrero (Figura 1). Hacia aguas abajo, la geometría de estos cauces se va modificando dada la sucesiva división de caudales que componen el delta, los cuales descargan sobre la Laguna Setúbal (ver Figura 1).

Los resultados preliminares que se describen en el presente trabajo, forman parte de los relevamientos realizados durante el 3 al 9 de abril del 2018 (C2018), coincidente al período de máximos aportes del río Bermejo al sistema Paraná y a un nivel hidrológico medio del sistema Paraná.



Figura 1.- Zona de estudio y ubicación de secciones relevadas. Imagen provista por Earth Explorer. LANDSAT 8 OLI. Fecha 18/03/2019.

La ubicación de las secciones de medición fue seleccionada a fin de obtener una resolución espacial adecuada de acuerdo a los objetivos a alcanzar. Las mismas se ubican sobre los cauces principales A° Leyes y A° Zanja Brava, sus tributarios y distributarios (A° Potrero, A° Pando, A° Ubajay y A° Falso Toro).

En todo el sistema se realizó un relevamiento batimétrico mediante el uso de ecosonda monohaz Raytheon de 200MHz conectada a GPS Leica de precisión. Los aforos líquidos en secciones pre-establecidas se realizaron con un ADCP Río Grande 1200 kHz Teledyne RD Instruments, conectado también al GPS (Figura 2). Respecto a la pendiente superficial del pelo de agua se usó un sistema de posicionamiento global en forma diferencial y a tiempo real (RTK-DGPS).



Figura 2.- a) ADCP Río Grande Teledyne RD Instrument 1200 kHz, b) Embarcación hidrográfica y c) Ecosonda Raytheon simple haz

Sobre las secciones seleccionadas para los aforos líquidos se tomaron dos muestras integrales de material suspendido con el muestreador US P-61 (Figura 3b) y una muestra de fondo del cauce con los denominados conos de arrastre (Figura 3a). Las muestras de sedimento en suspensión fueron procesadas en laboratorio por medio de filtrado húmedo con tamiz 230 (62 μm) y posterior evaporación para determinación de la concentración de fracción gruesa (arenas) y carga de lavado (limos y arcillas). Respecto a las muestras de fondo se optó, dependiendo de sus características físicas, realizar tamizado seco o el empleo del método de Hidrómetro para la determinación de porcentajes de fracción fina y gruesa. Por último, con el fin de cuantificar el transporte de fondo, se llevaron a cabo mediciones estáticas de 5 min. con ADCP. De esta manera, mediante la función del "Bottom

Track” de los ADCP, estimar las velocidades de las partículas cercanas al fondo (Latosinski et al., 2017). Todo el equipamiento se montó sobre la embarcación hidrográfica provista por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) (Figura 2b).

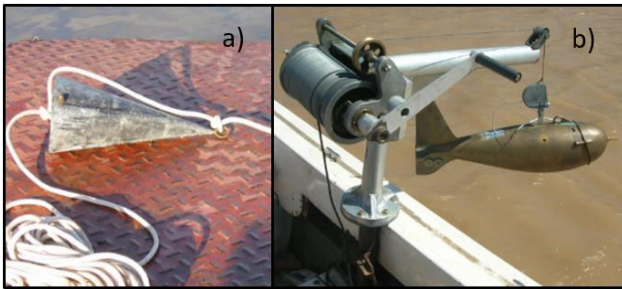


Figura 3.- a) cono de arrastre y b) muestreador US P-61.

### Resultados

A continuación, se presentan resultados preliminares con el fin de poder analizar la combinación de metodologías de medición empleadas. La Figura 4 muestra un esquema de la región medida con los caudales líquidos relevados. Si bien y como se indicó anteriormente la complejidad del sistema a la hora de medir dificulta un relevamiento integral (particularmente sobre el Delta), aun así la diferencia porcentual del cierre de caudal es menor a un 10 %, entre el que llega al sistema Lagunar (2540m<sup>3</sup>/s) y los medidos sobre la Laguna de (2800m<sup>3</sup>/s).

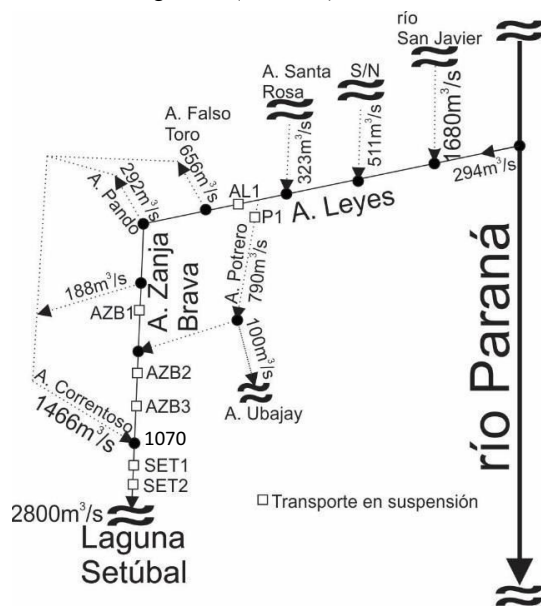


Figura 4.- Diagrama de continuidad de caudales líquidos medidos por el ADCP en C2018

La Tabla 1 muestra los resultados del transporte en suspensión de la fracción gruesa ( $G_{ss}$ ) obtenidos a través del método tradicional y acústico (ASET). Se destaca que para la aplicación de ASET se usó la calibración acústica correspondiente al Paraná, considerando las mismas características físicas del material en suspensión. Nótese el desvío máximo entre ambos métodos es del orden del 100 %, error aceptable para la estimación de esta variable. Se destaca que el valor de  $G_{ss}$  es nulo sobre la Laguna Setúbal, indicando procesos de depositación de este material sobre la misma.

Tabla 1.- Comparación en la estimación de  $G_{ss}$  por método tradicional y tecnología acústica.

Muestra	Caudal líquido [m <sup>3</sup> /s]	ASET $G_{ss}$ [kg/s]	Tradicional $G_{ss}$ [kg/s]	Desvío [%]
S1	294	5	3.2	69
S2	1681	23	16.3	42
S5	791	11	5.2	120
S6	2089	24	11.2	112
S7	656	9	4.5	98
S8	292	3	2.0	39
S13	170	1	0.9	16
S22	906	5	3.1	53
SET 1	2805	3	7.7	-59

### Discusiones y Conclusiones

Los resultados abordados en el presente trabajo pretenden ser una línea base respecto a la combinación de métodos tradicionales y acústicos para la caracterización hidrosedimentológica de este sistema. Si bien la complejidad de la región de estudio plantea grandes dificultades para su relevamiento, gran parte de estas pudieron ser sorteadas por las nuevas tecnologías implementadas.

Respecto a los resultados, las mediciones de caudales líquidos con ADCP fueron precisas mostrando reducidas diferencias de cierre entre los caudales relevados a lo largo de la región de estudio. Esto destaca dos puntos: la correcta elección de las secciones de medición y la correcta aplicación y precisión de la tecnología.

En cuanto a los valores de transporte en suspensión de fracción gruesa ( $G_{ss}$ ), se presentan aceptables diferencias porcentuales entre lo calculado por el método acústico (ASET) y lo relevado por método tradicional. Esta diferencia puede deberse al uso de la calibración correspondiente al sistema Paraná y no a la propia del sistema, como así también al muestreo de solo dos verticales de manera integral por sección, pudiendo originar errores por la escasa resolución espacial.

Por último, se plantea a futuro realizar una serie de trabajos de campo en la misma región en otro esta hidrométrico, incrementando las verticales de muestreo y verificando las características granulométricas del material en suspensión (granulometría) para una posterior calibración y verificación.

### Referencias

- Dominguez Ruben L., Latosinski F., Szupiany R. y Lopez Weibel C. (2015), Acoustic-Sediment Estimation Toolbox (ASET): un software para estimar transporte de sedimento en suspensión con ADCP, 7 Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos Montevideo, Uruguay.
- Latosinski, F. G., Szupiany, R. N., García, C. M., Guerrero, M. y Amsler, M. L. (2014). "Estimation of concentration and load of suspended sediment in a large river by means of Doppler technology," *Journal of Hydraulic Engineering*, DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000859, 140(7), 04014023.
- Szupiany, R., Lopez Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M., Dominguez Ruben, L., and Oberg, K. (2018) "Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions". *Earth Surf. Process. Landforms*, DOI: 10.1002/esp.4572

## DESARROLLO DE LA LINEA BASE GEOMORFOLOGICA DE LOS RIOS DE LA CUENCA AMAZONIA-RIO HUALLAGA

Latosinski<sup>1</sup>, F., Guerrero<sup>2</sup>, L., Dominguez Ruben<sup>1</sup>, L., Valverde<sup>2</sup>, H., Melendez<sup>2</sup>, M., Estrada<sup>2</sup>, Y., Abad<sup>2</sup>, J., Szupiany<sup>1</sup>, R.

<sup>1</sup>CONICET-Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, CC 217, 3000 Santa Fe, Argentina. TE: 0342-4575245 int. 153, [franlatos@gmail.com](mailto:franlatos@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro de Investigación y tecnología del agua, CITA, de la Universidad de Ingeniería y Tecnología, UTEC, Jr. Medrano Silva 165, Barranco, Lima, Peru. TE 511- 230-5020

### Introducción

La Amazonia peruana se compone de una extensa red de grandes cauces, sobre la mayoría de los cuales existen escasos o nulos antecedentes, por lo que, el desarrollo de una línea base geomorfológica (LBG) para los ríos amazónicos es fundamental. La dinámica hídrica y sedimentológica en estos sistemas despierta el interés de la comunidad técnico-científica. A partir de la creación del Centro de Investigación y Tecnología del Agua de la UTEC se desarrollaron distintos proyectos orientados a generar información de base sobre determinados ríos del sistema Amazonia con instrumental moderno para aportar al conocimiento de los procesos físicos naturales que gobiernan el comportamiento de estos grandes ríos. En este trabajo se presentan resultados parciales de las primeras mediciones de este tipo sobre el río Huallaga, las que han consistido en registros batimétricos, aforos sólidos, perfiles longitudinales para determinación de la carga de fondo y para el registro de la pendiente del pelo de agua, utilizando tecnología actual. Distintas metodologías de aforo y procesamiento de información pretenden ser evaluadas para una cuantificación de las variables hidráulicas y sedimentológicas involucradas en el desarrollo de la LBG. Esta cuantificación se constituye en una de las primeras de su tipo y alienta a pensar en próximos relevamientos optimizados para generar un volumen interesante de información hidro-sedimentológica.

### Materiales y Métodos

El río Huallaga forma parte de la extensa red de cauces de la cuenca peruana del río Amazonas, contribuyendo al mismo con considerables aportes de caudales líquidos y sólidos. Nace en los Andes peruanos y desciende a la planicie amazónica, donde su curso meandroso se une al río Marañón, que confluye con el Ucayali, para dar origen al Río Amazonas (Fig. 1). La extensión del Huallaga es de unos 1100 km, atravesando tanto zonas montañosas como aluviales, con un caudal medio anual de alrededor de 3000 m<sup>3</sup>/s, transportando cerca de 70x10<sup>6</sup> ton/año de sedimentos totales en suspensión (Armijos et al. 2013).

Se seleccionaron dos tramos del río Huallaga, uno cercano a la ciudad de Yurimaguas (SHG01: 5°53.5747'S, 76°6.1750'O) y otro próximo a Santa Cruz (SHG07: 5°24.2266'S, 75°49.0419'O) (Fig. 1), donde se realizaron mediciones detalladas incluyendo una sección transversal de aforo, entre el 11 y el 16/6/2018. En cada tramo se realizó un cocido batimétrico y distintos recorridos sobre 3 perfiles longitudinales para obtener la batimetría del tramo y para computar la carga de fondo por medio del seguimiento de dunas, mediante el uso de ecosonda monohaz conectada a GPS de precisión. Se realizaron aforos líquidos con un ADCP RiverRay de 600 kHz Teledyne RD Instruments, conectado al GPS. En cada sección de aforo se tomaron muestras de sedimento de fondo en suspensión con un muestreador instantáneo estilo botella Niskin de fabricación propia, siguiendo el método EDI (WMO 1994). Este método divide la sección transversal en 5 verticales asociadas a iguales incrementos de caudal, en cada una de las cuales se tomaron 5 muestras de sedimento en suspensión a distintas profundidades

relativas ( $P/h = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  y  $0.9$ ). En simultáneo, se registró la señal del ADCP para su posterior calibración para estimar concentraciones de material en suspensión por vía acústica (Szupiany et al 2018, Latosinski et al. 2014) y realizar una comparación entre ambas metodologías de aforo. Las muestras de sedimento fueron procesadas en laboratorio por medio de filtrado con tamiz 230 (62  $\mu$ m) y posterior evaporación para determinación tanto de la concentración de arenas en suspensión ( $C_{ss}$ ) como de la carga de lavado ( $C_w$ ). Dado que el sitio de estudio se encuentra en plena selva amazónica, distante de las instalaciones de la UTEC para los análisis de laboratorio, la extracción del sobrenadante de las muestras se realizó en un plazo menor en varios días al recomendado.

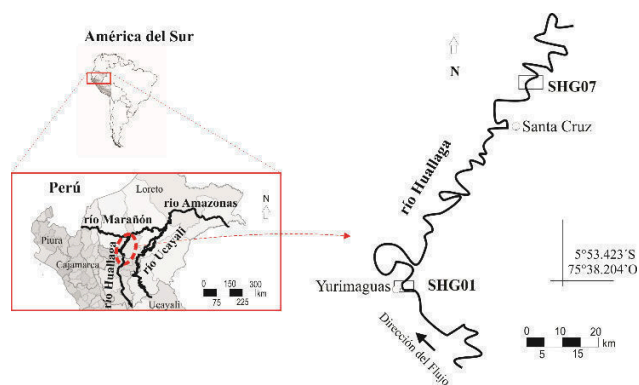


Figura 1.- Tramos de estudio SHG01 y SHG07 en Yurimaguas y Santa Cruz, sobre el río Huallaga, Perú.

### Resultados

El caudal medido en la sección correspondiente al tramo SHG01 fue de 2100 m<sup>3</sup>/s y debido al aporte del río Paranapura, en SHG07, fue de 2600 m<sup>3</sup>/s. En Figura 2 se observa el relevamiento longitudinal de un tren de dunas sobre el talweg en SHG01 y SHG07 cerca de margen izquierda en ambos tramos. En ella pueden identificarse dunas cuyas dimensiones van de 20 a 70 m de longitud y de 0.5 a 3.5 m de altura, y cuyos empinamientos van de 0.020 a 0.075.

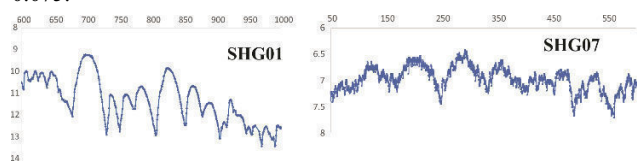


Figura 2.- Perfil longitudinal sobre dunas del talweg de cada tramo

En Tabla 1 se presentan los valores puntuales de  $C_{ss}$  y  $C_w$  para distintas profundidades relativas ( $P/h$ ), asociadas a cada una de las cinco verticales en cada sección de aforo. Como puede observarse, los valores de  $C_{ss}$  presentan una distribución menos uniforme que las de  $C_w$ , aumentando con la profundidad según es de esperarse para un material más grueso, aunque en varias verticales sucede lo opuesto. Esto último se explica por distintas fuentes de error tanto del muestreo como de la operación en el procesamiento de



laboratorio. Valores totalmente anómalos de  $C_{ss}$  y  $C_w$  han sido excluidos de la Tabla 1.

**Tabla 1.-**  $C_w$  y  $C_{ss}$  en mg/l para cada sección, vertical y  $P/h$

SHG01			vertical	SHG07		
$C_w$	$C_{ss}$	$P/h$		$C_w$	$C_{ss}$	$P/h$
357	17	0.4	1	104	313	0.4
271	52	0.6		146	124	0.6
261	46	0.8		255	233	0.8
307	103	0.6	2	261	34	0.2
276	259	0.8		274	56	0.4
209	214	0.9		92	327	0.6
				277	256	0.8
246	267	0.2	3	270	68	0.2
460	442	0.8		299	125	0.4
133	341	0.9		284	102	0.6
				314	309	0.9
126	292	0.4	4	174	10	0.2
319	168	0.6		288	86	0.4
363	364	0.8		355	203	0.9
432	211	0.9				
331	161	0.2	5	49	309	0.2
329	164	0.8		351	90	0.8
337	264	0.9		358	126	0.9

La señal del ADCP registrada en simultáneo con la toma de muestras fue procesada con el código ASET (Dominguez Ruben et al. 2015), que utiliza los valores de concentración y diámetro medio del material en suspensión (Szupiany et al. 2018), para obtener el parámetro de calibración que permite luego estimar  $C_{ss}$  a partir de registros acústicos, y de esta manera, el transporte total de material de fondo en suspensión,  $G_{ss}$ . El diámetro medio del material de lavado fue de 16 micrones, mientras que el de arenas, 100 micrones, determinado por medio de difractor láser LISST PORTABLE XR de Sequoia Scientific, Inc.. En tabla 2 se compara  $G_{ss}$  en kg/s, obtenido por método tradicional de muestreo (EDI), que utiliza los valores de  $C_{ss}$  (Tabla 1), y el estimado a partir de la señal acústica del ADCP (ASET) para las dos secciones analizadas. Se presenta también el transporte de material de lavado,  $G_w$ , y la diferencia en  $G_{ss}$  entre ambos métodos, observando la sobreestimación del método acústico de aforo respecto del tradicional.

**Tabla 2.-** Transporte de material en suspensión para cada sección y método de obtención.

	$G_w$	$G_{ss}$		
		EDI	ASET	Diferencia
SHG01	624.4	441.6	631.7	+43 %
SHG07	660.7	397.7	532.0	+34 %

Respecto al transporte de material por fondo, la velocidad de avance,  $u_d$ , de las dunas relevadas y la tasa de transporte unitaria,  $g_{sb}$ , obtenida por el método clásico de seguimiento de dunas, se muestran en la Tabla 3 para cada sección del tramo y para cada uno de los 3 perfiles longitudinales medidos en cada tramo.

**Tabla 3.-** Transporte de fondo:  $u_d$ ,  $g_{sb}$  y  $G_{sb}$

	$u_d$ (m/día)			$g_{sb}$ (kg/ms)			$G_{sb}$ (kg/s)
	MI	C	MD	MI	C	MD	
SHG01	17.4	3.9	0	0.013	0.024	0	2.8
SHG07	20.8	9.9	0	0.081	0.031	0	13.9

Los valores de Tabla 3 corresponden al procesamiento con filtros pasa banda aplicados a los registros longitudinales sobre el mismo tren de dunas, espaciados un cierto intervalo de tiempo, para discriminar la frecuencia de las distintas formas de fondo (bancos, dunas y dunitas superpuestas). Luego correlaciona ambas señales filtradas para obtener el desplazamiento espacial correspondiente a las dunas. Con ello, y con el intervalo de tiempo entre mediciones,

se obtiene la celeridad media del tren de dunas. Estos resultados pueden compararse con el promedio de los desplazamientos individuales de cada duna, resultados que por razones de espacio serán expuestos en la presentación final del artículo.

## Conclusiones

Los resultados volcados en el presente artículo representan los primeros de su tipo con el doble objetivo de obtener la LBG de ríos amazónicos como el Huallaga, y la comparación de diferentes metodologías de medición y procesamiento de datos.

En este sentido, valores de caudal registrados con tecnología Doppler son reportados para un estado de aguas bajas y, junto con valores de  $C_{ss}$  muestreadas, permitieron obtener el transporte del material en suspensión. Si bien se detectaron ciertos comportamientos y valores anómalos para las concentraciones, cabe destacar la importancia de contar con estos primeros resultados. Más allá de ello, la calibración acústica para la estimación del transporte de material de fondo en suspensión, el material que interactúa de manera directa con la morfodinámica de los ríos aluviales, arroja resultados con una performance aceptable (< 50 %), si se compara con las fórmulas clásicas de cálculo de transporte (> 150 %). Contar con una metodología de aforo calibrada para el sistema amazónico y que evite la toma de numerosas muestras físicas para su posterior procesamiento en laboratorio, representa una ventaja importante respecto a la obtención de datos para la línea base que se pretende generar.

Se cuantificó la geometría y celeridad de las formas de fondo presentes en el sistema, con lo cual pudo obtenerse la carga de fondo, un fenómeno más que importante en la toma de decisiones asociadas al dragado y mantenimiento de pasos críticos de navegación fluvial.

Un procesamiento ulterior implicará la comparación de distintas metodologías de procesamiento para determinar la carga de fondo unitaria y discriminar la de mayor performance. Por otro lado, esfuerzos mayúsculos deben realizarse para obtener valores de concentración de sedimentos en suspensión con mayor fiabilidad y poder así lograr una calibración acústica más ajustada. Todo ello se realizará de cara a las próximas etapas de relevamiento.

## Referencias

- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J.S., Arevalo, N., Carranza, J., Guyot, J.L. (2013). "Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru", *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 44, pp. 75-84.
- Dominguez Ruben, L., Latosinski, F., Szupiany, R., y López Weibel, C. (2015). "Acoustic-Sediment Estimation Toolbox (ASET): un software para estimar transporte de sedimento en suspensión con ADCP", VII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, 4-6 de Noviembre, FI-UdelaR, Montevideo.
- Latosinski, F. G., Szupiany, R. N., Garcia, C. M., Guerrero, M. y Amsler, M. L. (2014). "Estimation of concentration and load of suspended sediment in a large river by means of Doppler technology," *Journal of Hydraulic Engineering*, DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000859, 140(7), 04014023
- Szupiany, R., Lopez Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M., Dominguez Ruben, L., and Oberg, K. (2018) "Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions". *Earth Surf. Process. Landforms*, DOI: 10.1002/esp.4572
- World Meteorological Organization (WMO). (1994). "Guide to hydrological practices." Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications, 5th Ed., Geneva, 176-178.

## DESARROLLO DE INSTRUMENTAL PARA MONITOREO DE CALIDAD E HIDRODINAMICA

### CASO EMBALSE SAN ROQUE, CORDOBA

Rodríguez, Andrés<sup>1,4</sup>; Federico Prystupczuk<sup>1</sup>; Santiago Rodriguez Gonzalez<sup>1,2</sup>; Maria Ines Rodriguez<sup>3</sup>; Muchiut Jonathan<sup>1</sup>; Maria Capone<sup>1</sup>; Gabriela Ponce<sup>1</sup>; Marcia Ruiz<sup>3</sup>; Fabio Nazzi<sup>1</sup> y Mariano Corral<sup>1</sup>

1 Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

2 Centro de Investigación Aplicada, Fuerza Aérea Argentina, Cba.

3 Centro de Investigaciones Región Semi Arida, Instituto Nacional del Agua, Cba.

4 IDIT CONICET, Cba.

[androdminplan@gmail.com.ar](mailto:androdminplan@gmail.com.ar)

### Introducción

Los embalses destinados a usos consultivos o multipropósito en regiones semiáridas son inversiones estratégicas, y el agua debe ser considerada un recurso valioso y escaso; tal es el caso del Embalse San Roque de la Provincia de Córdoba, uno de los primeros de Latinoamérica. De este embalse en la cuenca del río Suquía, la Ciudad de Córdoba obtiene la mayor parte de su agua para consumo humano (cerca de 2/3), y la parte restante se obtiene mediante un trasvase de la cuenca del río Xanaes, donde se ubica el embalse Los Molinos. Ambos embalses son monitoreados desde hace más de 15 años por varios organismos de la región y recientemente se ha complementado el monitoreo periódico (mensual en el San Roque o estacional en Los Molinos) con un monitoreo continuo mediante una Estación de Monitoreo de Lagos (EML o LDS: lake diagnostic system). Se agrega a lo mencionado el proceso natural de eutrofización de los embalses incrementado por la antropización y urbanización de las cuencas respectivas, que se traduce en reiterados episodios de floraciones (blooms) algales, las cuales pueden llegar a afectar la calidad de agua en forma significativa, e.g. Figura 1. Algunos antecedentes específicos de este trabajo se presentan en Prystupczuk et al 2018 y Dagatti et al. 2017. En el presente artículo se presentan los avances en el monitoreo del embalse San Roque, mientras que algunos resultados de la modelación numérica de los procesos que acompañan y condicionan estas floraciones algales se presentan en Ponce et al 2019 y Muchiut et al 2018.

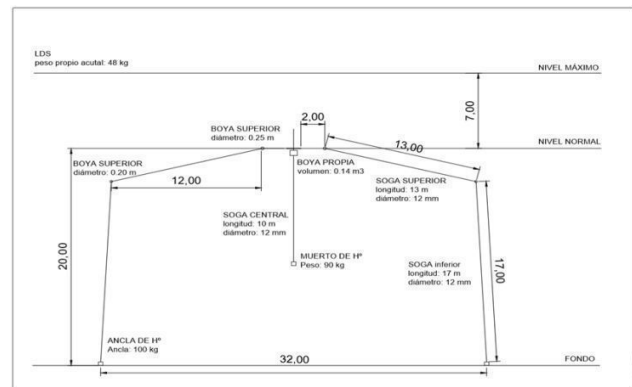
### Materiales y Metodología

Se desarrolló e instaló una Estación de Monitoreo de Lagos EML, desde su modelo de ingeniería de 2005 (inspirado en la LDS australiana de 2000), al prototipo operativo en el San Roque desde 2018, figuras 2, 3 y 4. Esta estación está diseñada para medir las variables meteorológicas en la superficie (temperatura, presión, radiación y viento) y temperatura en la columna de agua mediante una cadena de termistores de alta precisión cada 50 cm y parámetros de calidad mediante una sonda de calidad que puede realizar perfiles en la columna (e.g. PH, temperatura, salinidad, PRx y OD). La misma es autónoma en su alimentación, transmisión y almacenamiento de datos, estando prevista su interrogación y configuración en forma remota.



Figura 1. Floración de *Microcystis aeruginosa* del 30/03/ 2018, próxima a la presa del Embalse San Roque, atraída por el vertedero.

Figura 2. Esquema de anclaje de la EML





Figuras 3 y 4.- Estación de Monitoreo de Lagos (EML) instalada en el San Roque desde 2018 y sensores meteorológicos de superficie.



## Resultados

La estación se encuentra transmitiendo desde mediados de 2018, siendo permanente mantenida y actualizada por los equipos del LH de la UNC y el CIA de la FAA. El diseño va actualizándose e incluyendo nuevas prescripciones que son incorporadas a la ELM a ser instalada próximamente en el Embalse Los Molinos, Córdoba. Ejemplos de estas mediciones se presentan en las figuras 5 y 6.

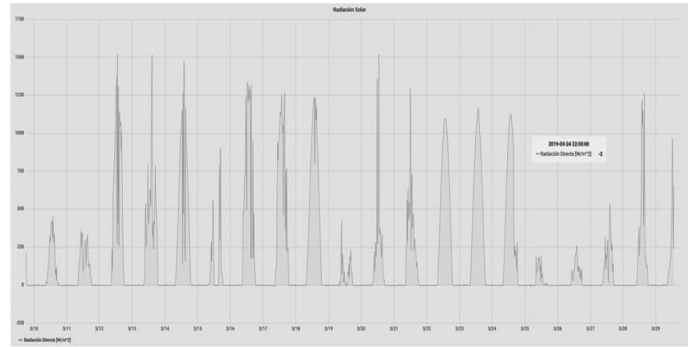


Figura 5. Serie medida de radiación solar directa (marzo, 2019).

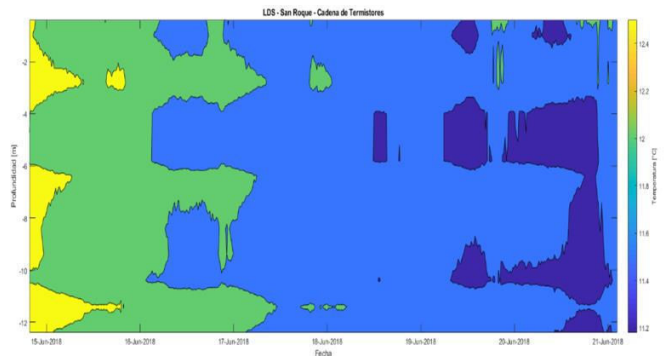


Figura 6. Evolución de temperature en la columna de agua medida por la cadena de termistores de la EML (del 15 al 21/06/18)

## Referencias Bibliográficas

G Ponce1, J Muchiut, M Dagatti, F Prystupczuk, R Reyes, A Rodríguez, M Corral, S A. Rodríguez G., M I. Rodríguez, A Ruibal y M Ruiz (2019) Monitoreo y modelado hidroambiental del embalse San Roque, Revista FCEFyN UNC, Vol. 6, Nro. 1, pg. 39-47, ISSN 2362-2539

J Muchiut, M Dagatti, A Rodriguez, F Prystupczuk, R Reyes, S Rodríguez González, M Corral, P. Gyssels, L Murgio, H Herrero, N Guillén, M.I Rodriguez, L Mengo, D Arán, L Ruibal y M Ruiz (2018) Avances en el monitoreo y modelado hidroecológico de embalses en Córdoba: caso Lago San Roque, Revista CETA, FCEFYN UNC, Cba., Arg., Nro. 3, Vol. 1, pg. 85-90, ISSN 2525-0582

M Dagatti, A Rodríguez, M Corral, L Murgio y S Rodríguez González (2017) Desarrollo de un Sistema De Monitoreo Hidrometeorológico y Calidad del Agua, V Simposio Métodos Experimentales en Hidráulica, INA, Bs.As.

F Prystupczuk, M Dagatti, R Gonzalez Reyes, J Muchiut, S Rodriguez Glez., A Rodríguez, L Murgio and M Corral (2018) Development of a Lake Diagnostic Station for Hydro-Meteorological Data measurement in large Water Reservoirs, ARGENCON 2018, IEEE, Tucumán; (publicación en IEEE Xplore®).

## RECOMENDACIONES PARA MEDIR CAUDALES CON ADCP EN TRIBUTARIOS DE LA CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ

José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>, C. Marcelo García<sup>1,2</sup>, Horacio S. Herrero<sup>1,3</sup>, Federico Flores Nieto<sup>1</sup>, Ana I. Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYn, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYn) UNC. Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRH) del Gobierno de la Provincia de Córdoba, Argentina

### Introducción

La cuenca del río Carcarañá es una importante cuenca fluvial en el área central de la República Argentina (más de 70.000 km<sup>2</sup>) compartida entre las provincias de Córdoba y Santa Fe. Dado su importancia regional (ya que su escurrimiento superficial se utiliza para recreación, fuente de agua potable, para vertidos, etc. y por la amenaza de inundación en épocas de crecida) es necesario realizar un manejo y planificación sustentable de la misma. Para complementar este objetivo se requieren mediciones hidrometeorológicas e hidrológicas en la cuenca, para aumentar la información reuerida para la toma de decisiones. Uno de los datos fundamentales es el caudal de agua que escurre superficialmente por los diferentes tributarios de la cuenca. En los últimos 7 años, el grupo de trabajo a cargo de esta publicación, realiza las determinaciones de caudal en el Río Carcarañá y sus principales tributarios de esta cuenca (Ríos Tercero, Cuarto, Saladillo, Arroyo Tortugas, Canal Devoto) utilizando Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés). A pesar de que esta técnica de medición ya posee más de 25 años de desarrollo, aún quedan áreas de vacancia en lo que se refiere a la reducción de la incertidumbre de las mediciones de caudal. En ese sentido el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), junto al Servicio de Aguas de Canadá (WATER SERVICE CANADA) desarrollaron en el año 2016 un programa llamado QUANT que permite estimar las principales contribuciones a las incertidumbre de las mediciones de caudal con ADCP desde plataformas móviles a través de métodos computacionales (específicamente el método de Montecarlo). Haciendo uso de este programa, junto a nuevos desarrollos realizados por los autores de este trabajo, se evaluaron las incertidumbres de las variables que tienen mayor aporte a la incertidumbre de caudal en los tributarios de la cuenca del río Carcarañá.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo es generar recomendaciones para la medición de caudales escurridos superficialmente en distintos tributarios del sistema fluvial del río Carcarañá a partir de los resultados obtenidos del análisis de incertidumbre de caudal realizado mediante métodos computacionales.

### Materiales y Métodos

En primer lugar se realizó un análisis exploratorio, que incluyó interacciones con investigadores del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), a los fines de determinar cuáles de las variables que afectan la incertidumbre de los valores de caudal, consideradas originalmente por QUANT, deberían mantenerse en el análisis y cuáles deberían variar aleatoriamente (con métodos computacionales) en cada muestra, cuáles en cada transecta y cuáles permanecen iguales a lo largo de toda la medición teniendo en

cuenta la correlación que pueden tener las variables durante una medición completa de caudales (múltiples transectas). Las variables consideradas originalmente en QUANT son: profundidad y velocidad del flujo, velocidad del bote, temperatura del agua, salinidad, sumergencia del equipo, cabeceo, declinación magnética, distancia a las márgenes izquierda y derecha, velocidad en las márgenes izquierda y derecha, extrapolación de la zona no medida, coeficiente de las márgenes izquierda y derecha y muestras perdidas. Se asume como distribución de probabilidad de todas las variables para el método computacional de muestreo (por ejemplo Monte Carlo) la distribución normal acorde con Moore et al. (2016). Los desvíos adoptados para las distribuciones de estas variables están en concordancia con los seleccionados por Moore et al (2016) a excepción de la sumergencia, ya que los 5 cm originales propuestos por los autores es excesivo para el bote donde se montó instrumento Sontek S5 para aforar el sistema de estudio. Para esta variable se justifica el valor de 1 cm ya que es el error (por la apreciación que se puede tener el campo) que se puede tener al medir sumergencia de un bote más pequeño y en donde se puede realizar la medición fuera del agua. El análisis exploratorio realizado muestra que Salinidad, Cabeceo y Declinación Magnética fueron descartadas del análisis de simulación computacional debido a su baja contribución a la incertidumbre total (Coeficiente de variación del caudal < 0,4%) cuando el sistema de referencia utilizado es "referencia por seguimiento de fondo" (Bottom Track). Esto se condice con lo mencionado por Mueller et al. (2013) en donde se menciona que estas variables no afectan los valores de caudal notablemente cuando no se utiliza GPS como sistema de referencia. Para evaluar esta metodología, se confeccionó una base de datos de mediciones de caudal en el sistema fluvial de estudio buscando representar diferentes condiciones de flujo y asegurando que en todos los casos se haya utilizado y funcione correctamente el sistema de seguimiento de fondo o Bottom-track, ya que en la actualidad QUANT todavía no permite procesar datos recolectados utilizando como referencia el GPS. La totalidad de los datos fueron recolectados por un ADCP YSI/SonTek S5. Se analizaron datos registrados en diferentes secciones monitoreadas estacionalmente por el grupo de trabajo desde hace más de 7 años. Las mismas son: (A) río Tercero en la localidad de Bell Ville, coordenadas 32°37'42.88"S, 62°41'38.19"O (B) río Saladillo puente ruta provincial 6, coordenadas 32°55'53.91"S, 62°19'54.59"O y (C) arroyo Tortugas en el puente de ruta 9 coordenadas 32°44'44.29"S 61°49'50.55"O. Estos conjuntos de datos fueron analizados haciendo uso del programa QUANT con las modificaciones realizadas en el código por los autores de este trabajo para tener en cuenta la correlación de las variables.

### Resultados

En las Figuras 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos para dos mediciones realizadas en la sección del Río Tercero (Ctalamochita) ubicada en Bell Ville. Se observa que la variable sumergencia de



ADCP tiene un impacto importante cuando los caudales escurridos son bajos en las secciones analizadas. Esto se debe a que, para condiciones de flujo bajas, al ser baja la profundidad del flujo, errores en la determinación de la sumergencia del equipo producen que el área no medida por el ADCP y profundidad cambien y dado a la poca profundidad el impacto de estos cambios es importante. De este análisis desprende que debe medirse minuciosamente la sumergencia del equipo en condiciones de estiaje.

El análisis de los datos muestra también un gran impacto de las muestras perdidas en la incertidumbre de caudal. Lo que sucede es que gran parte de estas muestras perdidas (principalmente en condiciones de crecidas) se dan en zonas de mayor caudal, lo cual produce una incertidumbre importante en la medición. Estas pérdidas de muestras suelen producirse en esas zonas, porque el flujo es profundo (mayor a 2,5 metros en caso de usar el sistema de ref. de seguimiento de fondo –Bottom Track- con el ADCP S5) o hay alta velocidad y turbulencia. Es por ello que el operario debe prestar atención a la cantidad de muestras perdidas durante la medición y en el caso de que las mismas sean excesivas se debe cambiar de sección o de referencia del instrumento.

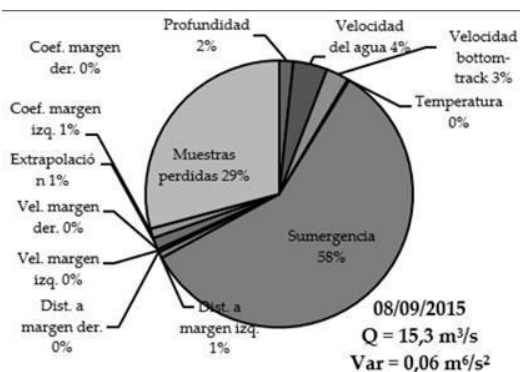


Figura 1.- Contribución a la varianza total de cada variable analizada a la sección del río Tercero ubicada en la localidad de Bell Ville el día 08/09/15.

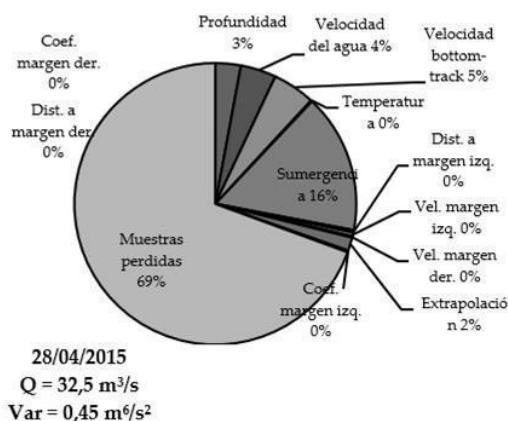


Figura 2.- Contribución a la varianza total de cada variable analizada a la sección del río Tercero ubicada en la localidad de Bell Ville el día 28/04/15.

Con respecto a las incertidumbres de variables temperatura, coeficiente de márgenes, distancia a las márgenes, velocidad de las márgenes no se observaron contribuciones importantes. En el caso

de las márgenes la incertidumbre es baja ya que al ser la embarcación pequeña y poder controlarla adecuadamente con la sogá, el equipo mide muy cerca de las márgenes reduciendo la incertidumbre. Las variaciones de temperaturas detectadas suelen ser menor a los 2°C, lo cual tiene un impacto menor en la incertidumbre total.

Lo mencionado anteriormente también sucede con las secciones de los ríos Saladillo y arroyo Tortugas.

## Conclusiones

En este trabajo se presenta un nuevo enfoque para la estimación de incertidumbre de una medición completa de caudales con múltiples transectas utilizando QUant que tiene en cuenta la correlación de ciertas variables a través de los distintos cruces o transectas dentro de la misma medición. Los valores de incertidumbre obtenidos con este nuevo desarrollo son mayores que los obtenidos sin considerar la correlación. De la aplicación de esta novedosa metodología a mediciones realizadas en el sistema fluvial del río Carcarañá se observó que las variables sumergencia y muestras perdidas son las que más aportan a la incertidumbre de medición por lo que se recomienda dedicar especial atención a las mismas al momento de efectuar aforos en el sistema. Actualmente se está trabajando con el uso del método de muestreo computacional “Latin Hypercube” que permite ahorrar un tiempo considerable de ejecución del programa computacional, ya que es necesario ejecutar 200 realizaciones con este método de muestreo para obtener la misma dispersión en los resultados que utilizando 1000 realizaciones del método de muestreo de Monte Carlo. Los valores de incertidumbre del método “Latin Hypercube” se encuentran dentro del intervalo de confianza de la incertidumbre obtenida con el método de Montecarlo aun utilizando un número significativamente menor de simulaciones. Finalmente, el análisis de sensibilidad realizados con QUant muestra que las incertidumbres en las variables temperatura del agua, salinidad, declinación magnética y cabeceo tienen un bajo impacto en la incertidumbre total cuando se utiliza la referencia de Seguimiento de fondo (“Bottom track”) por lo que es posible ejecutar el programa computacional sin ellas para ahorrar tiempo de cálculo.

## Referencias

- Moore, S. A., Jamieson, E. C., Rainville, F., Rennie, C. D., & Mueller, D. S. (2016). “Monte Carlo Approach for Uncertainty Analysis of Acoustic Doppler Current Profiler Discharge Measurement by Moving Boat”. J. Hydraul. Eng., 04016088.
- Mueller, D. S., Wagner, C. R., Rehmel, M. S., Oberg, K. A., Rainville, F. (2013). “Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat”. US Department of the Interior, US Geological Survey”.

## EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE BORDE LATERALES SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL FLUJO TURBULENTO ALREDEDOR DE UNA PILA.

Massó Leandro<sup>1,2</sup>, Patalano Antoine<sup>1,2</sup>, Pozzi Piacenza Cecilia<sup>1</sup>, García Carlos M.<sup>1,2</sup>, Fernández Roberto<sup>3</sup>, García Marcelo H.<sup>3</sup>, Ragessi I. Matias<sup>1</sup>, Marquez Damian Santiago<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. Teléfono: +54 351 5353800; E-mail: idit@fcefy.unc.edu.ar

<sup>3</sup> Universidad de Illinois, Urbana, Champaign, EEUU.

<sup>4</sup> Centro de Investigación de Métodos Computacionales, Predio CONICET Santa Fe, Colectora Ruta Nac 168, Km 472, Paraje El Pozo, 3000 Santa Fe, Argentina.

leandromasso88@gmail.com

### Introducción

La caracterización de la hidrodinámica del flujo alrededor de un obstáculo ha sido históricamente un tópico de gran interés dentro de la comunidad científica. En el presente documento se expone la caracterización del flujo alrededor de una pila cilíndrica en una instalación experimental de laboratorio, utilizando la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV, por sus siglas en inglés), haciendo foco en el análisis de la influencia de las condiciones de borde laterales sobre los patrones hidrodinámicos del flujo. En forma complementaria, se validó un modelo numérico tridimensional del flujo de tipo LES, desarrollado en OpenFOAM® (Open Field Operation and Manipulation), pudiendo utilizarse este modelo para evaluar otras condiciones de escurrimiento diferentes. Los resultados obtenidos de la caracterización realizada podrán ser utilizados para obtener estimadores indirectos de la velocidad media de aproximación del flujo a partir de la frecuencia de desprendimientos de vórtices alrededor de un obstáculo y la determinación del número de Strouhal.

### Materiales y Metodologías

La instalación experimental utilizada es el canal a superficie libre del Laboratorio Ven Te Chow, de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, EEUU. Las dimensiones del canal son 1,82m de ancho y 19m de longitud. En ese canal se implementó como obstáculo una pila cilíndrica de hormigón centrada en el ancho del canal y a una distancia de 12.20m del ingreso de agua. En este trabajo se sintetizan los resultados de 3 ensayos, variando tanto las condiciones de flujo como el diámetro de la pila (ver Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones experimentales analizadas.

Parámetro	Unidad	Valor		
		Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3
Caudal Total ( $Q$ )	[m <sup>3</sup> /s]	0.17	0.15	0.17
Diámetro de pila ( $D$ )	[m]	0.20	0.20	0.46
Ancho del canal ( $B$ )	[m]	1.82	1.82	1.82
Ancho relativo ( $B/D$ )	-	8.9	8.9	3.9
Profundidad ( $H$ )	[m]	0.70	0.35	0.70
Vel. media de aproximación ( $U_m$ )	[m/s]	0.13	0.24	0.13
Núm. de Reynolds del obstáculo ( $Re_x$ ) x 10 <sup>4</sup>	-	2.6	4.8	5.9

En cada ensayo se registraron videos utilizando una cámara digital a una resolución espacial de 1920x1080 pixeles a 60 cuadros por segundo (para las condiciones 1 y 2) y a 30 cuadros por segundo.

Para hacer visibles los patrones de flujo superficiales se sembró el flujo arrojando esferas de poliestireno expandido de  $\varnothing$ :10mm y partículas de cera de  $\varnothing$ :5mm a 1.7m aguas arriba de la pila. Se utilizó la herramienta PIVlab (Thielicke y Stamhuis 2014) para el procesamiento de las imágenes, y la herramienta RIVeR v2.2 (Patalano et al, 2017) para la rectificación de resultados. De esta forma se obtuvieron cuasi-instantáneos de los campos de velocidades en la región inmediatamente aguas abajo del obstáculo, y un campo de velocidades medio.

Para cada una de las condiciones se analizó el perfil longitudinal de velocidades longitudinales sobre el eje central del canal, 6 perfiles transversales de velocidades longitudinales aguas abajo del obstáculo y se elaboraron series de tiempo del vector velocidad en diez localizaciones, cuyas ubicaciones adimensionalizadas respecto al diámetro  $D$  de la pila se muestran en la Figura 1.

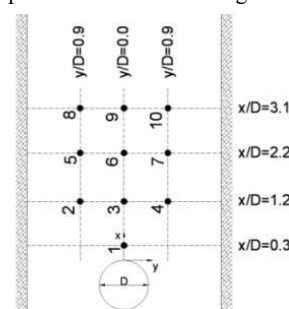


Figura 1.- Localizaciones adimensionalizadas analizadas.

Respecto al modelo numérico tridimensional, se realizó una simulación de las ecuaciones que describen el flujo turbulento utilizando un esquema de volúmenes finitos, desarrollado en el código libre y abierto Open FOAM(R) (Open Field Operation and Manipulation, OpenFOAM Team, 2007). Se utilizó la aplicación "pisoFoam" que resuelve las ecuaciones completas de Navier Stokes y Continuidad.

Este modelo se ha utilizado para una configuración tridimensional del dominio, que corresponde a un modelo de tipo LES para flujo incompresible en una sola fase en condiciones de densidad y viscosidad constantes. La malla utilizada se compone de volúmenes de tamaño variable, realizada utilizando snappyHexMesh de OpenFOAM(R).

Se establecieron condiciones iniciales y de borde para las variables presión y velocidad instantánea del flujo que para este caso se hace igual al valor medio medido en el flujo de aproximación. Se estableció como valores iniciales iguales a cero las variables en todo el dominio salvo las zonas donde se definieron condiciones de borde específicas, estas son:

- Condiciones a la entrada: gradiente de presión nulo y valores de

velocidad media medidos experimentalmente.

- Condiciones a la salida: se estableció gradiente de velocidades igual a cero.
- Condiciones en paredes y fondo: gradiente de presión nulo y velocidades iguales a cero.
- Condiciones en superficie libre: se impuso una superficie rígida sin esfuerzos de corte (con deslizamiento) para que no afecte el flujo interno.

El tiempo de simulación fue de 140s con un paso de tiempo  $\Delta t$  de 0.01s. Se simularon las condiciones experimentales 1 y 3. Aunque actualmente se continúan simulando otras.

## Resultados

En la Figura 2 se observan los perfiles de velocidad medios longitudinales a lo largo del eje central del canal obtenidos por LSPIV para las tres condiciones ensayadas. La velocidad se encuentra adimensionalizada respecto a la velocidad media del flujo de aproximación ( $U/U_m$ ), y la distancia según el diámetro de la pila ( $x/D$ ). Los resultados se presentan en comparación con datos experimentales obtenidos por Herrero (2014), y aquellos registrados por Lourenco y Shih (1993).

Se observa en todos los casos velocidades negativas en la zona de estancamiento producto de la recirculación del flujo. Para las condiciones 1 y 3 ( $H = 0.70m$ ) la longitud de la zona de estancamiento se extiende aproximadamente  $1.1D$  aguas abajo de la pila, mientras que para la condición restante dicha longitud alcanza  $1.7D$  ( $H = 0.35m$ ).

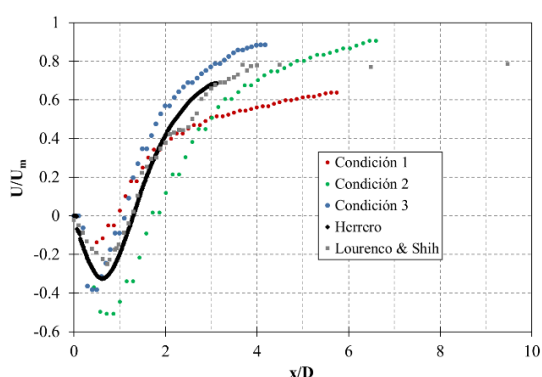


Figura 2.- Evolución de la velocidad media longitudinal a lo largo de la línea central del canal.

A su vez, se realizaron comparaciones de perfiles de velocidad media transversales adimensionalizados entre los obtenidos por LSPIV, los modelados numéricamente y los obtenidos por Herrero (2014). Las comparaciones fueron satisfactorias en todas las condiciones analizadas (Massó, 2018).

La caracterización se completó con el estudio cuantitativo de la evolución temporal del flujo a través del análisis espectral de las series de tiempo del vector velocidad en los puntos definidos en la Figura 1, realizado tanto con los datos experimentales como los numéricos. Con los resultados se determinó el número de Strouhal ( $St$ ) en todos los puntos antes mencionados y para todas las condiciones analizadas. En la Tabla 2 se detallan valores del número de Strouhal para ambas componentes de velocidad (velocidad transversal  $U_x$  y velocidad longitudinal  $U_y$ ). Los valores incluidos en esta Tabla 2 son los valores medios de todas las localizaciones mostradas en Figura 1 para cada condición estudiada. Se observa en esta Tabla los efectos de las condiciones

de borde laterales ( $B/D = 3.9$ ) en las frecuencias de desprendimiento de los vórtices.

Tabla 2. Números de Strouhal medios en las distintas localizaciones para cada condición estudiada.

Cond.	Strouhal			
	Experimental		Numérico	
	$U_x$	$U_y$	$U_x$	$U_y$
1	0.21	0.21	0.20	0.20
2	0.21	0.20	--	--
3	0.32	0.24	0.27	0.27

## Conclusiones

Los resultados obtenidos a través de las técnicas experimentales y numéricas en cuanto a la caracterización de la zona de estancamiento y la interfaz de mezcla arrojan una gran similitud. Además, la simulación del proceso de generación y desprendimiento de vórtices en la región aguas abajo de la pila es similar al observado experimentalmente aún en aquellas condiciones con mayor influencia de las condiciones de borde laterales sobre la hidrodinámica del proceso, lo que valida el modelo numérico.

En cuanto al número de Strouhal, se observaron valores cercanos al empírico ( $St=0.2$ ) para la condición de régimen subcrítico según  $Rex$  en las condiciones con mayor ancho relativo ( $B/D$ ) tanto en la instalación experimental como en lo simulado. Si bien para la condición con menor ancho relativo los valores de  $St$  encontrados distan del empírico por la cercanía de las paredes laterales, los resultados obtenidos por LSPIV y el modelo numérico arrojan una gran similitud. Como trabajo futuro se pretende utilizar el modelo numérico validado con datos experimentales para profundizar la evaluación de la influencia de las condiciones de borde laterales sobre los desprendimientos de vórtices realizando variaciones en la relación  $B/D$ , con el objetivo de cubrir un mayor rango de posibilidades y sobre ello luego investigar la posibilidad de estimar indirectamente la velocidad media de aproximación a través de la medición de la frecuencia predominante de las fluctuaciones y el número de Strouhal.

## Referencias Bibliográficas

- Horacio, Herrero (2014). Evaluación espacial y temporal de la hidrodinámica en confluencias fluviales. Tesis de Doctorado en Ingeniería, Córdoba, Argentina.
- Lourenco, L. M. y Shih, C. (1993). "Characteristics of the plane turbulent near wake of a circular cylinder". A particle image velocimetry study. (data taken from Beaudan, Moin).
- Massó, Leandro (2018). Caracterización de flujos en modelos físicos y prototipos utilizando técnicas de velocimetría por imágenes (LSPIV, LSPTV y STIV). Practica supervisada de Ingeniería civil, Córdoba, Argentina.
- Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A. (2017). Rectification of Image Velocity Results ( RIVeR ): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry ( PIV ) and Particle Tracking Velocimetry ( PTV ) 109, 323–330. doi:10.1016/j.cageo.2017.07.009
- OpenFOAM(R) Team (2007): "User Guide OpenFOAM(R), Fundation. <http://www.openfd.co.uk/openfoam/>
- Thielicke, W., and Stamhuis, E. J. (2014). PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. Journal of Open Research Software, 2.

## USO DE TÉCNICAS MODERNAS DE MEDICIÓN EN HIDRÁULICA PARA MANEJO DE EMBALSES

Nicolás F. Guillén<sup>1,2</sup>, Carlos M. García<sup>1,2</sup>, Horacio Herrero<sup>1,2</sup>, Edgar Castelló<sup>2</sup>, Fabián López<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
nfguillen@hotmail.com

### Introducción

En los últimos años, el desarrollo significativo de modernas técnicas de medición en hidráulica, en particular técnicas de medición de velocidades de flujo tales como Velocimetría por imágenes de partículas implementados a gran escala (LSPIV) o técnicas hidro-acústicas (velocímetros acústicos Doppler -ADV y perfiladores de corriente acústicos Doppler - ADCP), han facilitado el monitoreo a tiempo real de las variables hidrológicas en cursos fluviales (variables requeridas por ejemplo para elaborar las curvas de altura de superficie libre – caudal –H-Q), aun en condiciones de crecidas, lo cual permite una adecuada y mejor gestión y manejo integral de los recursos hídricos. A partir de un adecuado monitoreo a tiempo real de las principales variables que caracterizan la variación espacial y temporal de los caudales escurridos superficialmente en los principales tributarios; y mediante el desarrollo de modelos hidrológicos e hidráulicos calibrados es posible manejar de manera eficiente cada una de las maniobras de los órganos de evacuación para lograr un adecuado manejo de los excedentes en el embalse. Varios embalses de la provincia de Córdoba ya cuentan con estos modelos modernos numéricos de simulación para manejo de embalse y se prevé que próximamente todos los embalses de la provincia cuenten con esta herramienta.

### Objetivos

El objetivo de este trabajo es aplicar modernas técnicas experimentales en hidráulica, tales como ADV, ADCP, y LSPIV para la construcción de curvas altura de superficie libre –caudal en los tributarios de los principales embalses y para el monitoreo de los caudales erogados por diferentes presas de la provincia de Córdoba. Este trabajo forma parte de un proyecto de interacción conjunta entre investigadores y profesionales de la FCEfyN – UNC, la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Servicios Públicos de la provincia de Córdoba y la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la misma provincia.

### Materiales y Métodos

Mediante la instalación de sensores de nivel de superficie libre en los cursos afluentes a los embalses principales en la provincia de Córdoba; y posteriormente realizando aforos durante crecidas, se elaboran relaciones H-Q en los ríos para posteriormente utilizar esos datos de caudales en un modelo de propagación de caudales de los diferentes embalses de la provincia. Las mediciones de caudal se deben realizar en todo el rango esperado de caudales (incluyendo eventos mínimos y máximos) para evitar las incertidumbres asociadas a las extrapolaciones de esas curvas. Además se han desarrollado modelos hidrológicos a paso horario; los cuales permiten no solo analizar un evento de crecida ocurrido en el pasado sino que también permite simular la respuesta de los embalses ante diferentes escenarios de crecidas y de desembalse ante diferentes consignas de erogación que pudieran ser aplicadas en cada caso. Para simular el comportamiento de los embalses y

para la estimación de la propagación de los hidrogramas de crecidas se utiliza el método de Puls (método hidrológico). El método permite calcular la evolución del volumen en el embalse en cada intervalo de tiempo, teniendo en cuenta una relación no lineal entre el caudal de salida o erogado y el almacenamiento o volumen de embalse.

En las condiciones de estiaje se utilizaron generalmente ADV. En los casos de crecidas repentinas, las velocidades de flujo, ondulaciones de la superficie libre y el material flotante arrastrado en el río ponen en peligro tanto los operadores como los instrumentos por lo que se utilizó la técnica LSPIV (técnica de velocimetría no intrusiva) la cual se viene implementando y optimizando desde el año 2014 con el apoyo del Ministerio de Servicios Públicos del gobierno de la Provincia de Córdoba en el marco del proyecto Cazadores de Crecidas (Patalano et al., 2015). En el resto de las condiciones de aguas medias y en crecidas que lo permitan se utilizó ADCP. A modo de ejemplo de implementación de LSPIV se presenta una de las mediciones de caudal realizadas en el Río San Antonio, afluente al Embalse San Roque el día 25 de febrero de 2014 a las 12:15 hs. El análisis aquí detallado se realizó de manera análoga para diferentes mediciones durante los meses de las crecidas en diferentes ríos de la provincia. El día de la medición, se tomó un video de entre 30 segundos y 1 minuto de duración y además un sensor midió el nivel de agua.

Utilizando el video captado del evento y mediante la aplicación de la técnica LSPIV utilizando los programas de procesamiento desarrollados por Patalano et al., (2017) en Matlab se calculó el campo de velocidades superficiales del flujo (Figura 1):

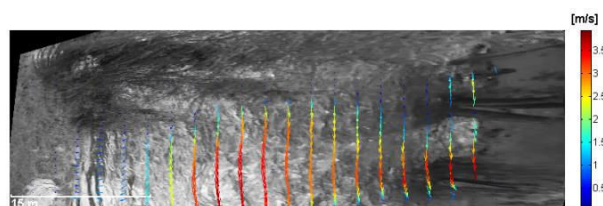


Figura 1.- Campo de velocidad media superficial rectificificado

Al analizar el campo de velocidad calculado se observa que las velocidades superficiales van desde 0 (en las márgenes) a 3.8 m/s (en la zona central del cauce). En la misma sección donde se relevó el video se conoce la batimetría del fondo, por lo que fue posible estimar el caudal escurrido durante este evento.

### Resultados

Análogamente a lo mostrado en las figuras previas, es que a partir de la aplicación de diferentes técnicas experimentales tales como LSPIV, ADV y ADCP, se procedió al aforo de crecidas en los diferentes tributarios a los embalses; y finalmente se ajustaron relaciones altura de superficie libre del flujo – caudal (H-Q) en cada uno de los tributarios. A modo de ejemplo se muestran las curvas ajustadas en los Ríos Cosquín y San Antonio, ambos tributarios al embalse San Roque:



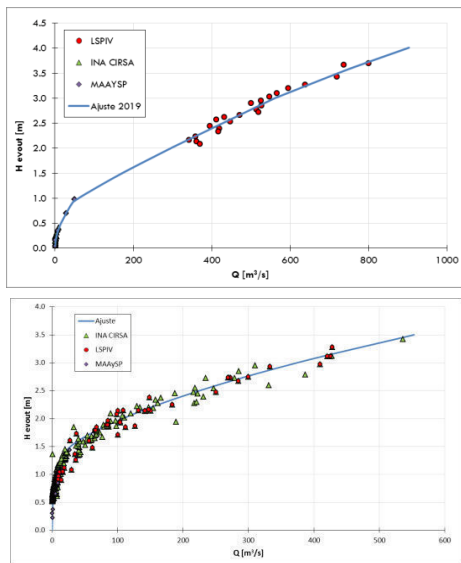


Figura 2.- Curvas H-Q en Villa Caieiro, Río Cosquín (arriba) y en Barrio Canal, Río San Antonio (abajo).

Luego del ajuste de las relaciones H-Q; y mediante la utilización de los datos arrojados por los sensores de nivel actualmente instalados en los cauces afluentes, es posible conocer a tiempo real los caudales e hidrogramas ingresados a los embalses; y a partir de ellos poder manejar y gestionar adecuadamente el recurso hídrico. Para lograr el objetivo del adecuado manejo y gestión de los embalses, se aplicó el método de Puls (o piscina nivelada). A continuación, a modo de ejemplo se muestran los resultados de los modelos desarrollados para los casos del Embalse San Roque (Figura 3), y Embalse Río Tercero (Figura 4):

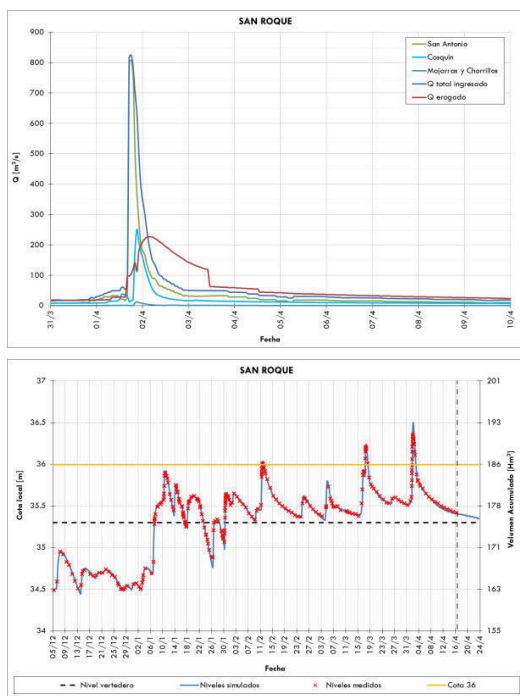


Figura 3.- Arriba: Hidrogramas ingresados por los distintos tributarios y erogados (arriba). Abajo: comparación entre niveles simulados (azul) y medidos (rojo) en el Embalse San Roque.

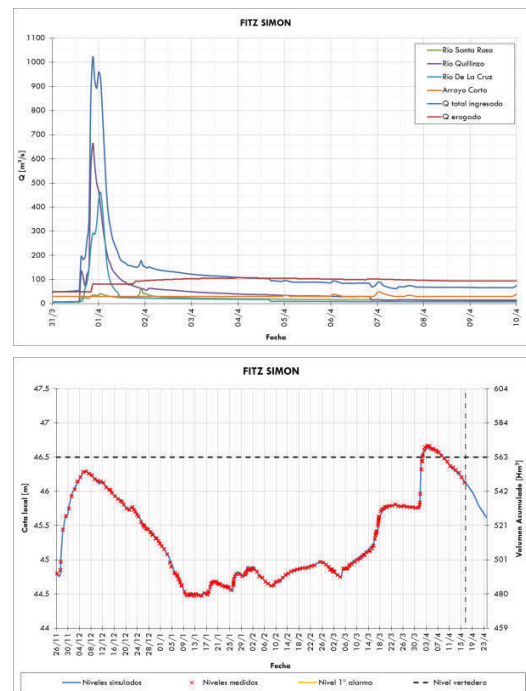


Figura 4.- Arriba: Hidrogramas ingresados por los distintos tributarios y erogados (arriba). Abajo: comparación entre niveles simulados (azul) y medidos (rojo) en el Embalse Río Tercero.

### Conclusiones

A partir del esfuerzo coordinado de los profesionales de la FCFE y N – UNC, la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Servicios Públicos de Córdoba y la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la misma provincia, actualmente se ha logrado el desarrollo de modelos que permiten el manejo adecuado y eficiente de los embalses de la provincia.

Ha quedado demostrado que se complementan perfectamente las mediciones experimentales en campo (realizadas incluso para condiciones hidrológicas extremas) con los modelos numéricos hidrológicos del flujo y en conjunto pueden alcanzarse resultados muy buenos para la caracterización espacio temporal de los volúmenes almacenados y escurridos durante eventos de crecidas.

### Bibliografía

Patalano, A., Moreno, L., García, C.M., Guillén, N.F., 2015. Desarrollo E Implementación Del Proyecto “Cazadores De Crecidas” En Ríos De La Provincia De Córdoba, n: IV Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica. La Plata, Argentina.

Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A., 2017. Rectification of Image Velocity Results ( RIVeR ): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry ( PIV ) and Particle Tracking Velocimetry ( PTV ) 109, 323–330. doi:10.1016/j.jageo.2017.07.009

## AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS ALTURA DE SUPERFICIE LIBRE-CAUDAL LÍQUIDO ESCURRIDO EN LOS RÍOS LA LEONA Y SANTA CRUZ, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA.

Ana Inés, Heredia Ligorria<sup>1,2</sup>; Carlos Marcelo, García<sup>1,2</sup>; Ricardo Szupiany<sup>3,4</sup>, José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup>; Gerardo Hillman<sup>2</sup>; Lucas Domínguez<sup>3,4</sup>; Darío Franco Ferreira<sup>2</sup>; Sebastián López<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. Teléfono: +54 351 5353800; E-mail: [idiit@fcefyn.unc.edu.ar](mailto:idiit@fcefyn.unc.edu.ar)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Centro Internacional de Estudios de Grandes Ríos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
[aheredil@hotmail.com](mailto:aheredil@hotmail.com)

### Introducción

La cuenca del río Santa Cruz, incluyendo a sus principales tributarios, tales como el lago Argentino y el lago Viedma a través del río La Leona, es una de las principales cuencas superficiales del sur del país ubicada en el territorio de la provincia de Santa Cruz. Este sistema fluvial representa, evaluando sus efectos positivos, una potencial fuente de agua para consumo humano, riego y producción hidroeléctrica en la región, por lo que es necesario realizar el manejo sustentable del mismo. Manejar eficientemente el recurso hídrico de un curso de agua requiere del conocimiento de la cantidad de agua que pasa por una sección del sistema fluvial en un tiempo determinado (el caudal), durante un período de años lo más largo posible. Las curvas que relacionan los niveles de superficie libre del escurrimiento (H) y el caudal escurrido (Q) en los distintos tributarios son herramientas requeridas para cuantificar el recurso hídrico superficial y de esa forma proyectar manejos del recurso con la menor incertidumbre posible.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la elaboración y/o verificación, sobre la base de las mediciones realizadas, de las relaciones (H-Q) existentes que vinculan nivel de superficie libre – caudal escurrido en determinadas secciones de los ríos La Leona y Santa Cruz,

### Sitios de Medición

Las secciones donde se realizan las mediciones son: La Leona Norte (sobre el río La Leona) en la desembocadura del Lago Viedma, y Charles Fuhr (sobre río Santa Cruz) en la desembocadura del Lago Argentino (ver Figura 1). Las dos secciones de medición están ubicadas en puentes de la Ruta Nacional N°40.



Figura 1.- Ubicación secciones de aforo líquido.

Los valores de caudal medidos en cada sección se relacionan con los niveles observados simultáneamente en estaciones limnimétricas (ubicadas una corta distancia aguas arriba de cada sección de medición desde puentes; ver escalas Figura 2 para la estación Charles Fuhr) pertenecientes a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación con datos históricos (de aforos y niveles) disponibles en la Base de Datos Hidrológica Integrada BDHI (SSRH, 2018).



Figura 2.- Sección de medición en el río La Leona (La Leona Norte). Puente Ruta Nacional N°40.

### Materiales y Métodos

Para la elaboración y verificación de las curvas H-Q, el grupo de trabajo a cargo de esta publicación realiza mensualmente aforos de caudal líquido en las secciones de medición desde octubre de 2018 hasta la actualidad. El instrumental utilizado en las mediciones de caudal fueron dos Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP): el “Workhorse Río Grande” de 1200 kHz de frecuencia acústica, fabricado por Teledyne RDI® y el “River Surveyour S5” de 3000 kHz fabricado por YSI/Sontek. Se utilizó uno u otro ADCP según las condiciones de profundidad (los ADCP tienen distinta frecuencia acústica) y de oleaje existentes (las plataformas móviles de los ADCP presentan distinta estabilidad ante corriente y oleajes). Todas las mediciones reportadas en este trabajo se realizaron desde los puentes (ver Figura 3 y Figura 4).

Utilizando los datos disponibles (valores históricos de la SSRH y valores observados en las campañas realizadas en el período 2018-2019) que son representativos de un amplio rango de condiciones de flujo, se realizaron ajustes estadísticos de las siguientes relaciones:

$$Q = \alpha(H - H_{Q0})^{5/3} \quad [1]$$

$$Q = \alpha(H - H_{Q0})^{\beta} \quad [2]$$

Donde  $\alpha$  es una constante de calibración,  $H$  es el nivel o altura de la superficie libre respecto a un nivel de referencia y  $H_{Q0}$  es un parámetro que se obtiene del ajuste y representa el comportamiento hidráulico. El parámetro  $H_{Q0}$  es hipotético (representa el valor de  $H$  para caudal nulo) y no puede ser precisamente determinado in situ en cursos fluviales (donde la batimetría del lecho es irregular) (Díaz Lozada, 2014), pero si puede ser relevado en estructuras de control como vertederos. En la ecuación 2, el parámetro  $\beta$  se obtiene por calibración mientras que en la primera ecuación se asume = 5/3 de acuerdo a la ecuación de Manning.



Figura 3.- Sección de medición en el río La Leona (La Leona Norte).  
 Puente Ruta Nacional N°40.



Figura 4.- Sección de medición en el río Santa Cruz (Charles Fuhr).  
 Puente Ruta Nacional N°40.

## Resultados

Para el río La Leona en la sección Norte las dos expresiones [1] y [2] ajustadas a los datos relevados periódicamente para este trabajo y lo datos históricos disponibles son:

$$Q = 96,46 (H + 0,34)^{5/3} \quad [3]$$

$$Q = 91,62 (H + 0,37)^{1,71} \quad [4]$$

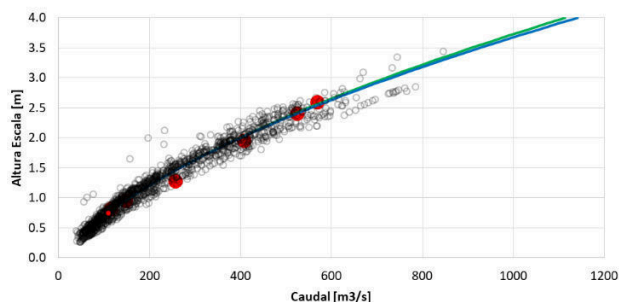


Figura 5.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río La Leona. Datos relevados por la SRHH (símbolos negros) después de 1977, medidos mensualmente con ADCP (símbolos rojos) y las relaciones H-Q propuestas en línea de trazo color verde (exponente fijo, ecuación 3) y trazo color azul (exponente variable, ecuación 4).

En la Figura 5 se pueden ver el conjunto de datos relevados por la SRHH (símbolos negros), los medidos con ADCP mensualmente

(símbolos rojos) y las relaciones H-Q propuestas en línea de trazo color verde (exponente fijo, ecuación 3) y trazo color azul (exponente variable, ecuación 4). Del contraste realizado de las expresiones [3] y [4] se pudo observar que en el río La Leona, para valores de  $H$  mayores a 0,5m y menores a 4m, las diferencias porcentuales entre los caudales generados por las distintas expresiones es menor al 2,5% (en general, también menor que la precisión de los instrumentos de medición), por lo que no hay diferencias significativas entre seleccionar una u otra ecuación.

De manera similar que en el río La Leona, se graficaron en la Figura 6 los valores medidos con ADCP en conjunto con las relaciones altura-caudal con exponentes fijos (ecuación 5) y variables (ecuación 6).

$$Q = 77,01 (H + 1,23)^{5/3} \quad [5]$$

$$Q = 14,3 (H + 2,6)^{2,36} \quad [6]$$

Para valores de  $H$  mayores a 1,0m y menores a 4,7m, las diferencias porcentuales entre los caudales generados por las distintas expresiones es menor al 7,8%. Debido al mejor ajuste en todo el rango de observaciones, a futuro se recomienda utilizar solo la expresión con exponente variable (ecuación 6).

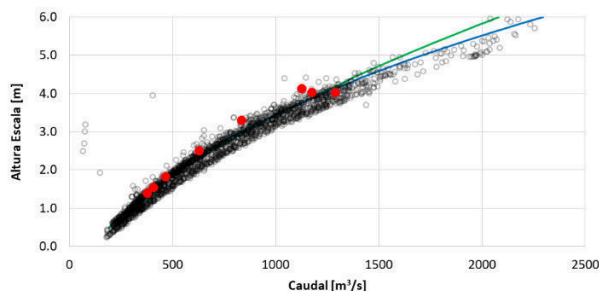


Figura 6.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, estación Charles Fuhr. Datos relevados por la SRHH (símbolos negros) después de 1977, medidos mensualmente con ADCP (símbolos rojos) y las relaciones H-Q propuestas en línea de trazo color verde (exponente fijo, ecuación 5) y trazo color azul (exponente variable, ecuación 6).

## Conclusiones

Las mediciones de caudal líquido realizadas (un conjunto de 6 campañas hasta la fecha) presentadas en este trabajo representan satisfactoriamente el comportamiento medio de los valores históricos observados (datos de la SSRH) para los dos secciones de medición en los dos ríos estudiados, con una menor dispersión de los valores registrados, ya que se utilizó una moderna técnica de medición como lo es el ADCP. Se destaca también la representatividad del rango de condiciones de flujo relevadas en el periodo de observaciones incluido en este estudio. Finalmente, se recomienda continuar con las campañas de medición. Aunque las campañas de medición requieren un gran esfuerzo y planificación de las tareas, es a través de los monitoreos periódicos que se conoce más detalle como es el funcionamiento del sistema y cómo evoluciona el mismo espacial y temporalmente.

## Referencias Bibliográficas

Díaz Lozada, J. M. (2014). *Cuantificación y Caracterización del Ecurrimiento Superficial en el Sistema Fluvial del Río Carcarañá*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). (2018). *Base de Datos Hidrológica Integrada BDHI*. [www.hidricosargentina.gov.ar](http://www.hidricosargentina.gov.ar)



## OPTIMIZACIÓN DEL RELEVAMIENTO DE LA TOPOMETRÍA EN SITIOS FAVORITOS DEL PROYECTO CAZADORES DE CRECIDAS.

Lucio Fabián Bolatti<sup>1</sup>, Antoine Patalano<sup>1,2</sup>, Luis Bosch<sup>1</sup> y Carlos M. García<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN-UNC), Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
luciolbolatti@gmail.com

### Introducción

En este trabajo se evalúa la técnica de velocimetría por imágenes digitales a gran escala (LSPIV) utilizada para la determinación de caudales de cursos de agua de forma remota en el proyecto Cazadores de crecidas de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, identificando las posibles fuentes de error, de las cuales se trataron aquellas que involucran especialidades de la Agrimensura (topometría y fotogrametría), con el fin de cuantificar esos errores, proponer mejoras metodológicas y de instrumental para la disminución de los errores, para optimizar su implementación. Las fuentes de error analizadas fueron tres: a) error en el relevamiento de la sección; b) error en la determinación del campo de velocidades superficiales del flujo y c) error en la rectificación de los resultados.

### Análisis de las Fuentes de Error

Con respecto a la primera fuente de error (error en el relevamiento de la sección), se realizó en primer lugar un análisis sobre una sección del Río Suquía frente al Centro Cívico de la Ciudad de Córdoba. En dicho proceso se involucraron instrumental y metodología de relevamiento que anteriormente no se habían utilizado en la implementación de la técnica LSPIV: Estación Total, GPS y cinta métrica combinada con mira graduada, midiendo en forma directa por batimetría.

Se analizaron simultáneamente la influencia de la precisión con la que se miden los puntos del perfil de la sección (precisión de +/- 15cm en Figura 1 y +/- 2cm en Figura 2) y la cantidad de los mismos que se relevaban (elegidos equidistantes aleatoriamente), obteniendo la magnitud del error y la variación debida a cada variable. El análisis se realizó por medio de algoritmos programados específicamente en el software Matlab, basados en el método de Monte Carlo. Se observa claramente en esas figuras que la dispersión de los resultados es menor con la precisión de +/- 2cm y que la dispersión es significativamente menor cuando se utilizan 20 puntos en el relevamiento.

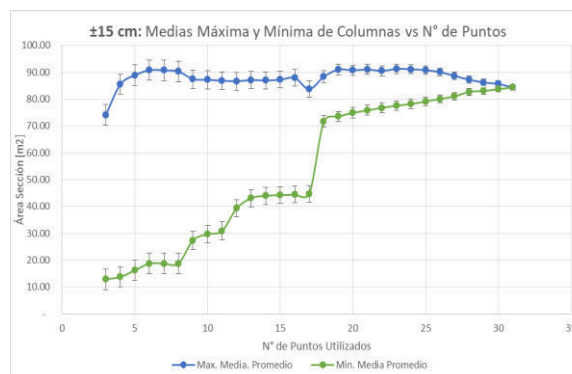


Figura 1: Precisión de  $\pm 15$  cm: Medias Máxima y Mínima de áreas relevadas con distintos Nº de Puntos Utilizados.

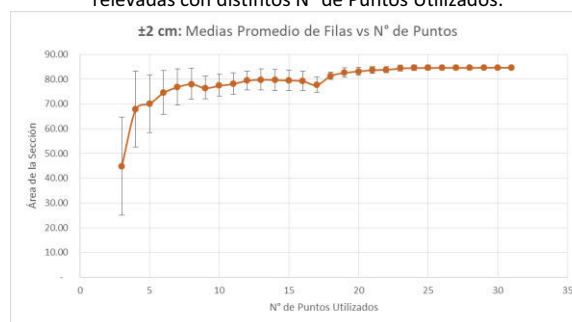


Figura 2: Precisión de  $\pm 2$  cm: Medias Máxima y Mínima de áreas relevadas con distintos Nº de Puntos Utilizados.

En el análisis del error en la determinación del campo de velocidades se estudiaron 6 casos con escenarios y condiciones de medición diferentes, obteniendo que no se podía asociar el desvío de los resultados al error de los mismos, debido al comportamiento turbulento del flujo siendo este un tópico que debe ser estudiado en detalle en futuras investigaciones.

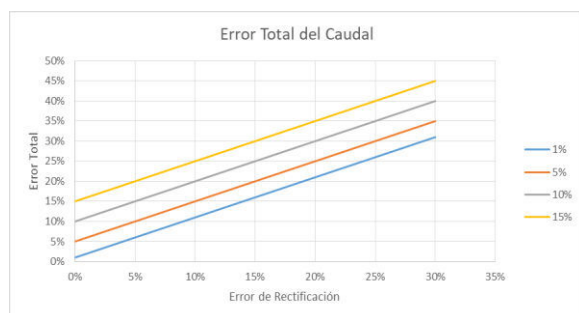
Para la última fuente de error se materializó un escenario de medición hipotético sobre el modelo físico del dique Los Molinos perteneciente al Laboratorio de Hidráulica (FCEfyN-UNC) sobre el cual se tomaron fotografías con dron y cámara GoPro en distintas posiciones y alturas, y se relevó información planialtimétrica con Estación Total. Con los datos obtenidos de dicho experimento se pudo cuantificar la magnitud y distribución de este error para distintos casos, conteniéndose los valores obtenidos entre 3% y 18%.





**Figura 3:** Puntos de control representados en el Modelo Físico del Dique "Los Molinos" con los elementos de fácil visibilidad.

Tomando de forma conjunta los errores producidos por las tres variables analizadas, obtenemos el error total del caudal debido a esas tres fuentes.



**Figura 4:** Error Total en el Caudal para distintos errores de rectificaci3n (eje de las absisas) y de relevamiento (en colores)

A partir de los resultados adquiridos de estos análisis se propusieron cambios en la metodología utilizada para mediciones en los sitios favoritos con esta técnica, tanto en los trabajos de campo, como en el procesamiento de los datos.

- Con respecto a la grabaci3n del video se propone
- Filmar al menos 3 minutos, en lugar de 1 minuto.
  - Asegurar la fijaci3n de la c3mara, ya sea mediante trípode o de alguna otra manera.
  - Realizar la filmaci3n desde la mayor altura posible con respecto al terreno.
  - Sembrar partículas en el caso que el flujo no posea naturalmente una adecuada cantidad de trazadores.

Con esto se consigue que el desvío del campo de velocidades sea mínimo y reducir el error provocado por la rectificaci3n de los resultados.

Con respecto a la definici3n y relevamiento de los 4 puntos de control (PC) se propone intentar que los mismos formen un cuadrilátero lo más regular posible, dentro del cual la secci3n de interés se encuentre centrada. Así la influencia del error en la rectificaci3n de los resultados es menor en la zona de la secci3n de interés.

Con respecto al relevamiento del perfil de la secci3n de medici3n, anteriormente a este trabajo, solamente se había utilizado para relevar la secci3n ADCP, lo cual, como se explicó, se quiere evitar debido a que se trata de un instrumento

sumamente costoso y que cuya finalidad es medir caudales, por lo cual, la técnica LSPIV deja de tener utilidad en esos casos.

En este trabajo se realizaron relevamientos de distintas secciones con Estaci3n Total, GPS simple frecuencia, y cinta métrica combinada con mira graduada por batimetría, los cuales son totalmente compatibles con la técnica LSPIV, por lo que se espera que se los comience a utilizar en la misma.

Por otra parte, con respecto al procesamiento de los datos se sugiere no tomar como una cuesti3n menor la aplicaci3n de filtros sobre el campo de velocidades resultante en el post-proceso, y realizarlo de forma criteriosa y cuidadosa, ya que sin estos los desvíos aumentan significativamente debido a que no se descartan datos incorrectos.

Estas propuestas se aplicaron en las tareas de relevamiento de la informaci3n necesaria para 6 sitios favoritos del proyecto Cazadores de Crecidas, los cuales se encuentran 3 en el Río Tercero, 2 en el Río Cuarto y 1 en el Río San Antonio. Dichas tareas consistieron en todos los casos en relevar al menos un perfil transversal de la secci3n e informaci3n topométrica de la zona de interés. Para ello se utilizó por un lado Estaci3n Total, provista por la FCEFyN, con la cual se relevó el perfil transversal de la secci3n completa (no solo la parte sumergida en el momento de la medici3n) y un conjunto de puntos sobre el terreno, los cuales abarcaban tanto objetos y hechos naturales, como puntos materializados de distintas maneras que formaron PAF pre-vuelo. Luego, por otra parte, se utilizó el dron con el que cuenta el Laboratorio de Hidráulica para realizar vuelos fotogramétricos, que, junto a lo relevado con Estaci3n Total, permitieron generar Modelos Digitales de Elevaciones (MDE, o DEM en inglés) de cada uno de los lugares. Todo esto conformó en cada caso una base de informaci3n topométrica del lugar lo suficientemente completa como para realizar mediciones con de caudales con LSPIV en diferentes situaciones, sobre todo en crecidas repentinas.

## Referencias Bibliográficas

**Adrian (1984)** Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow speckle velocimetry vs particle image velocimetry.

**Bolatti, Lucio Fabián (2019)** Medici3n de Caudales Mediante Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (Lspiv). "Análisis de los Errores y la Metodología desde la Topometría y la Fotogrametría."

**Brevis, Niño, Jirka (2011)** Integrating cross-correlation and relaxation algorithms for particle tracking velocimetry.

**Fujita, Muste, Kruger (1998)** Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications.

**Patalano A., García C.M., Guillén N., García C., Díaz E., Rodríguez A., Ravelo A. (2014)** Evaluaci3n Experimental de la Técnica de Vecilometría por Seguimiento de Partículas a Gran Escala para la Determinaci3n de Caudales en Ríos Serranos. Córdoba (Aqua-LAC - Vol. 6 - N° 1 - Mar. 2014. pp. 17 - 24)

**Thielicke, Stamhuis - PIVlab (2014)** Towards User-friendly , Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB.

## COLABORACIÓN ABIERTA DISTRIBUIDA (CROWDSOURCING) PARA OPTIMIZAR LA DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN HIDRO-METEOROLÓGICA

Javier Alvarez<sup>1,2</sup>, Francisco Barbero<sup>1</sup>, Magdalena Baraquet<sup>1,2</sup>; José Manuel Díaz Lozada<sup>1,2</sup> y Carlos M. García<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFYN-UNC), Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
jalvarez@unc.edu.ar

### Introducción

La colaboración abierta y distribuida, también definido como “crowdsourcing” en inglés, se define tradicionalmente como la obtención de datos o información provenientes de un número (potencialmente grande) de personas (Muller et al, 2015). Este término, recientemente ha cobrado mucha popularidad en el ámbito científico, debido a que las innovaciones tecnológicas recientes, permiten obtener una gran cantidad de datos de una amplia variedad de fuentes no-convencionales con buena precisión: desde sensores de teléfonos inteligentes hasta estaciones meteorológicas de aficionados o encuestas a miembros del público.

Si bien algunas disciplinas ya están aplicando estas técnicas (por ejemplo, astrofísica, ecología), su aplicación dentro de las disciplinas de ciencias de la tierra, del clima y la atmósfera todavía está relativamente sin explorar. En particular, para diseñar y administrar ciudades que estén preparadas para lidiar con el número creciente de eventos de lluvia extrema que se espera en el futuro, se requieren datos de lluvia con resoluciones temporales y espaciales más altas que las necesarias para las cuencas rurales (Witze et al., 2018) ya que las áreas urbanas son más vulnerables a fenómenos climáticos extremos (mayor densidad de áreas edificadas y mayor impermeabilidad), lo que puede provocar daños considerables e impactar en un gran número de personas.

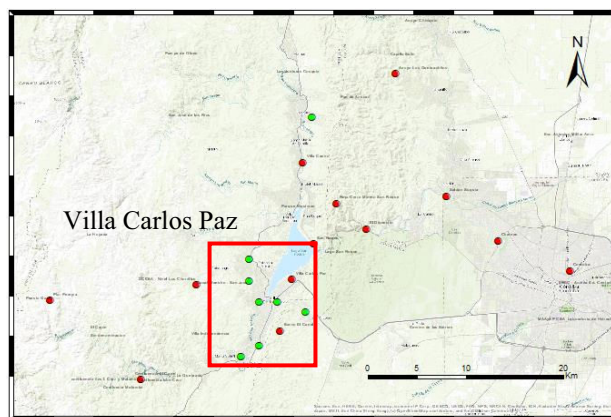
### Objetivos

El objetivo del presente trabajo es evaluar la información hidrometeorológica abierta y distribuida para su uso de manera complementaria en aplicaciones hidrológicas e hidrometeorológicas. En particular, se evalúan datos generados en el proyecto MATTEO (Monitoreo Automático del Tiempo en Escuelas y Organismos) dedicado a la memoria de Matteo Ravagli Caceres, que se está implementando en más de 30 establecimientos educativos de la provincia de Córdoba.

### Materiales y Métodos

El ámbito de estudio para el trabajo que aquí se reporta incluye a la ciudad de Villa Carlos Paz y localidades vecinas en la provincia de Córdoba, Argentina. En las diferentes aplicaciones se hace principal hincapié en la en la ciudad de Villa Carlos Paz y su entorno. Esta ciudad se encuentra al Oeste de la Capital cordobesa, a unos 36 Km de distancia, dentro del departamento de Punilla, en el valle de Punilla. Este valle está definido entre los dos cordones montañosos que atraviesan la provincia de Córdoba, sierras grandes y las sierras chicas. El clima que caracteriza a ese valle es templado, donde se diferencian claramente las estaciones del año. Villa Carlos Paz es una ciudad de gran relevancia turística e industrial para la región que se ubica en la cuenca de aporte del embalse del dique San Roque, el cuál es uno de los reservorios artificiales más importantes de la provincia de Córdoba. En las costas de este embalse se han desarrollado otros centros urbanos, como lo son, Biale Massé, Villa Parque Siquiman, Villa Santa Cruz del Lago y San Roque. En la **Figura 1** se presenta la zona de estudio y su

proximidad a la ciudad de Córdoba y al lago San Roque.



**Figura 1.-** Estaciones meteorológicas en el área de estudio. Se muestran en verde las estaciones no-oficiales y en rojo aquellas oficiales. La región cercana a Villa Carlos Paz se indica en recuadro rojo se indica.

En este trabajo se analizaron los datos obtenidos por las estaciones hidrometeorológicas de instituciones oficiales (llamadas en este trabajo estaciones oficiales) como el Instituto Nacional del Agua, el Servicio Meteorológico Nacional en Córdoba Capital, diferentes municipalidades y ministerios provinciales. Estas instituciones han implementado diferentes herramientas informáticas para el acceso y análisis de información que facilitan las tareas de los usuarios, como pueden ser mapas de observación de las estaciones en la zona y herramientas de descarga de datos a intervalos específicos de tiempo.

A estas estaciones oficiales se agregaron las estaciones hidrometeorológicas de colaboración abierta y distribuida (generalmente de bajo costo, llamadas aquí no oficiales) colocadas en los últimos años como por ejemplo estaciones instaladas por particulares y estaciones instaladas en el marco del proyecto MATTEO, descargando dichos datos a través de la plataforma online Weather Underground. Con esta plataforma se pueden descargar los datos de las estaciones de MATTEO, los cuales no han sido verificados previamente por lo que pueden contener valores erróneos. Por ello es necesario realizar la comparación y observación simple para poder realizar análisis más complejos y aplicaciones específicas.

Para este trabajo se analizaron los datos de estaciones oficiales y no oficiales en intervalos de tiempo específicos para organizar los datos disponibles. Se tomaron ventanas más generales a partir del año 2017 donde se comenzaron a disponer de más estaciones no oficiales de bajo costo.

### Resultados

En la **Figura 2** se muestra la cantidad de estaciones oficiales y no oficiales que registran datos a partir del mes de agosto del año 2016, en la zona de estudio indicada en la **Figura 1**. En esa figura, puede verse que el número de estaciones oficiales permanecen constantes en el periodo de estudio. Por otro lado,

se observa cómo a partir del mes de junio del año 2017 se disponen de nuevos datos no oficiales aunque se ve que los registros tienen algunas discontinuidades en el envío de la información. Este análisis resulta de especial importancia ya que, si queremos verificar las mejoras en el aumento de fuentes de información se debe contar con un número mínimo de datos disponibles para que el estudio tenga representatividad.

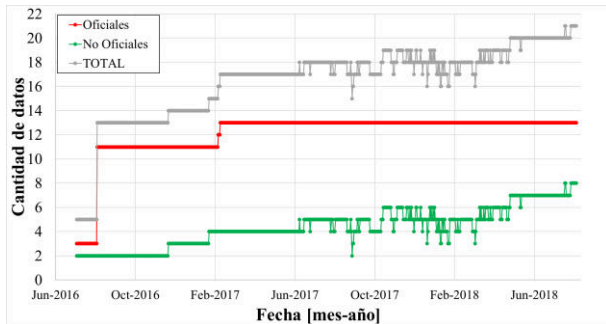


Figura 2.- Cantidad de estaciones oficiales y no oficiales que registran a partir del mes de agosto del año 2016, datos de precipitación en la zona de estudio.

A continuación, se analizaron las temperaturas medias diarias en el período de estudio en 10 estaciones meteorológicas, habiendo entre ellas sólo una estación oficial debido a la falta de acceso a los datos de temperatura de la red oficial INA-CIRSA. Además, se analiza desde mediados del 2017 a mediados del 2018 teniendo en cuenta que al comienzo del periodo la cantidad de las estaciones que proveen datos es poco significativa.

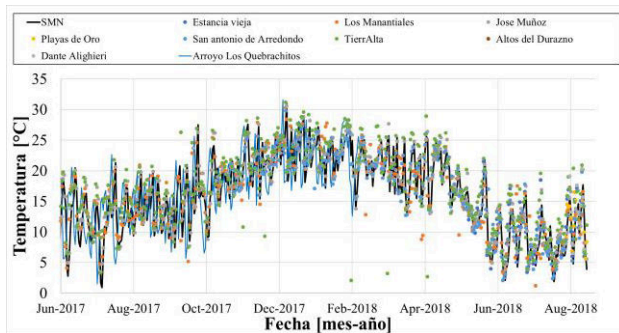


Figura 3.- Evolución temporal de las temperaturas medias diarias para cada estación [°C].

En el diagrama anterior se puede observar claramente variaciones significativas en algunas estaciones no oficiales. Se distinguen claramente los errores en la medición en la estación “TierrAlta”, se propone verificar su condición de instalación y mantenimiento.

Para comparar las mediciones de lluvia, se grafica la lámina de lluvia acumulada en cada una de las estaciones en el periodo.

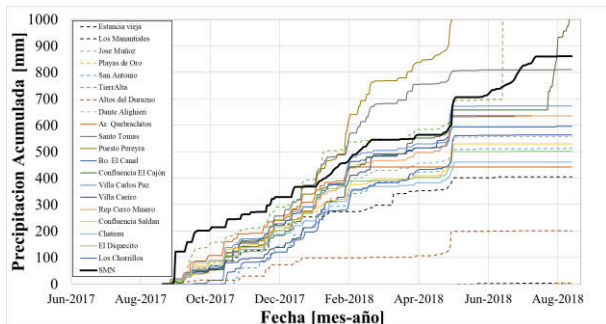


Figura 4.- Lluvia acumulada en el periodo de estudio para las diferentes estaciones [mm].

En la figura anterior, no se observa un comportamiento muy diferenciado entre los grupos de estaciones de la red MATTEO y de las estaciones oficiales. Además, se observa que, si bien

hay diferencias entre los valores de lluvia acumulados en las distintas estaciones, los principales eventos han sido caracterizados en la mayoría de estas estaciones.

En forma complementaria se comparan las lecturas de precipitaciones registradas durante el periodo de lluvias 2018-2019 por cuatro estaciones localizadas muy próximas entre sí en la ciudad de Villa Carlos Paz. La particularidad de este análisis es que uno de los pluviómetros analizados cumple los requerimientos de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), por lo tanto, se decidió tomarlo como valor de referencia. Además, se incluyó un pluviómetro de alta frecuencia (PAF) y un pluviómetro totalizador (PT) de MATTEO, un PAF de INA-CIRSA y el pluviómetro homologado por la OMM. La comparación Para ahondar un poco más en este análisis, se evaluaron los resultados que se presentan en la siguiente figura.

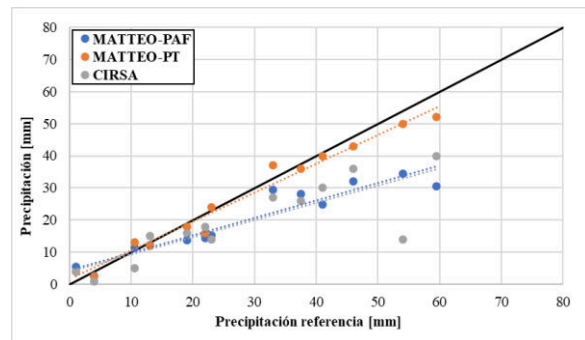


Figura 5.- Lluvia acumulada para las diferentes estaciones [mm].

Analizando las líneas de tendencia, se determinó que los datos obtenidos por el pluviómetro totalizador de MATTEO presenta la mejor comparación con el instrumento de referencia (OMM). Por otra parte los valores de lluvia registrados por PAF de MATTEO y CIRSA (este último constituye un registro oficial) generalmente se encuentran por debajo a la recta de 45° (datos OMM) aunque en este caso no se observan diferencias significativas entre datos oficiales y no oficiales. Además, a mayor precipitación registrada, mayor la dispersión a la recta. A pesar de esto, se determinó que los errores porcentuales no tienden a aumentar con la magnitud de lluvia.

## Conclusiones

En este trabajo se evalúan mediciones hidro-meteorológicas generadas por el proyecto MATTEO y otras fuentes de colaboración abierta y distribuida (crowdsourcing), tomando como referencia estaciones oficiales de instituciones nacionales y provinciales. De este modo, se compararon precipitaciones acumuladas y temperatura por ambos grupos de estaciones.

Los resultados muestran que la colaboración abierta y distribuida (crowdsourcing), es una herramienta valiosa para involucrar al público, y si se implementan procedimientos apropiados de validación y control de calidad, tiene mucho potencial para proporcionar una fuente valiosa de datos en tiempo real de alta resolución temporal y espacial, especialmente en regiones donde existen pocas observaciones, lo que agrega valor a la ciencia, la tecnología y la sociedad.

## Bibliografía

- Lotte de Vos; Hidde Leijnse; Aart Overeem; and Remko Uijkenhoet (2017) “The potential of urban rainfall monitoring with crowdsourced automatic weather stations in Amsterdam” Hydrol. Earth. Syst. Sci. Doi: 10.5194/Hess-21-765-2017.
- C. L. Muller; L. Chapman; S. Johnston; C. Kidd; S. Illingworth; G. Foody; A. Overeem and R.R. Leigh (2015) “Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential.” International Journal of Climatology. Doi: 10.1002/joc.4210.











# V SIMPOSIO

Métodos Experimentales en Hidráulica

5, 6 y 7 de junio de 2019  
Paysandú - Uruguay

## AUSPICIARON



## COLABORARON



ISBN: 978-9974-94-430-5



9 789974 944305

